



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

2020

SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2020

MEMORIA



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO





SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2020

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SERVICIO:

Calidad de Aguas

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

Vicente Sancho Tello Valls y María José Rodríguez Pérez

EMPRESA CONSULTORA:

OFICINA TÉCNICA DE ESTUDIOS Y CONTROL DE OBRAS S.A. (OFITECO)

EQUIPO DE TRABAJO:

Armando Molina Pérez.

Ingeniero de Caminos, C. y P. Director de Ingeniería Fluvial. OFITECO S.A.

Alejandro Donato Morales

Master en Gestión de Recursos Hídricos. Especialista en Hidrología y Teledetección,
Land, Water and Dams S.L.

Juan Miguel Soria García

Profesor de Ecología. Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Univ. Valencia.

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

11.988,00 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA DEL INFORME

AÑO DE EJECUCIÓN:

2021

FECHA ENTREGA:

SEPTIEMBRE 2021



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior: Recreación del satélite Sentinel-2 (fuente web de la E.S.A.)

Inferior izquierda: Imagen en falso color del embalse del Ebro en septiembre de 2020.

Inferior derecha: Vista aérea del embalse del Ebro.

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2020). Seguimiento de embalses por teledetección 2020. 102 págs.
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.



SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDECCIÓN 2020

El informe presenta los resultados alcanzados en el estudio realizado en los embalses de la demarcación hidrográfica del Ebro utilizando técnicas de teledetección. El objetivo principal del estudio es calibrar ecuaciones relacionando las bandas multiespectrales del satélite Sentinel-2 para estimar diferentes parámetros de calidad de agua. El estudio se ha realizado en los 17 embalses de mayor superficie de la cuenca. Los parámetros estudiados son aquellos que poseen propiedades ópticas que puedan ser medidas por el satélite. Así, se han calibrado ecuaciones para la estimación en la concentración de clorofila-a, sólidos en suspensión, transparencia, turbidez, concentración de ficocianina y concentración de materia orgánica cromofórica (CDOM). Se presentan las ecuaciones calibradas y mapas de calidad de cada embalse estudiado. Además, se ha estimado el estado trófico de cada masa de agua tanto con los datos adquiridos vía satélite, como con los datos en las campañas de campo.

ABSTRACT

The following report presents the results obtained in the study carried out in the reservoirs of the Ebro River basin by using remote sensing techniques. The main objective of the study is to calibrate equations relating the multispectral bands of the Sentinel-2 satellite to estimate different water quality parameters. The study was carried out in the 17 reservoirs with the biggest surface area in the basin. The parameters studied are those that have optical properties that can be measured by satellite. Thus, equations have been calibrated to estimate the concentration of chlorophyll-a, suspended solids, transparency, turbidity, concentration of phycocyanin and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). The calibrated equations and quality maps of each studied reservoir are presented. In addition, the trophic status of each water body has been estimated both with data acquired via satellite, and with data from field campaigns.



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO





ÍNDICE DE CONTENIDOS

SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2020.....	I
MEMORIA	I
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	12
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	12
2.1. EMBALSES ESTUDIADOS.....	12
2.2. DATOS DE VARIABLES DE CAMPO	13
2.3. DESCARGA DE IMÁGENES.....	14
2.4. CÁLCULO DE ÍNDICES	17
2.4.1. Temperatura	19
2.4.2. Transparencia.....	20
2.4.3. Turbidez.....	20
2.4.4. Sólidos en suspensión.....	21
2.4.5. Concentración de clorofila-a.....	21
2.4.6. Concentración de ficocianina	22
2.4.7. Concentración de Materia Orgánica Cromofórica (CDOM)	22
2.5. EXTRACCIÓN DE LOS VALORES DE REFLECTIVIDAD.....	23
3. RESULTADOS	25
3.1. TEMPERATURA	26
3.2. TRANSPARENCIA.....	27
3.3. TURBIDEZ.....	30
3.4. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	31
3.5. CLOROFILA-A.....	33
3.6. FICOCIANINA.....	36
3.7. CDOM.....	37
4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	41
5. PROPUESTAS A MEJORAR.....	46



6. CONCLUSIONES	47
7. BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 1. DATOS DE CAMPO DE LOS EMBALSES	49
ANEXO 2. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ESTUDIADOS	53
ANEXO 3. TABLA DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS	59
ANEXO 4. MAPAS EMBALSES DE ESTUDIO	63
ANEXO 5. MAPAS DE EVOLUCIÓN DE CALIDAD DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS	73
ANEXO 6. MAPAS DE ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS	100
ANEXO 7. MAPAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD CDOM, FICOCIANINA, SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de embalses a estudiar en la Confederación Hidrográfica del Ebro.	12
Tabla 2: Resumen de los índices propuestos para cada parámetro.	22
Tabla 3: Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados.	38
Tabla 4: Determinación del estado trófico de los embalses mediante el satélite Sentinel-2 para el año 2020.	43
Tabla 5: Determinación del estado trófico de los embalses mediante medidas de campo en el año 2020.	44
Tabla 6: Listado de los datos de campo disponibles para cada uno de los embalses. Fuente: Base de datos anuales de C.H.E.	50
Tabla 7: Resultados de las bandas TIRS de Landsat 8 hallados para cada uno de los embalses estudiados.	54
Tabla 8: Resultados de los índices calculados para cada uno de los embalses estudiados.	56
Tabla 9: Tabla de validación de resultados.	60



ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Embalses de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.....	14
Figura 2: Gránulos para cubrir los embalses objeto de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.	15
Figura 3: Gránulos para cubrir los embalses objeto de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro	17
Figura 4: Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: ESA.....	18
Figura 5: Bandas del satélite Landsat 8. Fuente: NASA.....	19
Figura 6: Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A tras aplicar la corrección atmosférica, remuestreo y recorte en el embalse del Ebro.....	24
Figura 7: Punto de extracción de valores de reflectividad próxima a la presa con su zona de influencia.	25
Figura 8: Gráfica de correlación entre la banda 10 del sensor TIRS de Landsat 8 y los datos de campo.....	26
Figura 9: Gráfica de correlación entre la banda 10 del sensor TIRS de Landsat 8 y los datos de campo.....	27
Figura 10: Correlación entre el primer índice de transparencia y los valores de transparencia tomados en campo.....	28
Figura 11: Correlación entre el segundo índice de transparencia y los valores de transparencia tomados en campo.....	29
Figura 12: Correlación entre el resultado hallado con la herramienta C2RCC y los valores de transparencia tomados en campo.....	29
Figura 13: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de turbidez tomados en campo.....	31
Figura 14: Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo.....	32
Figura 15: Correlación entre el resultado hallado con el índice de Shafique <i>et al.</i> , y los valores de clorofila-a tomados en campo.....	33
Figura 16: Correlación entre el resultado hallado con el índice tribanda y los valores de clorofila-a tomados en campo.....	34



Figura 17: Correlación entre el resultado hallado con la herramienta C2RCC y los valores de clorofila-a tomados en campo.	35
Figura 18: Correlación entre el resultado hallado en la recalibración para concentraciones inferiores e iguales a 7 µg/L y los valores de clorofila-a tomados en campo.	36
Figura 19: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.	37
Figura 20: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo.	38
Figura 21: Evolución de la concentración de clorofila-a y transparencia en el embalse del Ebro durante el año 2020.	40
Figura 22: Gráfico de correlación entre la calibración y los valores obtenidos de transparencia tomados en campo.	42
Figura 23: Gráfico de correlación entre la calibración y los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo.	42
Figura 24: Mapa resumen de los parámetros de calidad de clorofila-a y transparencia con la comparativa en las estimaciones de estado trófico en el embalse de Tarn medidas con satélite y con tomas de campo en septiembre de 2020.	46
Figura 25: Mapa situación Embalse de Allosz	64
Figura 26: Mapa situación Embalse de Canelles	64
Figura 27: Mapa situación Embalse del Ebro	65
Figura 28: Mapa situación Embalse de El Grado I	65
Figura 29: Mapa situación Embalse de Itoiz	66
Figura 30: Mapa situación Embalse de La Loteta	66
Figura 31: Mapa situación Embalse de Mediano	67
Figura 32: Mapa situación Embalse de Mequinenza	67
Figura 33: Mapa situación Embalse de Oliana	68
Figura 34: Mapa situación Embalse de Rialb	68
Figura 35: Mapa situación Embalse de Ribarroja	69
Figura 36: Mapa situación Embalse de Santa Ana	69



Figura 37: Mapa situación Embalse del Sobrón	70
Figura 38: Mapa situación Embalse de la Sotonera	70
Figura 39: Mapa situación Embalse de Tarn.....	71
Figura 40: Mapa situación Embalse de la Tranquera	71
Figura 41: Mapa situación Embalse de Yesa.....	72
Figura 42: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Alloz	74
Figura 43: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Canelles	75
Figura 44: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Ebro	76
Figura 45: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de El Grado I.....	77
Figura 46: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Itoiz	78
Figura 47: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Loteta.....	79
Figura 48: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mediano	80
Figura 49: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mequinenza	81
Figura 50: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Oliana	82
Figura 51: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Rialb.....	83
Figura 52: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Ribarroja	84
Figura 53: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Santa Ana	85
Figura 54: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Sobrón	86
Figura 55: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Sotonera	87
Figura 56: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Tarn.....	88
Figura 57: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Tranquera	89
Figura 58: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Yesa.....	90
Figura 59: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Alloz.....	91
Figura 60: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Canelles.....	91
Figura 61: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse del Ebro.....	92
Figura 62: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de El Grado I.....	92
Figura 63: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Itoiz.....	93



Figura 64: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Loteta.....	93
Figura 65: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Mediano.....	94
Figura 66: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Mequinenza.....	94
Figura 67: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Oliana.....	95
Figura 68: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Rialb.....	95
Figura 69: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Ribarroja.....	96
Figura 70: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Santa Ana.....	96
Figura 71: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse del Sobrón.....	97
Figura 72: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Sotonera.....	97
Figura 73: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Talarn.....	98
Figura 74: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Tranquera.....	98
Figura 75: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Yesa.....	99
Figura 76: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Alloz.....	101
Figura 77: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Canelles.....	101
Figura 78: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Ebro.....	102
Figura 79: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de El Grado I.....	102
Figura 80: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Itoiz.....	103
Figura 81: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Loteta.....	103
Figura 82: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mediano.....	104
Figura 83: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mequinenza.....	104
Figura 84: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Oliana.....	105
Figura 85: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Rialb.....	105
Figura 86: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Ribarroja.....	106
Figura 87: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Santa Ana.....	106
Figura 88: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Sobrón.....	107
Figura 89: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Sotonera.....	107
Figura 90: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Talarn.....	108



Figura 91: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Tranquera	108
Figura 92: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Yesa.....	109
Figura 93: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Alloz en septiembre de 2020.....	111
Figura 94: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Canelles en septiembre de 2020.....	111
Figura 95: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse del Ebro en septiembre de 2020.....	112
Figura 96: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de El Grado en septiembre de 2020.....	112
Figura 97: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Itoiz en septiembre de 2020.....	113
Figura 98: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Loteta en septiembre de 2020.....	113
Figura 99: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Mequinenza en septiembre de 2020.....	114
Figura 100: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Mediano en septiembre de 2020.....	114
Figura 101: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Oliana en septiembre de 2020.....	115
Figura 102: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Rialb en septiembre de 2020.....	115
Figura 103: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Ribarroja en septiembre de 2020.....	116
Figura 104: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Santa Ana en septiembre de 2020.....	116
Figura 105: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse del Sobrón en septiembre de 2020.....	117
Figura 106: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Sotonera en septiembre de 2020.....	117



Figura 107: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Tranquera en septiembre de 2020.....	118
Figura 108: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Talarn en septiembre de 2020.....	118
Figura 109: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Yesa en septiembre de 2020.....	119



1. INTRODUCCIÓN

El control del estado de los embalses es un requerimiento de la Directiva Marco del Agua (DMA). Esta Directiva, en su artículo 8, obliga a los Estados miembros a establecer programas para el seguimiento de la calidad de las aguas de las masas de agua muy modificadas de la categoría río, con objeto de obtener una visión general coherente y completa de su potencial ecológico en cada demarcación hidrográfica. Esta obligación de la DMA se transpone al ordenamiento nacional a través del artículo 92.ter del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA).

La Confederación Hidrográfica del Ebro está realizando el seguimiento de varios embalses de la cuenca del Ebro mediante un contrato de servicios licitado por la Subdirección General de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

La disponibilidad actual de herramientas informáticas potentes y la adquisición mediante satélites de imágenes generadas por sensores remotos con una alta resolución (10 m) y frecuencia de revisita (diaria o cada cinco días, según el caso), permite realizar el seguimiento del estado trófico en dichas masas de agua evaluando las señales de reflectancia recogidas por los sensores instalados en los satélites.

El abanico de posibilidades que ofrecen estas herramientas para el análisis de la calidad del agua en los embalses de la cuenca está supeditado a un trabajo previo de campo y gabinete, que permita calibrar y validar las ecuaciones de transferencia entre las matrices digitales aportadas por los sensores y los valores reales de las masas de agua, dotándolas de fiabilidad para su aplicación en masas de agua diferentes y momentos extemporáneos.

Con los resultados, se podrá determinar el estado trófico de las masas de agua tipo embalse aproximando al obtenido cuando se aplican los indicadores de los elementos de calidad biológicos y fisicoquímicos recogidos en el RD 817/2015, de 11 de



septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio consiste en obtener una metodología que permita conseguir en tiempo casi real mapas de calidad del agua en embalses de la cuenca, utilizando 17 embalses como masas de agua de referencia para este estudio (seleccionando aquellos con mayor superficie de la cuenca del Ebro). Para ello, se debe combinar el tratamiento de los datos fisicoquímicos proporcionados por el Área de Calidad de Aguas (de trabajos ya realizados y en curso en esos embalses), con las imágenes generadas por los sensores remotos.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. EMBALSES ESTUDIADOS

La zona de estudio se focaliza en los embalses más representativos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro que son adecuados por sus dimensiones para el estudio mediante teledetección. De acuerdo con el Pliego de Condiciones del contrato, se han escogido un total de 17 embalses sobre los que se efectuará el seguimiento de calidad de la masa de agua. En la siguiente Tabla se muestra en detalle el listado de los embalses objeto de este trabajo.

Tabla 1. Listado de embalses a estudiar en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	PROVINCIA	CC.AA.
1	Embalse del Ebro	Las Rozas de Valdearroyo (Cantabria) y Arija (Burgos)	Cantabria-C.León
22	Embalse de Sobrón	Lantarón (Álava) y Bozoó (Burgos)	País Vasco-C.León
27	Embalse de Alloz	Guesálaz (Navarra)	Navarra
37	Embalse de Yesa	Yesa (Navarra) y Artieda (Zaragoza)	Navarra-Aragón
42	Embalse de Mediano	La Fueva (Huesca)	Aragón



CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	PROVINCIA	CC.AA.
47_001	Embalse de El Grado I	El Grado (Huesca)	Aragón
50	Embalse de Talarn (Trep o San Antonio)	Talarn (Lleida)	Cataluña
53	Embalse de Oliana	Coll de Nargó (Lleida)	Cataluña
58	Embalse de Canelles	Estopiñán del Castillo (Huesca) y Áger (Lleida)	Aragón-Cataluña
62	Embalse de La Sotonera	Alcalá de Gurrea (Huesca)	Aragón
63	Embalse de Rialb	Tiurana (Lleida)	Cataluña
66	Embalse de Santa Ana	Castillonroy (Huesca)	Aragón
70	Embalse de Mequinenza	Mequinenza (Zaragoza)	Aragón
76	Embalse de la Tranquera	Carenas (Zaragoza)	Aragón
86	Embalse de Itoiz	Lónguida (Navarra)	Navarra
949	Embalse de Ribarroja	Riba-Roja d'Ebre (Tarragona)	Cataluña
1680	Embalse de La Loteta	Magallón (Zaragoza)	Aragón

2.2. DATOS DE VARIABLES DE CAMPO

Los datos utilizados para relacionar las variables de calidad medidas en cada embalse con las mediciones obtenidas de las imágenes de satélite, se han obtenido de las bases de datos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro de los muestreos de los diferentes trabajos de seguimiento de la calidad en embalses de los años 2016 a 2019. También se ha utilizado los datos de los embalses obtenidos en 2020 que se emplean para la validación, y así obtener los mapas de calidad para las cuatro estaciones del año de 2020 y analizar las concordancias de valores obtenidos.

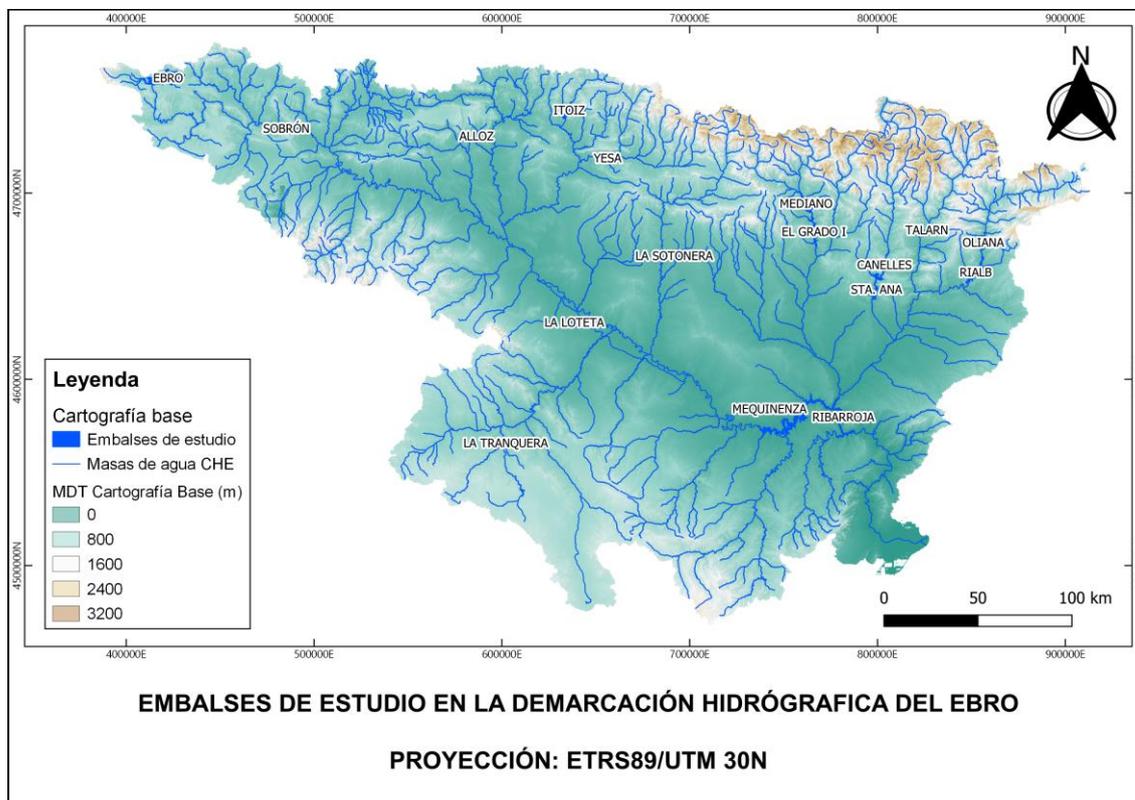


Figura 1: Embalses de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

2.3. DESCARGA DE IMÁGENES

La descarga de imágenes se ha realizado desde el repositorio web del programa Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) de la Agencia Espacial Europea (ESA). Para cubrir toda la zona de interés en la que se encuentran los 17 embalses de estudio se necesitan hasta 8 gránulos diferentes, es decir, 8 imágenes distintas.

Los gránulos utilizados son los siguientes: T30TWN, T30TVN, T31TBG, T31TCG, T30TBF, T30TXM, T30TWL Y T30TXN.

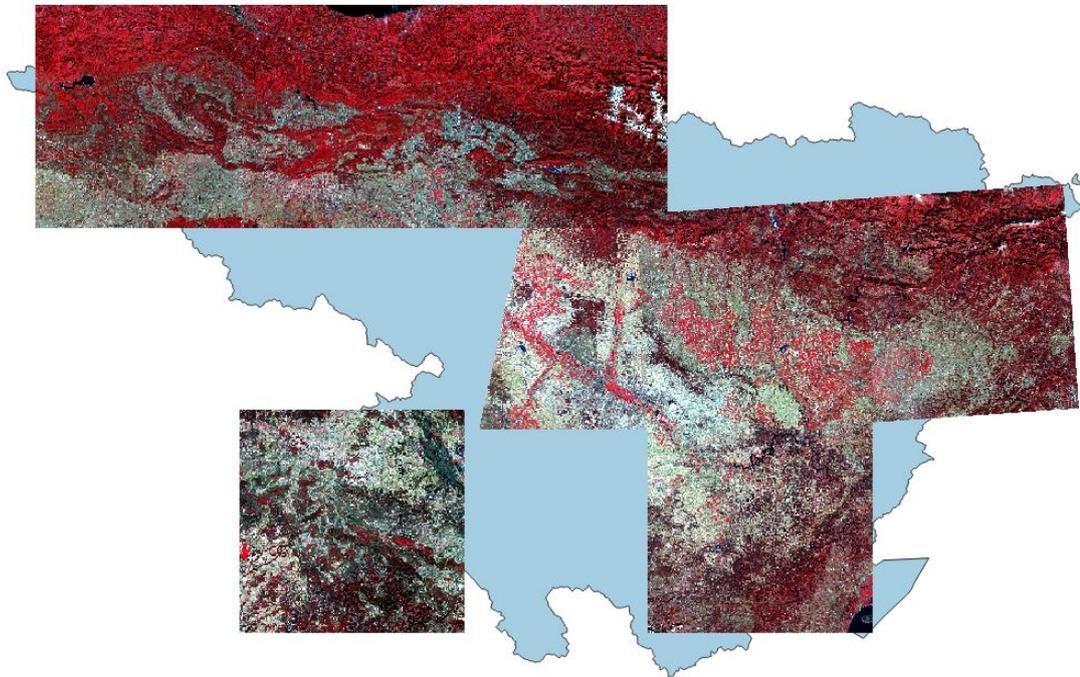


Figura 2: Gránulos para cubrir los embalses objeto de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Las imágenes descargadas poseen el nivel L1C de procesamiento, es decir, los valores de reflectividad que se representan se localizan en el techo de la atmósfera (TOA). La corrección atmosférica nos permite obviar los efectos producidos por la atmósfera y obtener valores de reflectividad en la superficie, es decir, en la base de la atmósfera o nivel BOA. Este procesamiento se ha realizado a través de la herramienta Sen2Cor del software SNAP, programa informático oficial de la ESA optimizado para el procesamiento y tratamiento de las imágenes de la misión de satélites Sentinel.

El algoritmo de corrección trabaja sobre la banda cirrus (banda 10) corrigiendo la presencia de nubes y sobre las bandas del azul, rojo y SWIR (bandas 2, 4 y 12 respectivamente en Sentinel-2), para realizar una medición de transparencia atmosférica mediante el factor AOT (Aerosol Optical Thickness). Siguiendo este algoritmo el software transforma los valores de reflectividad iniciales TOA a valores BOA, corrigiendo la interacción existente entre la atmósfera y la reflectividad obtenida por el satélite.



Además, Sen2Cor utiliza el algoritmo SLC (Scene Classification), el cual genera un mapa de clasificación con 11 clases diferentes. Este algoritmo aplica índices como el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) para identificar zonas de vegetación, o el Índice Normalizado Diferencial de Nieve (NDSI) para detectar superficies cubiertas por nieve. Algunas de las clases con las que clasifica la imagen son: nubes, sombra de nube, vegetación, nieve y masas de agua.

En el caso de Landsat-8, las imágenes se han descargado desde el repositorio web de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), desde el siguiente enlace: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Al igual que en el caso anterior, las imágenes Landsat se han descargado en el nivel 1 de procesamiento, es decir, nivel TOA. Para realizar la corrección atmosférica se ha utilizado el software QGIS, más concretamente la herramienta “*Semi-Automatic Classification Plugin*”, el cual aplica la corrección atmosférica DOS 1, y un conversor para transformar los datos de reflectividad a temperatura en grados Celsius para las bandas TIRS que se corresponden a las bandas 10 y 11.

En total, se han descargado 39 imágenes comprendidas entre los años 2016 y 2019. Además, puesto que la superficie de barrido de Landsat es mayor que la de Sentinel, para abarcar todos los embalses de estudio se necesitan un total de 5 imágenes. En la siguiente figura se muestran 5 imágenes de la banda infrarroja térmica necesarias para cubrir todas las masas de agua de estudio.

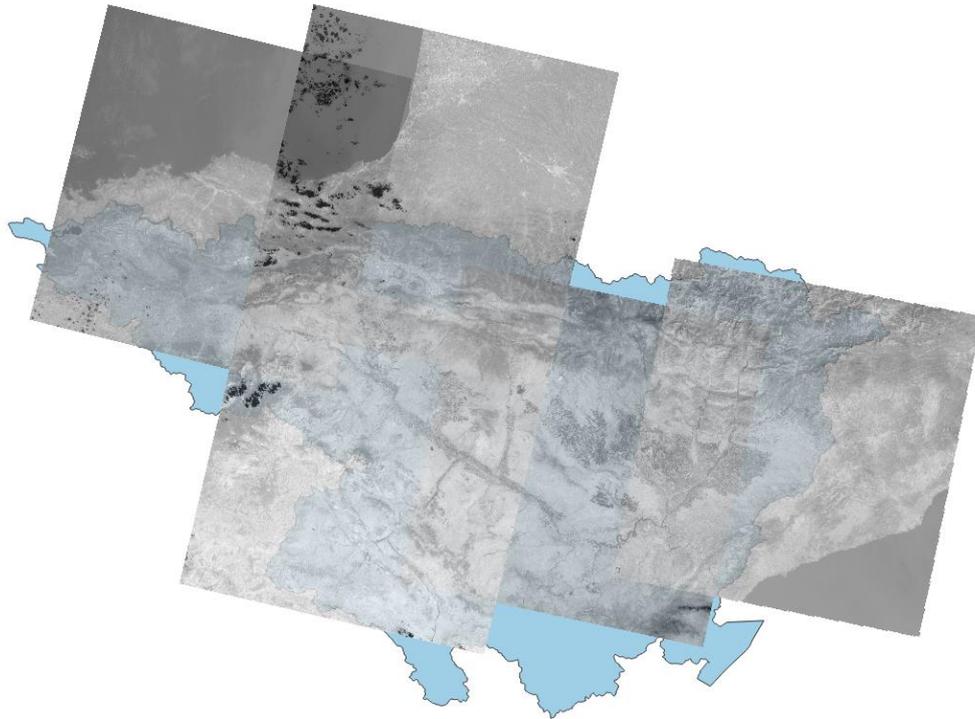


Figura 3: Gránulos para cubrir los embalses objeto de estudio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro

2.4. CÁLCULO DE ÍNDICES

La estimación del estado trófico de las masas de agua y su posterior monitorización es uno de los grandes retos actuales de la Teledetección. El estudio de las masas de agua mediante técnicas de Teledetección se basa en la relación existente entre diferentes parámetros de calidad y sus propiedades ópticas. Así, las imágenes multispectrales de Sentinel-2 aportan información de la reflectividad de la superficie terrestre y las masas de agua en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.

El satélite Sentinel-2 está compuesto de 13 bandas distintas que cubren desde las longitudes de onda del azul (450 nm), hasta el infrarrojo lejano (2100 nm) con una resolución espacial de 10, 20 y 60 metros en función de la banda que se trate. La figura que se muestra a continuación presenta toda la información referente a las bandas que porta este satélite (Figura 4).



Banda	Resolución	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)

Figura 4: Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: ESA

Por otro lado, Landsat cuenta con 11 bandas, desde la banda 1 correspondiente al aerosol, hasta las bandas 10 y 11 que se corresponden a las bandas TIRS, que son las bandas infrarrojas térmicas que se utilizarán posteriormente para determinar la temperatura superficial de las masas de agua.

Tanto la resolución espacial como temporal son menores en este satélite que en el caso de Sentinel-2, siendo de 30 metros la resolución espacial y de 16 días la espacial. A continuación, se muestra en la siguiente figura el desglose de todas las bandas pertenecientes a esta plataforma satelital.



Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Figura 5: Bandas del satélite Landsat 8. Fuente: NASA

Para determinar el estado trófico de las masas de agua, se deben estudiar diferentes parámetros de calidad que tengan una alta reflectividad en el agua. Para su estimación existen diferentes índices que relacionan las bandas de reflectividad con dichos parámetros.

Los parámetros que se van a estudiar son los siguientes:

- Temperatura superficial de la masa de agua.
- Transparencia.
- Turbidez.
- Sólidos en suspensión.
- Concentración de clorofila-a.
- Concentración de ficocianina.
- Concentración de materia orgánica cromofórica.

2.4.1. Temperatura

Para la medida de la temperatura del agua en los embalses, dado que Sentinel-2 no dispone de sensores utilizables para ello, se van a emplear imágenes del satélite Landsat-8, el cual tiene instalado a bordo sensores de temperatura que están distribuidas en las bandas TIRS 10 y 11.



2.4.2. *Transparencia*

En el caso de la transparencia se han realizado estudios que demuestran que la relación entre las bandas del azul e infrarroja cercana (1) pueden estimarla adecuadamente (Pereira-Sandoval *et al.*, 2018).

$$X = \frac{R(490)}{R(705)} \quad (1)$$

Sin embargo, en el artículo mencionado anteriormente, se demuestra que la relación entre las bandas azul y verde (2) estima mejor este parámetro, y, además, esta relación es utilizada en su mayoría para aguas claras donde el fitoplancton es el principal contribuidor para la atenuación de luz en la columna de agua. (Pereira-Sandoval *et al.*, 2018).

$$X = \frac{R(490)}{R(560)} \quad (2)$$

Una vez obtenida estas relaciones entre bandas, serán correlacionadas con las medidas obtenidas in situ para obtener una ecuación calibrada que relacione más precisamente el valor del índice con el valor real de la transparencia. Así, la ecuación calibrada nos permitirá calcular los datos de transparencia a partir de la reflectividad de las bandas azul y verde de Sentinel-2.

De manera adicional, el software SNAP mediante la herramienta C2RCC es capaz de calcular parámetros de calidad de agua como sólidos en suspensión, clorofila-a y transparencia. Por lo que además de estudiar los índices indicados, se va a utilizar esta herramienta y así determinar con qué método se obtiene una mejor correlación.

2.4.3. *Turbidez*

Para la calibración de este parámetro se va a utilizar el cociente del cuadrado de la banda infrarroja cercana y la banda azul (3). Al igual que en los casos anteriores, estas medidas serán correlacionadas con los datos de campo para establecer los parámetros de calibración que nos permitan obtener el valor de la turbidez.



$$X = \frac{R(705)^2}{R(490)} \quad (3)$$

2.4.4. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión muestran alta reflectividad en las bandas roja e infrarroja y se han establecido diferentes índices para la posterior calibración de este parámetro. El primero de ellos propuesto es la diferencia entre la banda infrarroja y la banda roja (Ruíz, 2017). El segundo método (ISO-112023-1997) para valores de concentraciones inferiores a 20 mg/L calibra los datos de campo directamente con la banda de 705 nm y, para concentraciones superiores a 20 mg/L establece el índice que relaciona las bandas de 783 y 490 nm respectivamente.

$$R(842) - R(665) \quad (4)$$

$$R(705) \text{ cuando } < 20 \text{ mg/L} \quad (5)$$

$$\frac{R(783)}{R(490)} \text{ cuando } > 20 \text{ mg/L} \quad (6)$$

Además de las ecuaciones anteriores, se aplicará también la herramienta C2RCC de SNAP para determinar la mejor estimación de este parámetro.

2.4.5. Concentración de clorofila-a

Los mayores picos de reflectividad de la clorofila-a se da en el rango del rojo e infrarrojo del espectro electromagnético. Por ello, existen diferentes estudios realizados que establecen relaciones entre estas bandas para su posterior calibración con los datos de campo. Entre las relaciones estudiadas se encuentra la banda infrarroja frente a la banda roja (7), propuesta por Shafique *et al.*, 2003.

$$X = \frac{R(705)}{R(665)} \quad (7)$$

Otro índice estudiado es el realizado por Soria *et al.*, 2017 en su artículo, que establece el índice TDBO (8) y relaciona las bandas 4, 5 y 6.



$$TBDO = R(740) \cdot \left(\frac{1}{R(665)} - \frac{1}{R(705)} \right) \quad (8)$$

Al igual que en la transparencia y los sólidos en suspensión, se aplicará la herramienta C2RCC para establecer cuál es el mejor método para la estimación de este parámetro.

2.4.6. Concentración de ficocianina

Debido a su alta reflectividad en el rango del rojo e infrarrojo cercano se va a realizar la relación de estas bandas con los datos de campo. En el estudio realizado por Soria *et al.*, 2020, realiza distintas relaciones entre las bandas infrarroja y roja, obteniendo mejor resultado entre las bandas 665 y 740 nm respectivamente.

$$X = \frac{R(740)}{R(665)} \quad (9)$$

2.4.7. Concentración de Materia Orgánica Cromofórica (CDOM)

La reflectometría indica que la mejor relación entre bandas con la materia orgánica es el cociente entre la banda roja y la banda azul (Xu *et al.*, 2018).

$$X = \frac{R(665)}{R(490)} \quad (10)$$

A continuación, se muestra en la tabla 2 todos los índices mencionados anteriormente para cada uno de los parámetros objeto de estudio.

Tabla 2: Resumen de los índices propuestos para cada parámetro.

Parámetro	Resumen de los índices propuestos para cada parámetro.	Autor
Temperatura	Sensor temperatura Landsat-8	-
Transparencia	$\frac{R(490)}{R(705)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> , 2018



Parámetro	Resumen de los índices propuestos para cada parámetro.	Autor
	$\frac{R(490)}{R(560)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> , 2018
Turbidez	$\frac{R(705)^2}{R(490)}$	Delegido <i>et al.</i> , 2020
Sólidos en Suspensión	$R(842) - R(665)$	Ruiz, 2017
	$R(705)$ cuando < 20 mg/L $\frac{R(783)}{R(490)}$ cuando > 20 mg/L	ISO-11923-1997
Clorofila-a	$\frac{R(705)}{R(665)}$	Shafique <i>et al.</i> , 2003
	$R(740) \cdot \left(\frac{1}{R(665)} - \frac{1}{R(705)} \right)$	Soria <i>et al.</i> , 2017
Ficocianina	$\frac{R(740)}{R(665)}$	Soria <i>et al.</i> , 2020
CDOM	$\frac{R(665)}{R(490)}$	Xu <i>et al.</i> , 2018

2.5. EXTRACCIÓN DE LOS VALORES DE REFLECTIVIDAD

Para poder realizar cálculos entre las distintas bandas, éstas deben tener la misma resolución. Para ello, a través de la herramienta geométrica “*Resampling*” se han modificado las bandas con resolución de 20 y 60 m para que tengan un tamaño de celda de 10 m aplicando el método del vecino más cercano.

Una vez que las imágenes están procesadas y con las bandas en la misma resolución, se procede a introducir las coordenadas donde se tomaron las muestras de campo. SNAP trabaja con coordenadas geográficas, por lo que se deben transformar las coordenadas UTM a geográficas WGS 84 para que ubique correctamente la localización exacta. Las coordenadas se introducen a través de la ventana “*Pin Manager*”.



Para extraer los valores de reflectividad se utiliza la herramienta ráster “*extract píxel values*” en la que se puede escoger el método de extracción de valor. Se puede escoger la extracción del píxel seleccionado o también escoger la extracción de un área de influencia. En este caso, para evitar la extracción de un píxel con un valor atípico, se ha extraído el valor medio en un área de influencia de los 8 píxeles que rodean a la coordenada de la toma de campo. En total, la zona de influencia es de 3x3 píxeles, es decir 30x30 m. A continuación, en la figura 6 se muestra una imagen procesada en el nivel L2A tras aplicar el cambio de resolución a 10 metros en todas las bandas y un recorte de la imagen con ampliación en el embalse del Ebro. En la figura 7 se muestra la zona de influencia en la extracción de valores de reflectividad en las coordenadas de la toma de campo.



Figura 6: Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A tras aplicar la corrección atmosférica, remuestreo y recorte en el embalse del Ebro.

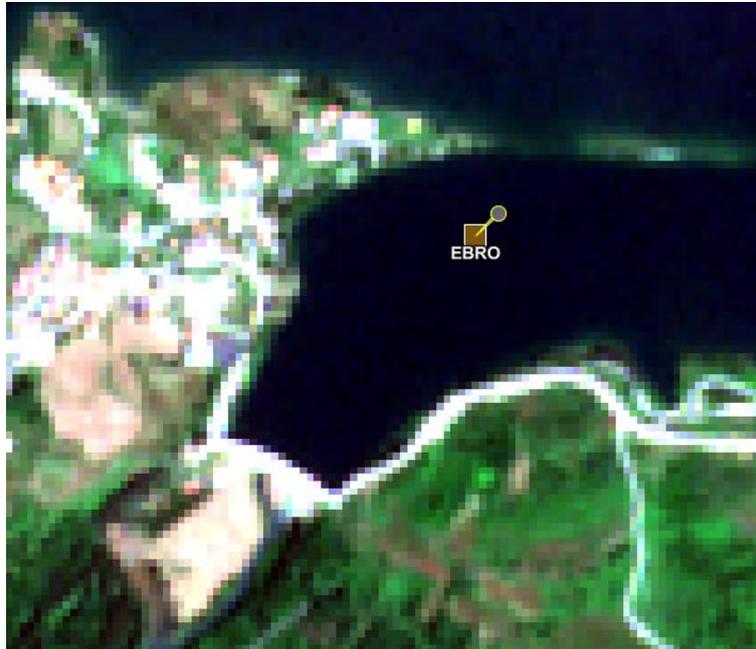


Figura 7: Punto de extracción de valores de reflectividad próxima a la presa con su zona de influencia.

3. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentarán los resultados alcanzados tras la extracción de valores de reflectividad. Cabe destacar que, tras realizar un análisis previo de los datos de campaña proporcionados por la Confederación, se considera que no hay datos suficientes para calibrar algoritmos particulares para cada embalse. Por ello, se utilizarán todos los datos de los que se dispone en su conjunto para calibrar los algoritmos en base a la consideración de que todos los embalses se comportarán de forma homogénea, suprimiendo del análisis en todo caso aquellos datos que estadísticamente se consideren atípicos.

A través de una hoja de cálculo Excel, se ha unificado toda la información recopilada referente a las campañas de campo y la información satelital recogida en las imágenes. En la hoja, se indica por un lado la fecha de la muestra de campo, la fecha de la pasada del satélite y las coordenadas donde se tomaron ambas medidas en proyección geográfica WGS 84. Por otro lado, también se muestran los valores de reflectividad extraídos en las 13 bandas de las imágenes para poder combinar posteriormente estos valores calculando los índices mencionados en el capítulo



anterior. En los anejos se muestran todos los valores recopilados en la hoja de cálculo Excel.

A continuación, se van a comentar los resultados alcanzados en cada uno de los parámetros estudiados.

3.1. TEMPERATURA

En el primer caso se ha realizado un análisis correlacionando los valores obtenidos directamente por el sensor TIRS de Landsat 8, que proporciona datos de temperatura en grados Celsius, con los datos de campo.

Se debe tener en cuenta que los datos del satélite y los de campo no se corresponden al mismo día, sino a la fecha de imagen más cercana al dato obtenido en campo y que, este parámetro es muy variable.

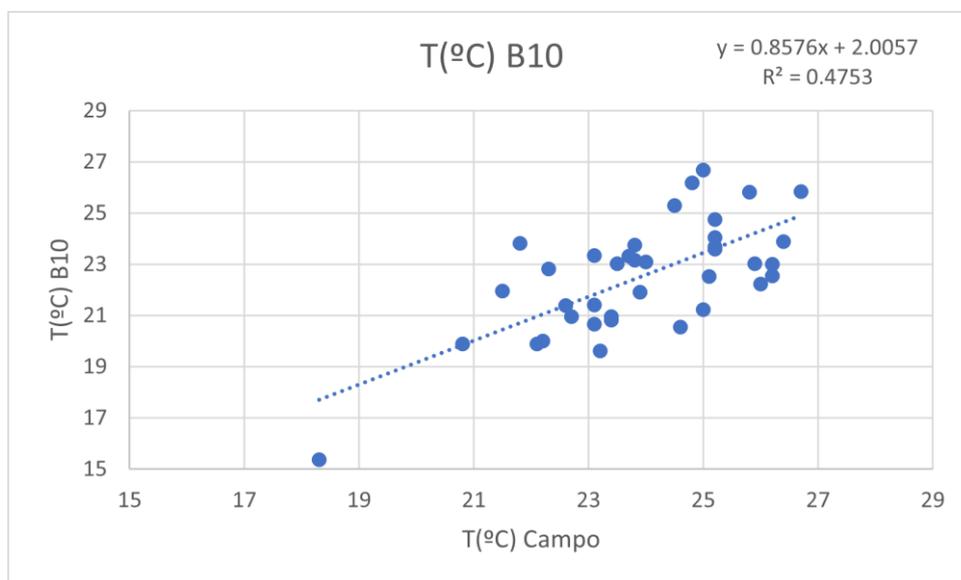


Figura 8: Gráfica de correlación entre la banda 10 del sensor TIRS de Landsat 8 y los datos de campo.

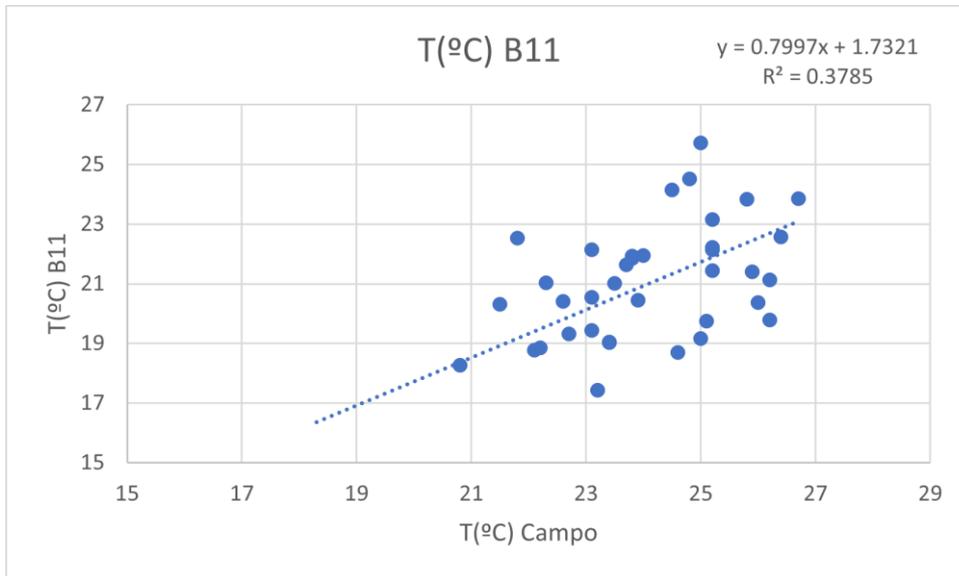


Figura 9: Gráfica de correlación entre la banda 10 del sensor TIRS de Landsat 8 y los datos de campo.

En vista de los resultados hallados en las gráficas anteriores, la banda 10 TIRS mide mejor la temperatura superficial en los embalses estudiados, obteniendo una correlación de $R^2 = 0.48$.

3.2. TRANSPARENCIA

Se ha contado con un total de 59 datos de campo de este parámetro entre todos los embalses teniendo una variación de valores entre 1,05 metros, siendo el valor mínimo en el embalse de La Loteta, y 6,3 metros en el embalse del Ebro, siendo éste el valor máximo.

Se han utilizado dos índices distintos. El primero relacionando la banda azul (banda 2) frente a la banda infrarroja cercana (banda 5). El segundo índice utilizado ha sido la relación entre la banda azul y la banda verde (banda 3). Además, se utilizó la herramienta C2RCC de SNAP en la que el parámetro kd_z90max muestra correlación con los valores de transparencia.

En el primer caso no se ha encontrado correlación entre los valores obtenidos a través del índice y los datos alcanzados en las campañas de campo, hallando un $R^2 = 0,0481$ y mostrando el índice gran disparidad de resultados, desde valores de 0,83

hasta valores de 392,4. En la siguiente figura se muestra un gráfico de correlación entre el primer índice utilizado y las muestras de campo.

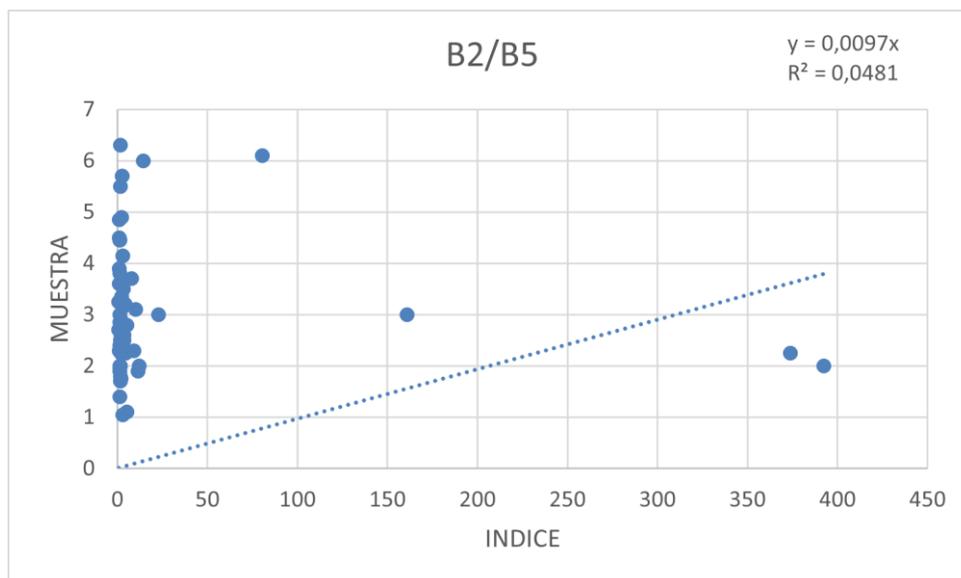


Figura 10: Correlación entre el primer índice de transparencia y los valores de transparencia tomados en campo.

El segundo índice utilizado ha mostrado un resultado muy bueno, alcanzando una correlación de $R^2=0,88$, siendo el índice que mejor correlaciona este parámetro. La ecuación obtenida que calibra el índice con la transparencia es la siguiente:

$$y = 3,8101 x \left(\frac{B2}{B3} \right) \quad (11)$$

A continuación, se muestra en la siguiente figura el gráfico resultante de la correlación entre el índice y las muestras de campo.

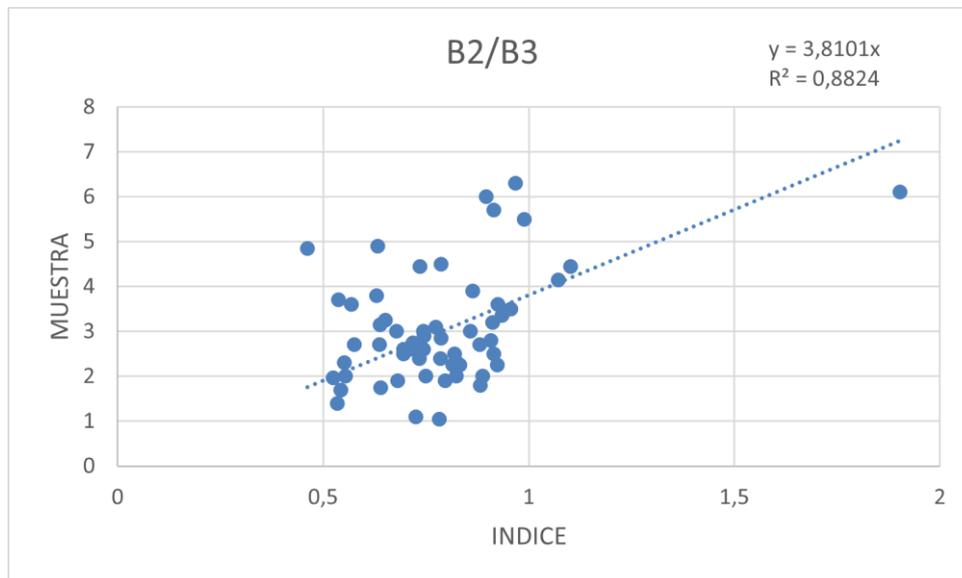


Figura 11: Correlación entre el segundo índice de transparencia y los valores de transparencia tomados en campo

En el caso del parámetro kd_{z90max} obtenido a través de la herramienta C2RCC se ha alcanzado también una correlación positiva siendo ésta de $R^2=0,73$. La ecuación que correlaciona ambas variables es la siguiente:

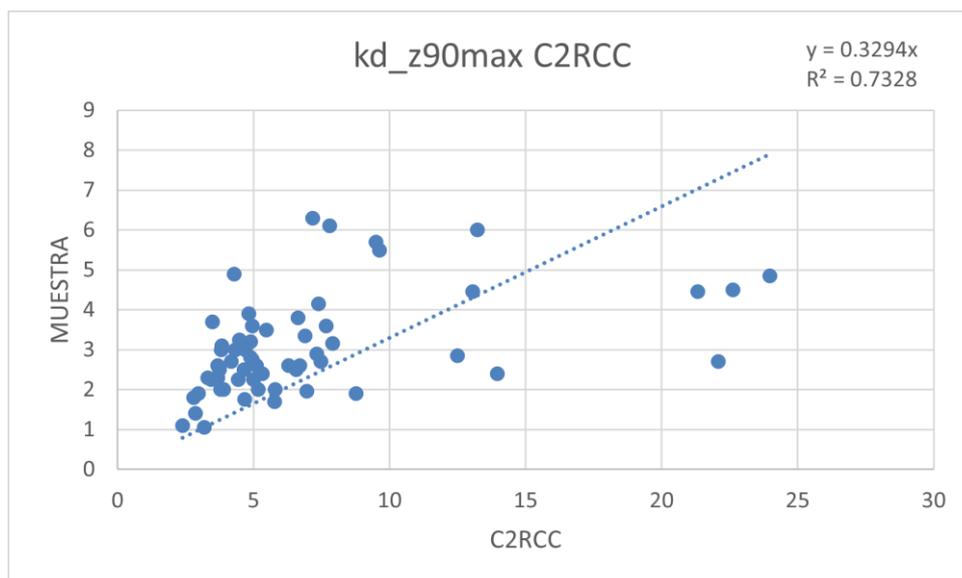


Figura 12: Correlación entre el resultado hallado con la herramienta C2RCC y los valores de transparencia tomados en campo.



Analizando los resultados de los tres métodos utilizados se puede concluir que la banda infrarroja cercana no relaciona adecuadamente el parámetro de la transparencia para los embalses de esta demarcación. También que, a pesar de que el índice que mejor correlaciona es el que utiliza la banda azul y verde, el parámetro calculado a través de la herramienta C2RCC necesita un factor de corrección inferior.

En los 59 datos utilizados el rango oscila entre 0,83-6,3 m, y el promedio es de 3 m, por lo que el algoritmo alcanzado dará valores próximos al valor medio detectando variaciones dentro del rango de valores en las muestras de campo.

Por tanto, para el parámetro de la transparencia medido en campo mediante el disco de Secchi, el mejor método para su estimación mediante el satélite Sentinel-2 será utilizando la ecuación alcanzada tras la correlación de las bandas azul y verde.

3.3. TURBIDEZ

En este parámetro se ha contado con un total de 46 datos entre todos los embalses con un rango de valores entre 0,94 siendo el valor mínimo y 6,99 el valor máximo. El valor medio de las muestras es de 2,8.

Para este parámetro se propuso un índice que relacionaba el cuadrado de la banda infrarroja cercana con la banda azul. En este caso se ha obtenido una correlación de $R^2=0,37$ obteniendo la siguiente ecuación calibrada:

$$y = 86,913 x \left(\frac{B5^2}{B2} \right) \quad (13)$$

En la siguiente figura se muestra el gráfico con la correlación obtenida entre los valores del índice y los valores de las muestras de campo.

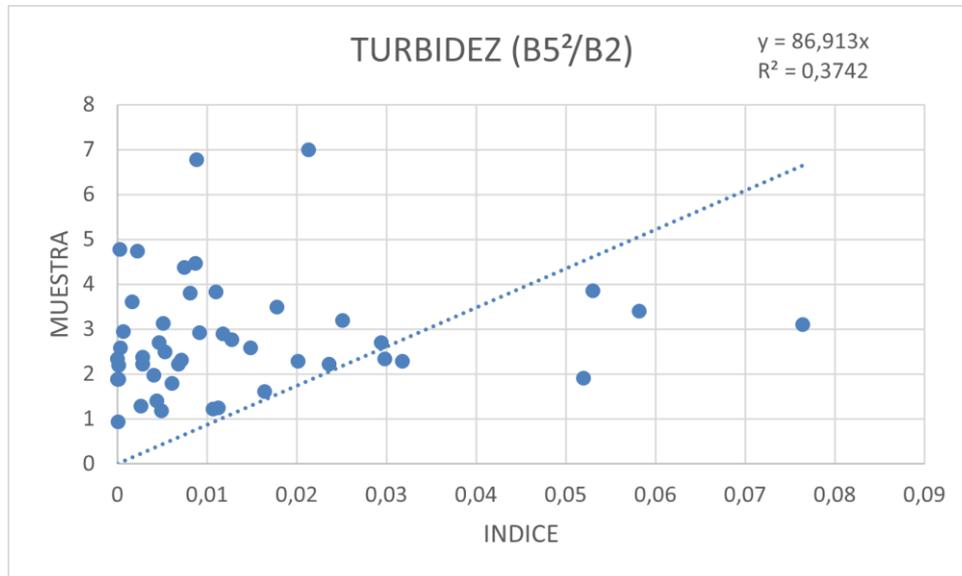


Figura 13: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de turbidez tomados en campo.

3.4. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para el estudio de este parámetro se ha utilizado un total de 43 datos, con un rango de valores entre 0,25 y 8,84 mg/L y un valor promedio de 3,3 mg/L.

Los índices propuestos para este parámetro fueron los siguientes: el primer método consiste en combinar la banda infrarroja (banda 8 en este caso), con la banda roja (banda 4), calculando la diferencia entre ambas.

Los resultados obtenidos han sido una correlación de $R^2=0,31$. Es llamativo que en este caso los valores más pequeños obtenidos en el cálculo del índice se corresponden con los valores de campo más altos y, van aumentando conforme las concentraciones de sólidos en suspensión disminuyen.

El segundo método propuesto, siguiendo la metodología ISO-112023-1997, establece dos formas de relacionar este parámetro con las bandas dividida por rangos inferiores y superiores a 20 mg/L. Para concentraciones inferiores a 20 mg/L utiliza directamente los valores de reflectividad de la banda roja del satélite. Como en este caso el rango de concentraciones de hasta 8.84 como máximo y, siendo inferior a 20, se ha utilizado directamente la banda 4.



Los resultados obtenidos con los valores de reflectividad de la banda roja han sido positivos, alcanzando un $R^2=0,47$ y obteniendo la siguiente ecuación de ajuste:

$$y = 86,88 x B4 \quad (14)$$

Finalmente, se utilizó la herramienta C2RCC al igual que se hizo con la transparencia, y calcula la concentración de materia disuelta. Los resultados que se han alcanzado con este método han sido los mejores, con un $R^2=0,7$ y una ecuación calibrada de:

$$y = 0,61 x (\text{conc_tsm}) \quad (15)$$

Siendo *conc_tsm* la banda resultante de la herramienta que se corresponde a la concentración de materia disuelta en el agua.

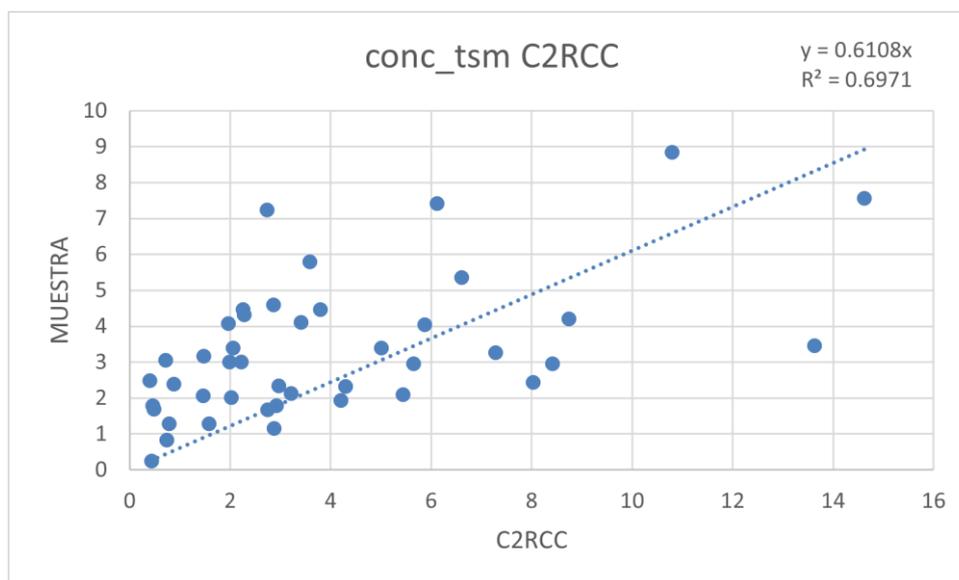


Figura 14: Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo.

Por tanto, se concluye que el mejor método para la obtención de este parámetro a partir de imágenes satelitales es utilizar la herramienta C2RCC del software SNAP.

3.5. CLOROFILA-A

En el estudio de este parámetro se ha realizado con un total de 46 datos, con un rango de valores entre 0,81 y 21,14 µg/L y un valor medio es de 5,95 µg/L.

Se han utilizado tres métodos distintos para la calibración de la clorofila-a. El primero de ellos es el índice propuesto por Shafique *et al.*, 2003, que relaciona la banda infrarroja cercana con la roja.

El resultado obtenido ha sido bueno, consiguiendo un $R^2=0,58$ con una ecuación calibrada igual a:

$$y = 6,7479 x \left(\frac{B5}{B4} \right) \quad (16)$$

A continuación, en la siguiente figura se muestra la correlación obtenida explicada anteriormente.

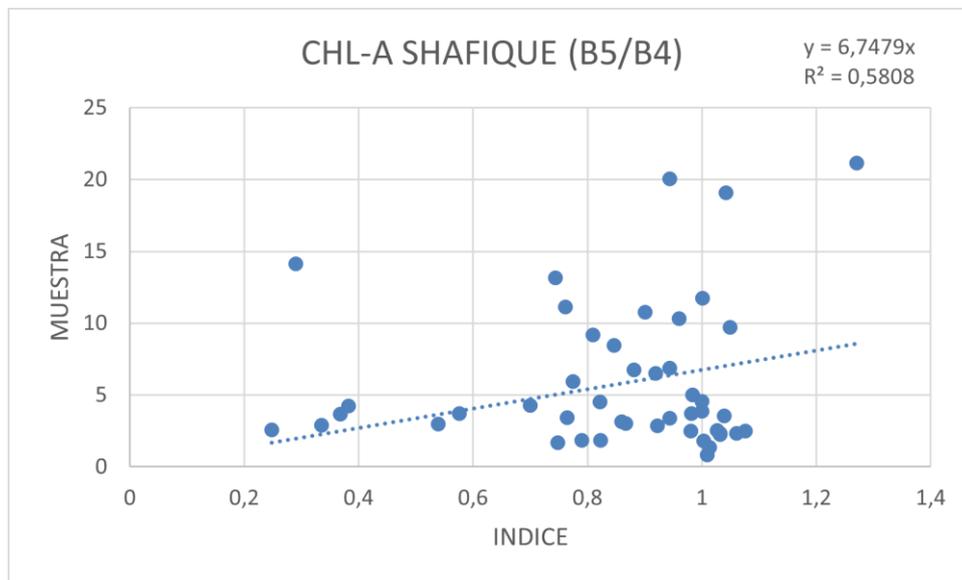


Figura 15: Correlación entre el resultado hallado con el índice de Shafique *et al.*, y los valores de clorofila-a tomados en campo.

El segundo índice utilizado ha sido el índice tribanda TDBO, que combina la banda roja y las bandas infrarrojas 5 y 6. El resultado alcanzado no ha sido bueno, con una correlación $R^2=0,07$, por lo que este índice no es viable para los embalses de esta cuenca. A continuación, se muestra el gráfico de correlación entre el índice tribanda y los valores tomados en campo.

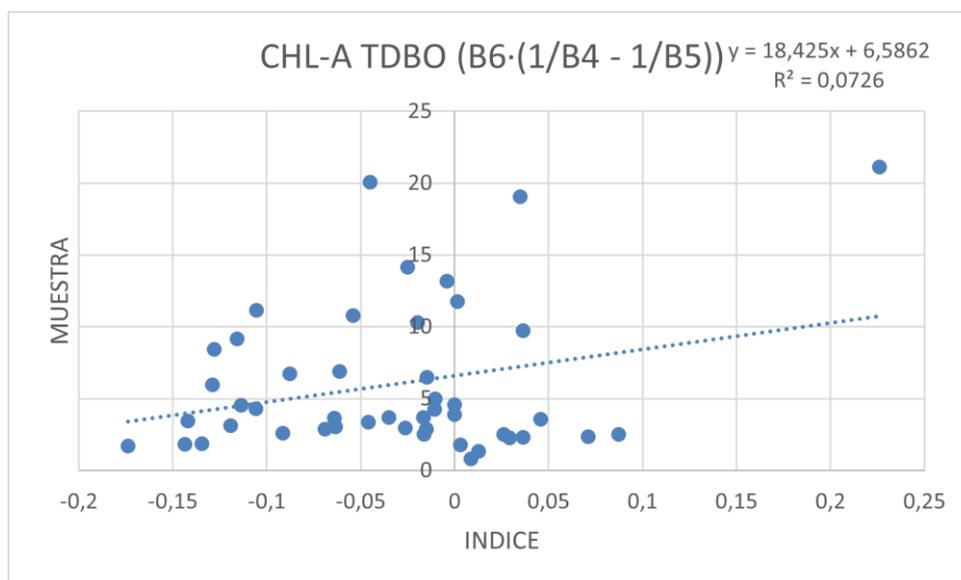


Figura 16: Correlación entre el resultado hallado con el índice tribanda y los valores de clorofila-a tomados en campo.

Por último, se ha utilizado al igual que los parámetros de transparencia y concentración de sólidos en suspensión, la herramienta C2RCC de SNAP. Se obtuvo una correlación de $R^2=0,35$, que sin ser mala sigue siendo bastante inferior al primer método utilizado. En la siguiente figura se muestra la correlación entre los resultados obtenidos utilizando esta herramienta y los valores tomados en campo.

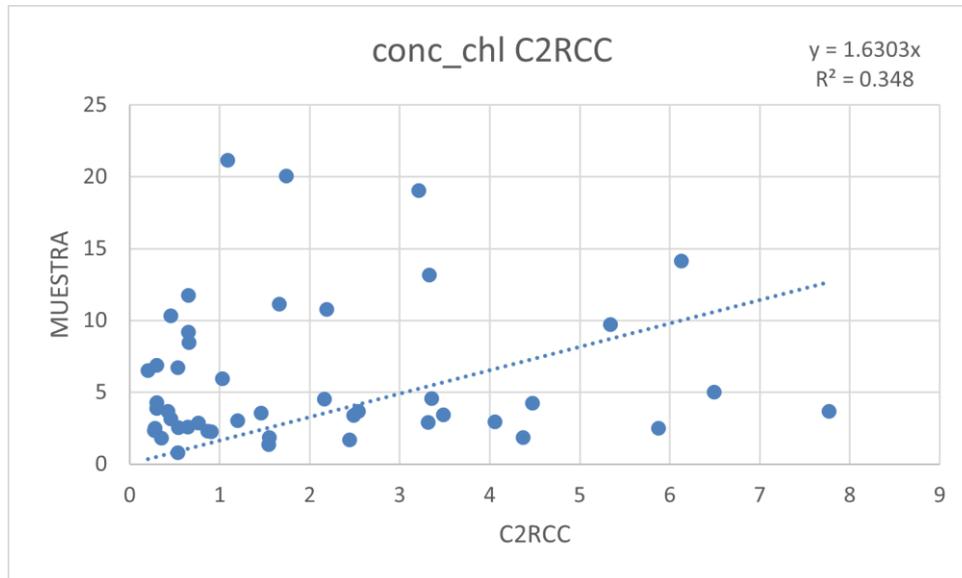


Figura 17: Correlación entre el resultado hallado con la herramienta C2RCC y los valores de clorofila-a tomados en campo.

Una vez alcanzados los resultados presentados anteriormente, se procedió a realizar la validación de los parámetros de transparencia y clorofila-a que se comentarán más adelante. Respecto a la validación de la clorofila-a se apreció que la ecuación calibrada no estimaba adecuadamente los valores altos. Por lo que se decidió eliminar los valores superiores a 7 $\mu\text{g/L}$ y recalibrar este parámetro para el rango de valores entre 0-7, puesto que es el rango donde hay una mayor cantidad de datos, 34 exactamente.

Los resultados a los que se ha llegado en la recalibración han sido positivos, mejorando las correlaciones en los tres métodos. El índice de Shafique que relaciona las bandas 4 y 5 sigue siendo el mejor de todos ellos obteniendo un $R^2=0,77$ y la siguiente ecuación calibrada:

$$y = 3,7475x \left(\frac{B5}{B4} \right) \quad (17)$$

A continuación, se presenta en la siguiente figura el gráfico de correlación de este parámetro recalibrado para el rango de valores entre 1 y 7 $\mu\text{g/L}$ respectivamente.

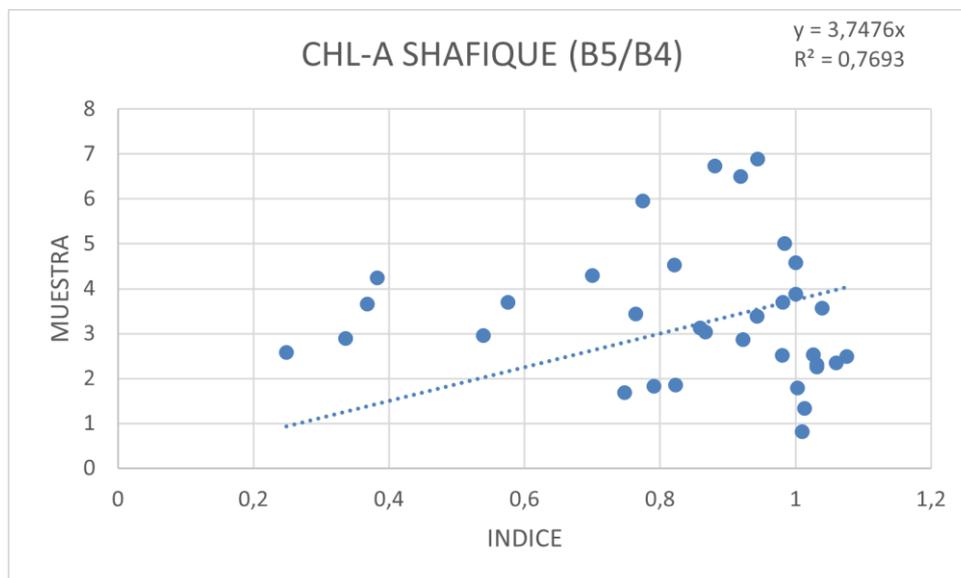


Figura 18: Correlación entre el resultado hallado en la recalibración para concentraciones inferiores e iguales a 7 µg/L y los valores de clorofila-a tomados en campo.

El índice tribanda también tiene una mejora llegando hasta un $R^2=0,29$ y el resultado obtenido con la herramienta C2RCC también mejora hasta alcanzar un $R^2=0,42$.

Por tanto, se concluye que para este parámetro el índice que más se ajusta es el propuesto por Shafique, aunque el calculado por SNAP también es un índice aceptable que podría ser utilizado. Sin embargo, el índice tribanda no se ajusta correctamente.

3.6. FICOCIANINA

Este parámetro ha sido calibrado con un total de 21 medidas, con un rango de 0,64 siendo el valor mínimo casi cero medido en el embalse de Ribarroja y 17,34 en mg/m^3 respectivamente, siendo el valor máximo medido en el embalse de La Tranquera. El valor promedio de las medidas es de 7,5 mg/m^3 .

El índice aplicado para calibrar este parámetro ha sido la relación entre la banda infrarroja de 740 nm, correspondiente a la banda 6, y la banda roja.

La correlación obtenida ha sido buena, con un $R^2=0,57$ y la ecuación calibrada:

$$y = 10,27 x \left(\frac{B6}{B4} \right) \quad (18)$$

En la siguiente figura se muestra el gráfico de correlación entre el índice de bandas de reflectividad y las muestras de campo.

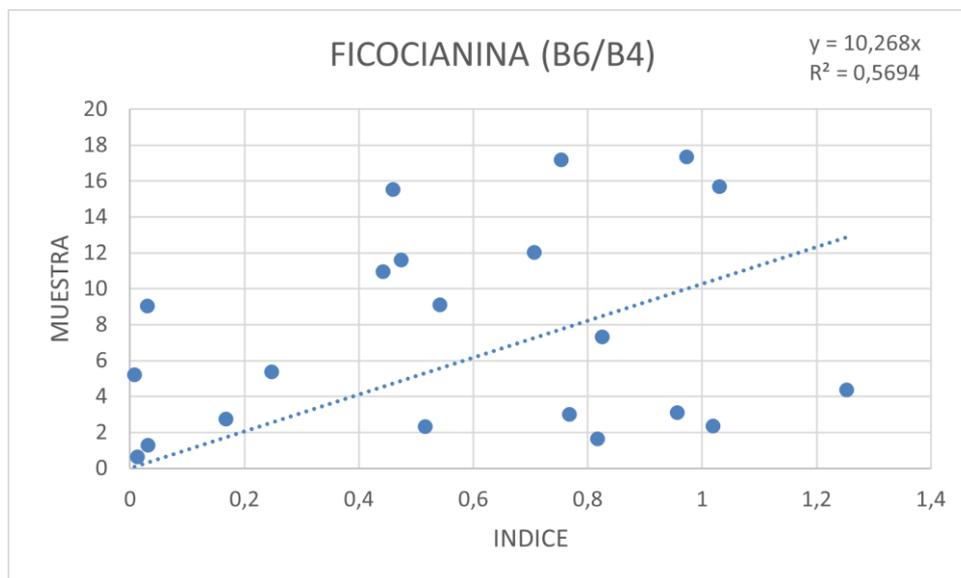


Figura 19: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.

3.7. CDOM

Este parámetro ha sido calibrado con 44 medidas y en un rango de valores entre 14 y 83, siendo el valor promedio de 55.

El índice utilizado ha sido la relación entre las bandas del rojo y del azul. El resultado alcanzado ha sido bueno, obteniéndose una correlación de $R^2=0.85$. La ecuación calibrada es la siguiente:

$$y = 87,125 x \left(\frac{B4}{B2} \right) \quad (19)$$

En la siguiente figura se muestra el gráfico con los resultados alcanzados en la correlación entre las bandas de reflectividad del satélite y las muestras de campo.

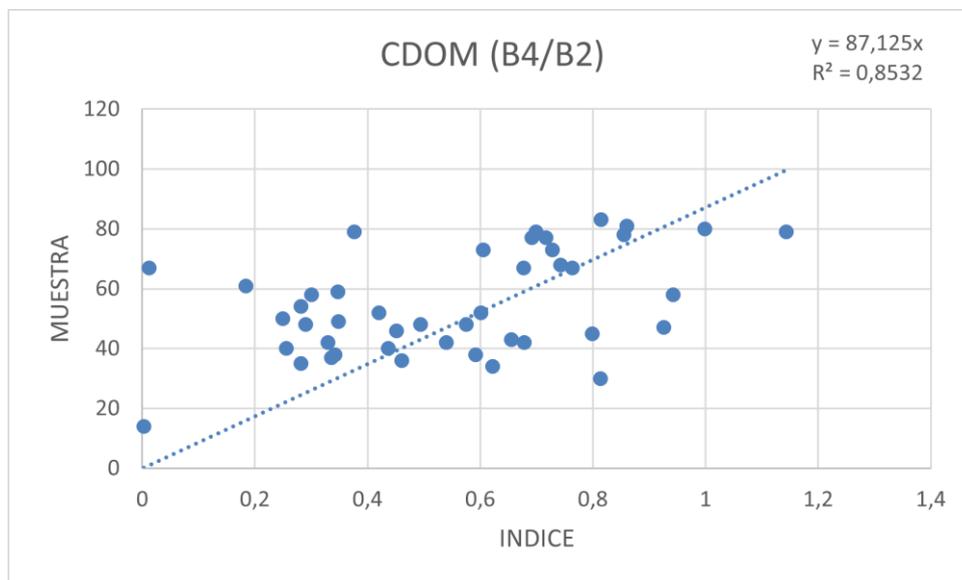


Figura 20: Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo.

En la tabla 3 se resumen los resultados alcanzados en la calibración de cada parámetro de calidad estudiado en los diferentes embalses de la demarcación Hidrográfica.

Tabla 3: Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados.

Parámetro	Ecuación Calibrada	Correlación (R ²)
Transparencia	$y = 3,81 x \left(\frac{B2}{B3}\right)$	R ² =0,88
Turbidez	$y = 86,91 x \left(\frac{B5^2}{B2}\right)$	R ² =0,37
Sólidos en suspensión	<i>Herramienta C2RCC</i>	R ² =0,70
Clorofila-a	$y = 3,74 x \left(\frac{B5}{B4}\right)$	R ² =0,77
Ficocianina	$y = 10,27 x \left(\frac{B6}{B4}\right)$	R ² =0,57
CDOM	$y = 87,13 x \left(\frac{B4}{B2}\right)$	R ² =0,85



Una vez obtenidas las ecuaciones calibradas para los diferentes parámetros, se pueden realizar mapas de calidad de los diferentes embalses y visualizar su evolución a lo largo del año 2020. A continuación, se presenta en la siguiente figura como ejemplo la evolución del embalse del Ebro durante el año 2020 en los parámetros de calidad de transparencia y clorofila-a. Los resultados de todos los embalses se pueden consultar en el Anexo 5.



4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se van a validar los resultados alcanzados en la calibración realizada en el capítulo anterior. Una vez validados los resultados se realizará la determinación del estado trófico de cada embalse tanto con medidas de campo como las calculadas con el satélite.

Para la validación se ha tenido acceso a datos de campo tomados en el 2020. En este caso, se ha tenido acceso a los parámetros de transparencia y concentración de clorofila-a. De la misma forma que se realizó la calibración, se han descargado las imágenes con fecha más próxima a la medida de campo.

Se ha realizado la validación de la transparencia con 28 medidas, centrándose las medidas en julio y septiembre. La transparencia medida en satélite con la medida en el campo ha mostrado una correlación positiva de $R^2=0,32$ con la siguiente ecuación de ajuste:

$$y = 0,2541 x \left(\frac{B2}{B3} \right) + 2,4965 \quad (20)$$

En el caso de la clorofila-a se eliminaron los datos que mostraban concentraciones superiores a $7\mu\text{g/L}$, ya que el algoritmo se calibró para concentraciones iguales o inferiores a 7. En total, la validación se ha realizado con 25 muestras y se ha obtenido una correlación positiva con un $R^2=0,40$, con la siguiente ecuación de ajuste:

$$y = 0,21 x \left(\frac{B5}{B4} \right) + 2,2831 \quad (21)$$

A continuación, se muestran los gráficos con los resultados alcanzados en la validación de los parámetros de transparencia y clorofila-a.

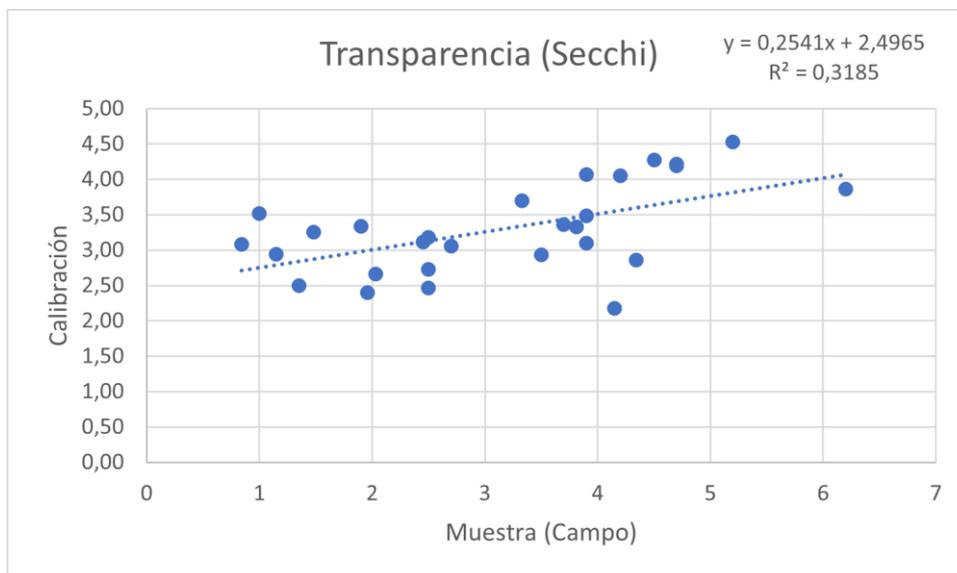


Figura 22: Gráfico de correlación entre la calibración y los valores obtenidos de transparencia tomados en campo.

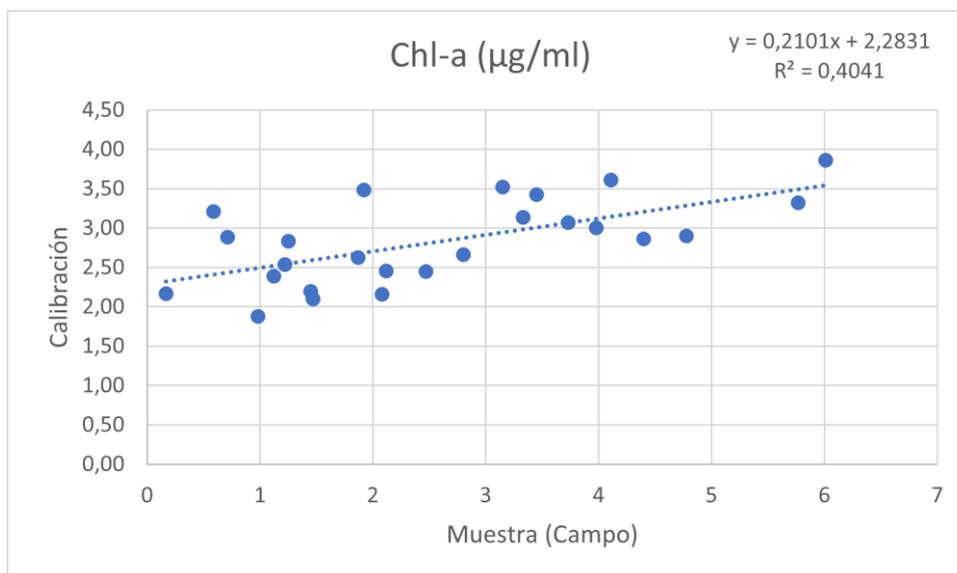


Figura 23: Gráfico de correlación entre la calibración y los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo.

Puesto que las calibraciones han mostrado una correlación positiva en la validación, a continuación, se realizará la determinación del estado trófico en los diferentes embalses de estudio. Primero, se determinará el estado trófico en función a los datos tomados in situ, y, después se realizará lo mismo con los valores hallados mediante el satélite.

Tabla 4: Determinación del estado trófico de los embalses mediante el satélite Sentinel-2 para el año 2020.

IdMasa	EMBALSE	FECHA	ET_SECCHI	ET SECCHI	ET_CONCLO-A	ET_CHL-A	ET	ET MEDIO
1	Embalse del Ebro	08/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
22	Embalse de Sobrón	10/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
27	Embalse de Alloz	15/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
37	Embalse de Yesa	07/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
42	Embalse de Mediano	12/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
47	Embalse de El Grado I	12/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
50	Embalse de Talarn (Trempe o San Antonio)	12/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
53	Embalse de Oliana	14/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
58	Embalse de Canelles	12/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
62	Embalse de La Sotonera	12/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
63	Embalse de Rialb	14/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
66	Embalse de Santa Ana	27/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
70	Embalse de Mequinzenza	22/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
76	Embalse de La Tranquera	10/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
86	Embalse de Itoiz	30/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
949	Embalse de Ribarroja	22/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
1680	Embalse de La Loteta	10/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3



Tabla 5: Determinación del estado trófico de los embalses mediante medidas de campo en el año 2020.

IdMasa	EMBALSE	FECHA	ET_SECCHI	ET SECCHI	ET_CONCLO-A	ET CHL-A	ET	ET MEDIO
1	Embalse del Ebro	07/09/2020	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3	Mesotrófico	3
22	Embalse de Sobrón	07/09/2020	Mesotrófico	3	Eutrófico	4	Eutrófico	4
37	Embalse de Yesa	08/09/2020	Eutrófico	4	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3
42	Embalse de Mediano	15/09/2020	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
47	Embalse de El Grado I	15/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
50	Embalse de Talarn (Trep o San Antonio)	17/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
53	Embalse de Oliana	18/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
58	Embalse de Canelles	17/09/2020	Oligotrófico	2	Ultraoligotrófico	1	Ultraoligotrófico	1
63	Embalse de Rialb	21/09/2020	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
66	Embalse de Santa Ana	21/09/2020	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
70	Embalse de Mequinenza	22/09/2020	Ultraoligotrófico	1	Mesotrófico	3	Oligotrófico	2
76	Embalse de La Tranquera	11/09/2020	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2	Oligotrófico	2
949	Embalse de Ribarroja	23/09/2020	Mesotrófico	3	Eutrófico	4	Eutrófico	4
1680	Embalse de La Loteta	10/09/2020	Eutrófico	4	Oligotrófico	2	Mesotrófico	3



En las tablas anteriores, cada estado trófico de la masa de agua es representado con un número y un color siguiendo los colores utilizados normalmente para presentar los estados tróficos: el número 1 representa el estado ultraoligotrófico en color azul; el 2 representa el estado oligotrófico en color verde; el 3 representa el estado mesotrófico en color amarillo; el número 4 representa el estado eutrófico en color naranja.

Mientras que en la tabla calculada a partir de los datos de campo se han hallado los cuatro estados tróficos posibles, en la medida mediante el satélite sólo se han detectado los estados tróficos intermedios: oligotrófico y mesotrófico.

Esto ocurre puesto que cuando calibramos un parámetro, los valores medidos a partir de la ecuación calibrada oscilarán en torno al valor promedio. Puesto que en la calibración ocurre que la disponibilidad de valores ultraoligotróficos y eutróficos han sido escasos, es difícil que el satélite pueda determinar adecuadamente valores extremos. Para ello, habría que realizar mayores medidas de campo enfocándose en valores extremos ultraoligotróficos y eutróficos.

Por tanto, las ecuaciones calibradas obtenidas suavizan los resultados dando estimaciones coherentes.

Para resumir los resultados alcanzados, se muestra en la siguiente figura 20 como ejemplo un mapa resumen del embalse de Talarn en el que se representa una visualización de mapa de calidad de clorofila-a y transparencia utilizando las ecuaciones calibradas el 12 de septiembre de 2020 y con el que se realizó la estimación del estado trófico del embalse. También se visualiza la comparativa de los resultados obtenidos en la estimación del estado trófico medidos en campo y con el satélite, coincidiendo ambos. Los resultados para todos los embalses se encuentran en el Anexo 6.

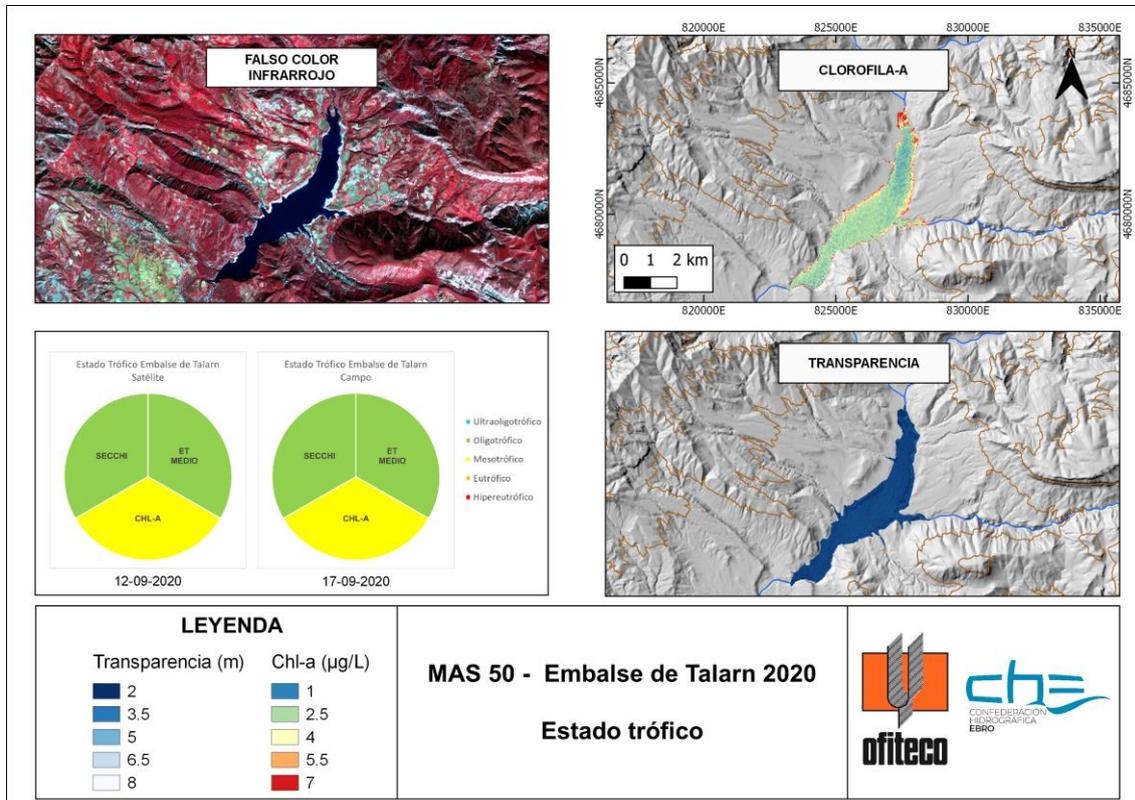


Figura 24: Mapa resumen de los parámetros de calidad de clorofila-a y transparencia con la comparativa en las estimaciones de estado trófico en el embalse de Tarn medidas con satélite y con tomas de campo en septiembre de 2020

5. PROPUESTAS A MEJORAR

Para futuros estudios se propone focalizar las campañas de campo en embalses oligotróficos y eutróficos para tener mayor cantidad de valores en concentraciones bajas y altas de clorofila-a y tener una mejor calibración que pueda ser utilizada para todo el rango de concentraciones.

También se ha observado que en algunos embalses las imágenes de invierno no son concordantes con la medida de la clorofila-a. Dado que la transparencia está influida tanto por la materia inorgánica en suspensión como por el fitoplancton, se debe mejorar la toma de datos de campo en invierno para comprobar si los valores de transparencia son más bajos por presencia de materia en suspensión inorgánica o es un error en la estimación por las imágenes de satélite.



6. CONCLUSIONES

El procesado de imágenes de Sentinel-2 obtenidas en fecha reciente permite obtener mapas de calidad en las diecisiete masas de agua objeto del estudio, cuyos resultados concuerdan con el estado obtenido por las medidas en el embalse.

A partir de los datos disponibles, se ha realizado una calibración y validación que ha encontrado las ecuaciones que mejor se ajustan a los datos, y con ello obtener el estado trófico cuyos valores son similares a los que se obtienen mediante los datos de campo.

Los mapas de estado trófico obtenidos muestran las variaciones tanto en la distribución espacial de las variables como en la variación temporal a lo largo de las estaciones del año, cuyos resultados son concordantes con los datos de campo y con las apreciaciones por un experto en cuanto a la distribución espacial.

Futuros estudios deben procurar obtener más datos de campo en el rango bajo y alto de las variables consideradas para mejorar los ajustes obtenidos, así como obtener medidas en la estación invernal para confirmar las hipótesis presentadas en cuanto a la presencia de turbidez por materia en suspensión de origen inorgánico (cosa lógica en invierno, por las escorrentías superficiales).

El punto débil del método es la obtención de las imágenes satelitales y la disponibilidad de las mismas por la presencia de nubes. Sin embargo, esta metodología se puede aplicar también al estudio con otros satélites como Landsat-8 o Sentinel-3, con lo cual aumentaría la disponibilidad de imágenes.

7. BIBLIOGRAFÍA

Delegido, J., Urrego, P., Vicente, E., Sòria-Perpinyà, X., Soria, J. M., Pereira-Sandoval, M., ... & Moreno, J. (2020). Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la Comunidad Valenciana. *Revista de Teledetección*, 54, 15-24.



Pereira-Sandoval, M., Ruiz-Verdú, A., Tenjo, C., Delegido, J., Urrego, P., Pena, R., ... & Moreno, J. (2018, July). Calibration and Validation of Algorithms for the Estimation of Chlorophyll-A in Inland waters with Sentinel-2. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 9276-9279). IEEE.

Ruiz Ramírez, D. C. (2017). *Método de estimación de sólidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante Imágenes satelitales*. Escuela de Posgrados.

Shafique, N. A., Fulk, F., Autrey, B. C., & Flotemersch, J. (2003). Hyperspectral remote sensing of water quality parameters for large rivers in the Ohio River basin. In *First interagency conference on research in the watershed, Benson, AZ* (pp. 216-221).

Soria, X., Delegido, J., Urrego, E. P., Pereira-Sandoval, M., Vicente, E., Ruíz-Verdú, A., ... & Moreno, J. (2017). Validación de algoritmos para la estimación de la clorofila-a con Sentinel-2 en la Albufera de València. En *Actas del XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección* (pp. 289-292).

Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Urrego, P., Pereira-Sandoval, M., Ruíz-Verdú, A., Delegido, J., ... & Moreno, J. (2020). Remote sensing of cyanobacterial blooms in a hypertrophic lagoon (Albufera of València, Eastern Iberian Peninsula) using multitemporal Sentinel-2 images. *Science of the Total Environment*, 698, 134305.

Xu, J., Fang, C., Gao, D., Zhang, H., Gao, C., Xu, Z., & Wang, Y. (2018). Optical models for remote sensing of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) absorption in Poyang Lake. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 142, 124-136.



ANEXO 1. DATOS DE CAMPO DE LOS EMBALSES

Tabla 6: Listado de los datos de campo disponibles para cada uno de los embalses. Fuente: Base de datos anuales de C.H.E.

Embalse	X	Y	Fecha Campo	Tº (°C)	Chl-a	SS	Secchi	Turbidez
Alloz	586106	4729237	17/07/2017	23,8	1,34	2,0	2,5	1,91
Canelles	303318	4650539	01/08/2016	26	2,86	2,32	3,5	2,22
Ebro	414482	4758351	16/07/2019	22,7	2,34	1,69	4,45	2,28
Ebro	414598	4759137	16/07/2019				6,3	
Ebro	414026	4759349	16/07/2019				5,5	
Ebro	423547	4762206	16/07/2019				3	
Ebro	422988	4762332	16/07/2019				3,6	
Ebro	414479	4758333	09/07/2018	23,2	2,49	0,25	4,5	2,22
Ebro	414478	4758334	26/06/2017	23,1	2,31	2,39	2,85	2,28
Ebro	414492	4758366	22/09/2017	17,5	9,71		2,3	3,19
Ebro	414479	4758356	22/06/2016	20,8	2,26	1,29	4,45	2,89
Ebro	414477	4758342	19/09/2016	18,3	5	7,41	1,4	6,99
Grado	271743	4670796	09/08/2016	22,1	0,81	1,68	4,15	2,31
Itoiz	633651	4740637	18/07/2017	23,1	2,53	2,34	3,9	3,1
La Loteta	638893	4631636	24/07/2019	23,5	1,83	8,84	1,05	6,77
La Sotona	690868	4663872	17/07/2019	26,2	2,51	3,46	1,8	3,4
La Sotona	690865	4663874	24/07/2018	25,2	3,44	2,96	2,5	2,7
La Sotona	690832	4663923	09/08/2017	23,4	4,58	5,36	2	2,34
La Sotona	690526	4664082	09/08/2017				2,25	



Embalse	X	Y	Fecha Campo	Tº (°C)	Chl-a	SS	Sechi	Turbidez
La Sotonera	690824	4663911	11/07/2016	26,2	3,38	3,4	2,25	1,61
La Sotonera	690864	4663910	13/09/2016	23,4	3,69	7,56	1,1	4,74
La Tranquera	600620	4568487	05/07/2019	24,5	10,77	5,79	1,75	2,92
La Tranquera	600607	4568492	11/07/2018	25,9	11,75	4,59	2,4	2,34
La Tranquera	600595	4568457	26/07/2017	25,2	8,45	3	2,7	1,79
La Tranquera	600620	4568496	10/08/2016	25	5,95	1,78	4,9	1,28
Mediano	269841	4688900	09/08/2016	25	1,85	2,1	3,2	1,97
Mequinenza	271370	4583473	01/08/2017	25,1	3,88	2,06	6,1	1,88
Mequinenza	271343	4583479	20/07/2016	24,5	3,66	2,13	3,7	1,88
Mequinenza	271350	4583469	14/09/2016	24,8	3,69	2,02	3,8	1,22
Oliana	359207	4662291	23/07/2019	24	6,5	2,49	4,85	1,18
Oliana	359222	4662302	17/07/2018	23,9	2,58	0,83	6	0,94
Oliana	359205	4662280	12/07/2017	23,2	14,13	4,21	1,9	4,77
Oliana	359209	4662284	12/09/2017	21,2	2,96		3,1	2,19
Oliana	359660	4662442	12/09/2017				3	
Oliana	359597	4662931	12/09/2017				3	
Oliana	359227	4662314	27/06/2016	22,3	6,73	4,32	2,9	3,8
Oliana	359665	4662223	27/06/2016				2,6	
Oliana	359732	4662622	27/06/2016				2,5	
Oliana	359601	4662876	27/06/2016				2,6	



Embalse	X	Y	Fecha Campo	Tº (°C)	Chl-a	SS	Sechi	Turbidez
Oliana	359220	4662301	12/09/2016	23,7	21,14	4,11	2,7	3,86
Rialb	350864	4645399	23/07/2019	26,4	4,29	3	3,15	2,37
Rialb	350831	4645352	18/07/2018	25,2	2,89	2,44	2	2,58
Rialb	350842	4645363	07/08/2017	27,2	4,24	4,04	2,3	2,95
Rialb	350850	4645363	28/06/2016	23,8	4,53	1,94	2,75	2,49
Rialb	351148	4645610	28/06/2016				2,6	
Ribarroja	284699	4569601	24/07/2019	25,8	19,06	4,08	3,25	2,7
Ribarroja	284713	4569610	25/07/2018	26,7	20,07	7,23	2	2,58
Ribarroja	284706	4564602	02/08/2017	25,2	13,17	4,47	2,6	3,61
Santa Ana	299563	4639746	01/08/2016	24,6	1,79	1,16	3,35	1,25
Sobron	491630	4734942	16/07/2019	22,6	10,31	3,16	1,9	3,83
Sobron	491630	4734957	10/07/2018	23,4	6,89	1,79	2,7	3,49
Sobron	491648	4734953	25/07/2017	23,1	9,18	3,06	2,4	3,13
Sobron	491640	4734938	13/07/2016	21,5	11,13	4,47	1,7	4,37
Sobron	491703	4734990	13/07/2016				1,96	
Sobron	491642	4734942	20/09/2016		3,03	3,39	2	4,47
Sobron	491618	4734928	23/09/2017	18,3	3,56		3,6	2,76
Talarn	328501	4672287	28/06/2016	22,2	3,13	1,29	5,7	1,4
Yesa centro	650590	4719688	04/07/2017				2,25	
Yesa presa	649737	4719685	04/07/2017	21,8	1,68	3,27	2,8	2,22



ANEXO 2. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ESTUDIADOS



Tabla 7: Resultados de las bandas TIRS de Landsat 8 hallados para cada uno de los embalses estudiados.

EMBALSE	FECHA MUESTRA	FECHA LANDSAT	B10	B11
ALLOZ	17/07/2017	12/07/2017	23.15	21.92
CANELLES	01/08/2016	12/08/2016	22.22	20.36
EBRO	19/09/2016	11/09/2016	15.37	13.17
EBRO	22/06/2016	23/06/2016	19.9	18.27
EBRO	16/07/2019	18/07/2019	20.95	19.32
EBRO	26/06/2017	03/07/2017	20.66	19.44
EBRO	09/07/2018	29/06/2018	19.61	17.43
GRADO	09/08/2016	12/08/2016	19.88	18.77
ITOIZ	18/07/2017	05/07/2017	21.41	20.55
LA LOTETA	24/07/2019	20/07/2019	23.02	21.02
LA SOTONERA	09/08/2017	06/08/2017	20.82	19.02
LA SOTONERA	24/07/2018	24/07/2018	23.6	22.22
LA SOTONERA	11/07/2016	11/07/2016	22.54	19.78
LA SOTONERA	17/07/2019	20/07/2019	23.01	21.12
LA TRANQUERA	05/07/2019	11/07/2019	25.3	24.14
LA TRANQUERA	10/08/2016	03/08/2016	26.68	25.72
LA TRANQUERA	26/07/2017	06/08/2017	24.04	22.14
LA	11/07/2018	08/07/2018	23.03	21.41



EMBALSE	FECHA MUESTRA	FECHA LANDSAT	B10	B11
TRANQUERA				
MEDIANO	09/08/2016	12/08/2016	21.24	19.16
MEQUINENZA	14/09/2016	06/09/2016	26.19	24.52
MEQUINENZA	01/08/2017	30/07/2017	22.52	19.75
OLIANA	27/06/2016	04/07/2016	22.83	21.04
OLIANA	12/09/2016	06/09/2016	23.33	21.64
OLIANA	17/07/2018	10/07/2018	21.92	20.44
OLIANA	23/07/2019	29/07/2019	23.09	21.94
RIALB	28/06/2016	04/07/2016	23.74	21.85
RIALB	18/07/2018	10/07/2018	23.68	21.44
RIALB	23/07/2019	29/07/2019	23.88	22.57
RIBARROJA	02/08/2017	30/07/2017	24.76	23.16
RIBARROJA	24/07/2019	29/07/2019	25.81	23.84
RIBARROJA	25/07/2018	26/07/2018	25.85	23.85
SANTA ANA	01/08/2016	12/08/2016	20.54	18.69
SOBRÓN	13/07/2016	09/07/2016	21.96	20.32
SOBRÓN	16/07/2019	18/07/2019	21.38	20.41
SOBRÓN	25/07/2017	28/07/2017	23.35	22.15
SOBRÓN	10/07/2018	15/07/2018	20.96	19.05
TALARN	28/06/2016	25/06/2016	20.01	18.86
YESA PRESA	04/07/2017	05/07/2017	23.81	22.52



Tabla 8: Resultados de los índices calculados para cada uno de los embalses estudiados.

Embalse	Fecha		Transparencia			Turbidez	Sólidos en suspensión			Clorofila-a			Ficocianina	CDOM	
	Nombre	Muestra	Satélite	B2/B5	B2/B3	C2rcc	B5/3	B8-B4	B4	C2RCC	B5/B4	B6(1/B4-1/B5)	C2RCC	B6/B4	B4/B2
Alloz	17-07-17	18-07-17		1,59	0,91	4,66	0,05	0,00	0,60	5,65	1,01	0,01	1,54	0,96	0,62
Canelles	01-08-16	30-07-16		3,17	0,96	5,47	0,01	0,00	0,31	4,29	0,92	-0,07	0,76	0,82	0,34
Ebro	22-06-16	06-07-16		1,33	0,74	13,04	0,01	0,00	0,79	0,79	1,03	0,03	0,91	0,96	0,73
Ebro	19-09-16	24-09-16		1,19	0,53	2,86	0,02	-0,01	0,60	6,11	0,98	-0,01	6,49	0,63	0,85
Ebro	26-06-17	21-06-17		1,27	0,79	12,50	0,02	0,00	0,92	0,87	1,03	0,04	0,87	1,18	0,76
Ebro	22-09-17	29-09-17		1,08	0,55	3,32	0,03	0,00	0,74	4,57	1,05	0,04	5,34	0,78	0,88
Ebro	09-07-18	26-06-18		1,14	0,79	22,62	0,02	0,01	1,12	0,43	1,08	0,09	0,28	1,24	0,81
Ebro	16-07-19	16-07-19		1,39	1,10	21,32	0,03	0,02	0,94	0,48	1,06	0,07	0,27	1,25	0,68
Ebro	16-07-19	16-07-19		1,63	0,97	7,18	0,02	0,01	0,66	2,22	0,93	-0,07	0,33	0,92	0,66
Ebro	16-07-19	16-07-19		1,82	0,99	9,63	0,01	0,00	0,61	1,43	1,05	0,05	0,59	0,97	0,52
Ebro	16-07-19	16-07-19		1,33	0,86	3,82	0,04	-0,01	0,73	5,30	0,96	-0,03	4,28	0,89	0,78
Ebro	16-07-19	16-07-19		1,35	0,92	4,96	0,03	0,00	0,76	2,96	0,97	-0,03	1,19	0,96	0,76
Grado	09-08-16	30-07-16		2,94	1,07	7,40	0,01	0,00	0,35	2,75	1,01	0,01	0,54	0,89	0,34
Itoiz	18-07-17	18-07-17		1,05	0,86	4,82	0,08	0,00	0,97	2,97	1,03	0,03	0,54	1,02	0,93
Sotonera	11-07-16	10-07-16		1,96	0,83	4,44	0,02	-0,01	0,41	5,01	0,94	-0,05	2,49	0,77	0,54
Sotonera	13-09-16	11-09-16		5,27	0,72	2,40	0,00	-0,02	0,02	14,62	0,58	-0,04	7,77	0,05	0,33
Sotonera	09-08-17	04-08-17		392,44	0,82	3,80	0,00	0,00	0,00	6,60	1,00	0,00	3,35	1,00	0,00
Sotonera	09-08-17	04-08-17		373,78	0,81	3,45	0,00	0,00	0,00	7,60	1,00	0,00	3,78	1,00	0,00
Sotonera	24-07-18	25-07-18		3,76	0,82	3,75	0,00	-0,01	0,18	8,42	0,76	-0,14	3,49	0,46	0,35



Embalse	Fecha		Transparencia			Turbidez	Sólidos en suspensión			Clorofila-a			Ficocianina	CDOM	
	Nombre	Muestra	Satélite	B2/B5	B2/B3	C2rcc	B5/3	B8-B4	B4	C2RCC	B5/B4	B6(1/B4-1/B5)	C2RCC	B6/B4	B4/B2
Sotonera	17-07-19	18-07-19		1,56	0,88	2,81	0,06	-0,01	0,54	13,62	0,98	-0,02	5,87	0,83	0,66
Tranquera	10-08-16	12-08-16		2,18	0,63	4,29	0,00	0,00	0,34	2,92	0,77	-0,13	1,03	0,44	0,59
Tranquera	26-07-17	28-07-17		1,74	0,64	7,46	0,01	0,00	0,59	1,99	0,85	-0,13	0,66	0,71	0,68
Tranquera	11-07-18	13-07-18		1,25	0,73	5,32	0,03	0,00	0,82	2,86	1,00	0,00	0,65	0,97	0,80
Tranquera	05-07-19	03-07-19		1,93	0,64	4,67	0,01	-0,01	0,38	3,58	0,90	-0,05	2,19	0,49	0,57
Loteta	24-07-19	25-07-19		3,01	0,78	3,19	0,01	-0,02	0,24	10,79	0,79	-0,14	4,37	0,54	0,42
Mediano	09-08-16	30-07-16		4,32	0,91	4,89	0,00	-0,01	0,20	5,44	0,82	-0,13	1,55	0,63	0,28
Mequina	20-07-16	30-07-16		1,37	0,63	6,64	0,01	0,00	0,81	2,02	0,98	-0,02	0,43	0,87	0,74
Mequina	14-09-16	18-09-16		7,82	0,54	3,50	0,00	0,00	0,01	3,22	0,37	-0,06	2,54	0,04	0,35
Mequina	01-08-17	04-08-17		80,56	1,90	7,79	0,00	0,00	0,01	1,46	1,00	0,00	0,30	1,00	0,01
Oliana	27-06-16	27-06-16		1,89	0,75	7,31	0,01	-0,01	0,43	2,28	0,88	-0,09	0,54	0,65	0,60
Oliana	27-06-16	27-06-16		2,16	0,70	6,29	0,01	-0,01	0,32	2,57	0,87	-0,08	0,61	0,53	0,54
Oliana	27-06-16	27-06-16		1,87	0,69	6,58	0,01	-0,01	0,40	2,43	0,93	-0,05	0,48	0,64	0,58
Oliana	27-06-16	27-06-16		1,84	0,72	6,70	0,01	-0,01	0,44	2,45	0,92	-0,06	0,47	0,63	0,60
Oliana	12-09-16	05-09-16		0,83	0,58	4,17	0,05	0,00	1,07	3,42	1,27	0,23	1,09	1,06	0,94
Oliana	12-07-17	05-07-17		11,48	0,68	2,98	0,00	-0,01	0,00	8,74	0,29	-0,03	6,13	0,01	0,30
Oliana	12-09-17	13-09-17		10,10	0,77	3,83	0,00	0,00	0,01	3,35	0,54	-0,03	4,06	0,03	0,18
Oliana	12-09-17	13-09-17		160,89	0,68	4,70	0,00	0,00	0,01	2,57	0,05	-0,95	3,67	0,05	0,12
Oliana	12-09-17	13-09-17		22,89	0,74	4,33	0,00	0,00	0,01	2,89	0,22	-0,09	3,65	0,03	0,19



Embalse	Fecha		Transparencia			Turbidez	Sólidos en suspensión			Clorofila-a			Ficocianina	CDOM
	Nombre	Muestra	Satélite	B2/B5	B2/B3	C2rcc	B5/3	B8-B4	B4	C2RCC	B5/B4	B6(1/B4-1/B5)	C2RCC	B6/B4
Oliana	17-07-18	17-07-18	14,31	0,90	13,22	0,00	0,00	0,01	0,74	0,25	-0,09	0,64	0,03	0,28
Oliana	23-07-19	22-07-19	1,16	0,46	23,98	0,00	0,00	0,60	0,40	0,92	-0,01	0,20	0,17	0,94
Rialb	28-06-16	27-06-16	2,70	0,72	4,95	0,01	-0,01	0,24	4,21	0,82	-0,11	2,16	0,52	0,45
Rialb	28-06-16	27-06-16	2,88	0,74	5,10	0,00	-0,01	0,23	4,04	0,80	-0,13	2,02	0,50	0,44
Rialb	07-08-17	04-08-17	9,01	0,83	3,68	0,00	-0,01	0,00	5,87	0,38	-0,01	4,47	0,01	0,29
Rialb	18-07-18	17-07-18	11,95	0,75	3,90	0,00	-0,01	0,00	8,03	0,34	-0,02	3,32	0,01	0,25
Rialb	23-07-19	22-07-19	2,89	0,64	7,90	0,00	-0,01	0,27	2,23	0,70	-0,11	0,30	0,25	0,49
Ribarroja	02-08-17	04-08-17	3,57	0,71	3,69	0,00	-0,01	0,00	3,79	0,74	0,00	3,33	0,01	0,38
Ribarroja	25-07-18	25-07-18	1,75	0,89	5,16	0,01	-0,01	0,48	2,73	0,94	-0,05	1,74	0,75	0,60
Ribarroja	24-07-19	25-07-19	0,84	0,65	4,47	0,03	0,00	0,98	1,97	1,04	0,03	3,21	0,87	1,14
Santa Ana	01-08-16	30-07-16	2,16	0,94	6,89	0,01	0,00	0,46	2,88	1,00	0,00	0,35	0,91	0,46
Sobrón	13-07-16	16-07-16	1,53	0,54	5,78	0,01	-0,01	0,41	2,26	0,76	-0,11	1,66	0,34	0,86
Sobrón	13-07-16	16-07-16	1,48	0,52	6,96	0,01	-0,01	0,54	1,96	0,76	-0,17	0,82	0,54	0,88
Sobrón	20-09-16	11-09-16	1,42	0,55	5,78	0,01	-0,01	0,39	2,06	0,87	-0,06	1,20	0,42	0,81
Sobrón	25-07-17	28-07-17	1,79	0,79	13,96	0,01	0,00	0,42	0,72	0,81	-0,12	0,65	0,49	0,69
Sobrón	23-09-17	29-09-17	0,96	0,57	7,66	0,01	0,00	1,36	0,30	1,04	0,05	1,46	1,21	1,00
Sobrón	10-07-18	13-07-18	1,52	0,88	22,07	0,02	0,00	0,75	0,46	0,94	-0,06	0,30	1,03	0,70
Sobrón	16-07-19	16-07-19	1,45	0,80	8,77	0,01	-0,01	0,51	1,47	0,96	-0,02	0,46	0,47	0,72
Talarn	28-06-16	10-07-16	2,67	0,92	9,49	0,00	-0,01	0,30	1,57	0,86	-0,12	0,46	0,73	0,44
Yesa centro	04-07-17	05-07-17	4,55	0,92	5,00	0,00	-0,01	0,19	6,78	0,78	-0,17	2,29	0,58	0,28
Yesa Presa	04-07-17	05-07-17	5,24	0,91	4,88	0,00	-0,01	0,15	7,28	0,75	-0,17	2,45	0,52	0,26



ANEXO 3. TABLA DE VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 9: Tabla de validación de resultados.

EMBALSE	Fecha muestra	Fecha Satélite	Chl-a (Campo)	Chl-a (Calibracion)	Secchi (muestra)	Secchi (Calibracion)	Ficocianina (Calibración)
Canelles	17-09-20	12-09-20	0,98	1,88	5,20	4,53	2,01
Canelles	16-07-20	19-07-20	0,59	3,21	4,50	4,28	6,21
Ebro	07-09-20	08-09-20	3,98	3,00	2,45	3,11	5,78
Ebro	09-07-20	30-06-20	1,92	3,48	3,33	3,70	7,87
Grado	15-09-20	12-09-20	2,12	2,45	4,70	4,19	3,49
Grado	14-07-20	19-07-20	0,17	2,16	4,20	4,05	2,80
Loteta	10-07-20	07-07-20	3,33	3,13	0,84	3,08	5,68
Loteta	10-09-20	10-09-20	1,87	2,62	1,15	2,94	3,60
Mediano	15-09-20	12-09-20	1,47	2,10	1,90	3,33	0,37
Mediano	14-07-20	19-07-20	0,71	2,89	4,70	4,22	5,96
Mequinenza	22-07-20	19-07-20	5,77	3,32	2,50	2,47	4,32
Mequinenza	22-09-20	22-09-20	3,15	3,52	6,20	3,86	7,70
Oliana	18-09-20	14-09-20	6,01	3,86	4,15	2,18	5,19
Oliana	21-07-20	21-07-20	4,11	3,61	3,70	3,36	9,32
Rialb	21-09-20	14-09-20	4,78	2,90	3,50	2,94	3,36
Rialb	21-07-20	21-07-20	2,80	2,66	1,35	2,50	3,13
Ribarroja	23-09-20	22-09-20		3,83	2,50	2,73	7,50
Ribarroja	23-07-20	19-07-20		3,47	2,50	3,18	8,09
San Antonio	20-07-20	19-07-20	4,40	2,86	3,90	3,10	4,58
San Antonio	17-09-20	12-09-20	3,45	3,42	3,90	3,48	6,49
Santa Ana	22-07-20	24-07-20	2,08	2,16	3,90	4,07	2,01
Santa Ana	21-09-20	27-09-20	1,22	2,54	2,70	3,06	3,92
Sobrón	07-09-20	10-09-20		2,92	1,96	2,39	3,60



EMBALSE	Fecha muestra	Fecha Satélite	Chl-a (Campo)	Chl-a (Calibración)	Secchi (muestra)	Secchi (Calibración)	Ficocianina (Calibración)
Sobrón	09-07-20	07-07-20	3,73	3,07	2,03	2,66	3,97
Tranquera	15-07-20	17-07-20	2,47	2,45	3,81	3,33	3,37
Tranquera	11-09-20	10-09-20	1,25	2,83	4,34	2,86	4,93
Yesa	14-07-20	19-07-20	1,45	2,19	1,00	3,52	1,77
Yesa	08-09-20	07-09-20	1,12	2,39	1,48	3,26	2,38



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO





ANEXO 4. EMBALSES DE ESTUDIO

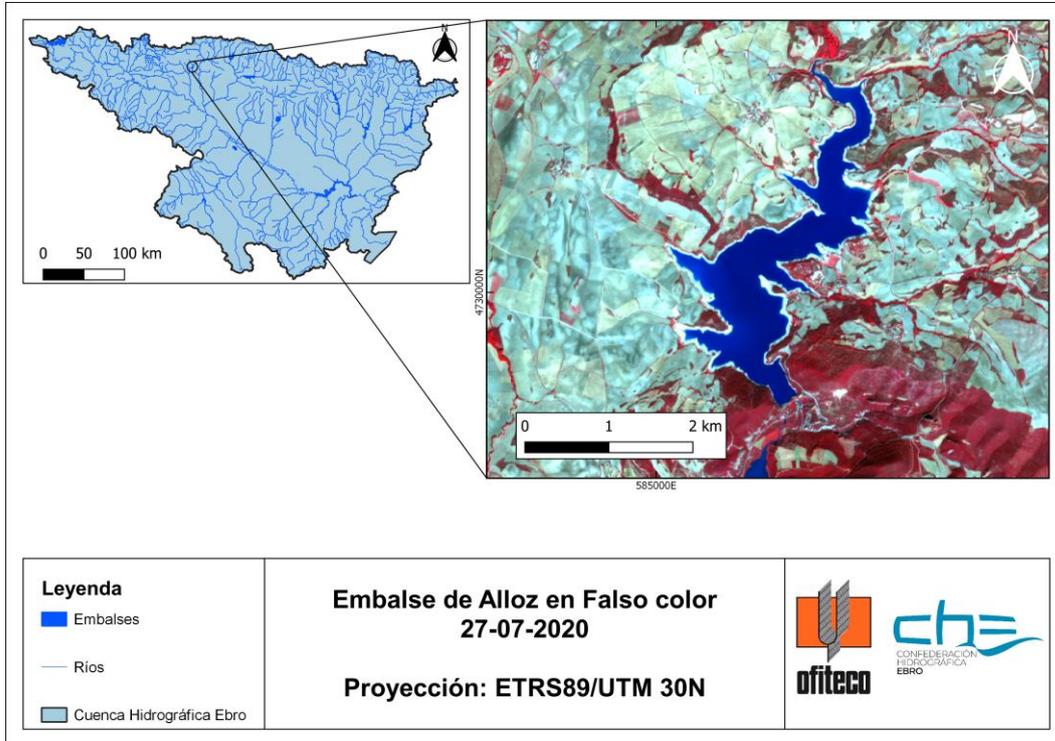


Figura 25: Mapa situación Embalse de Allos

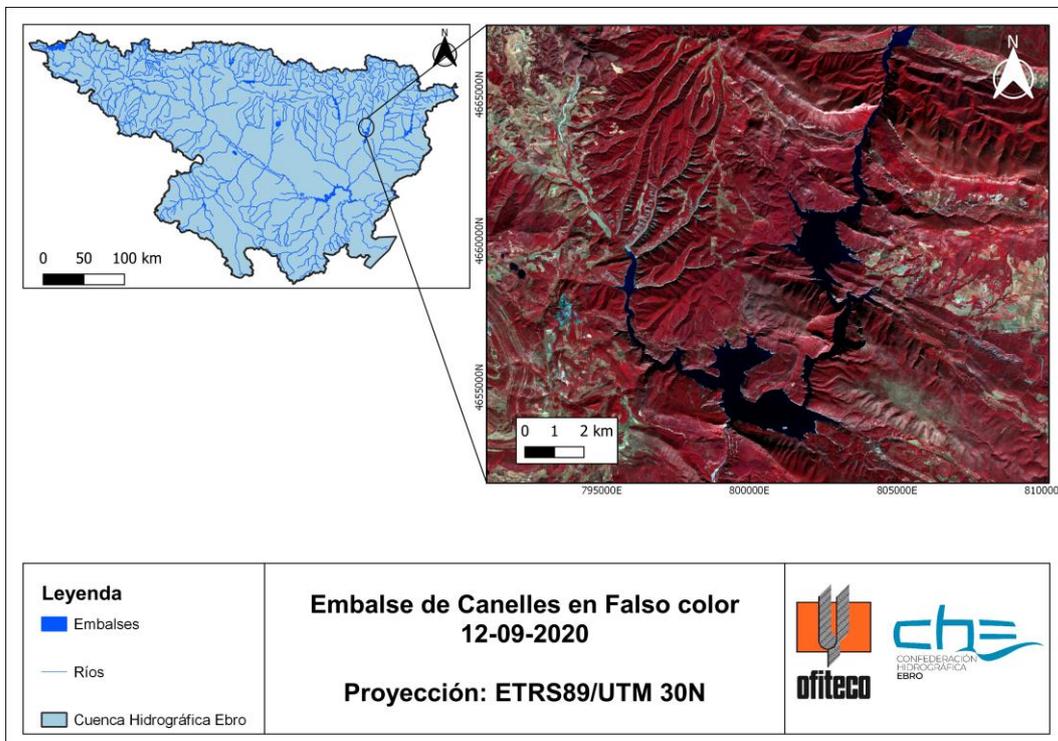


Figura 26: Mapa situación Embalse de Canelles

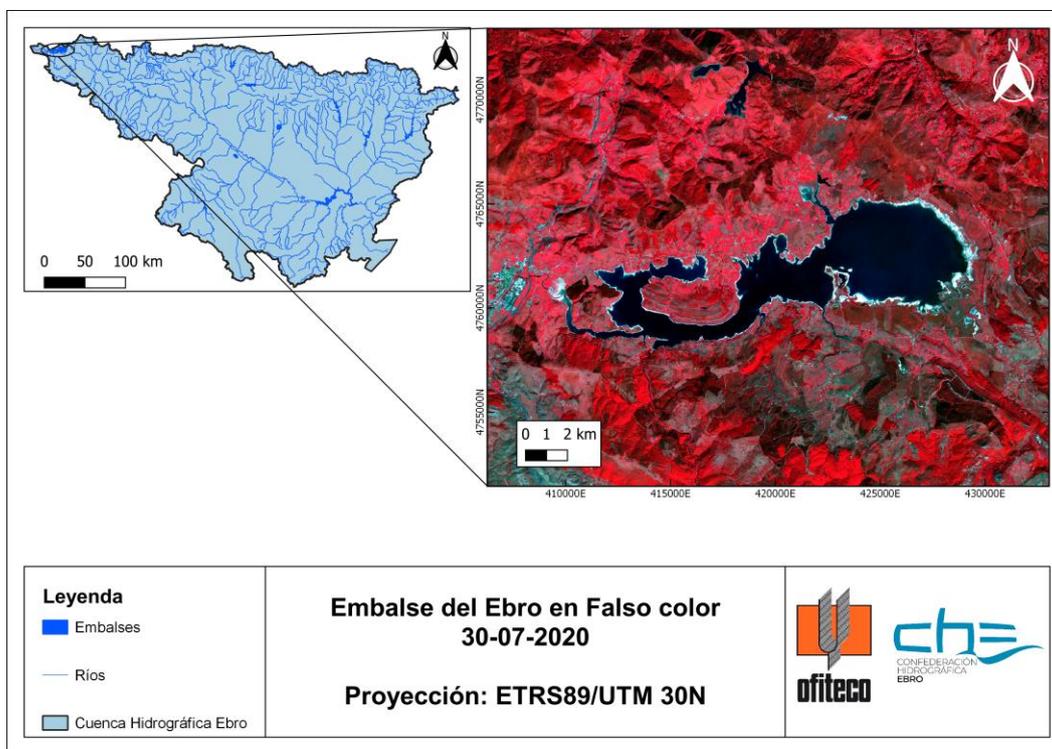


Figura 27: Mapa situación Embalse del Ebro

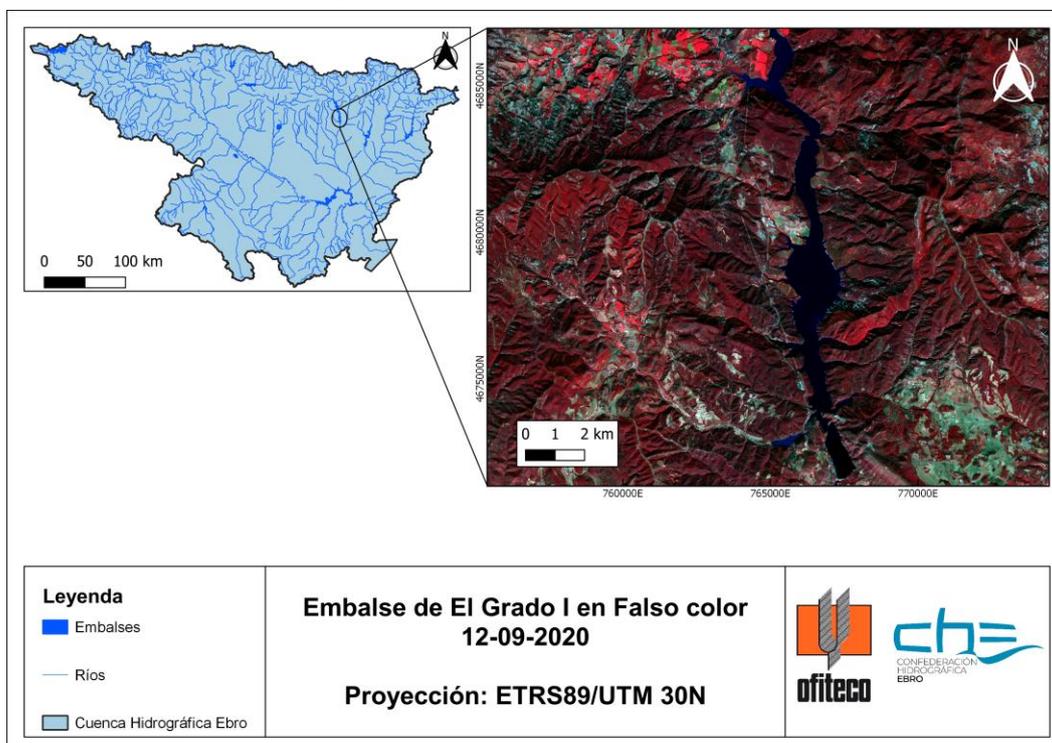


Figura 28: Mapa situación Embalse de El Grado I

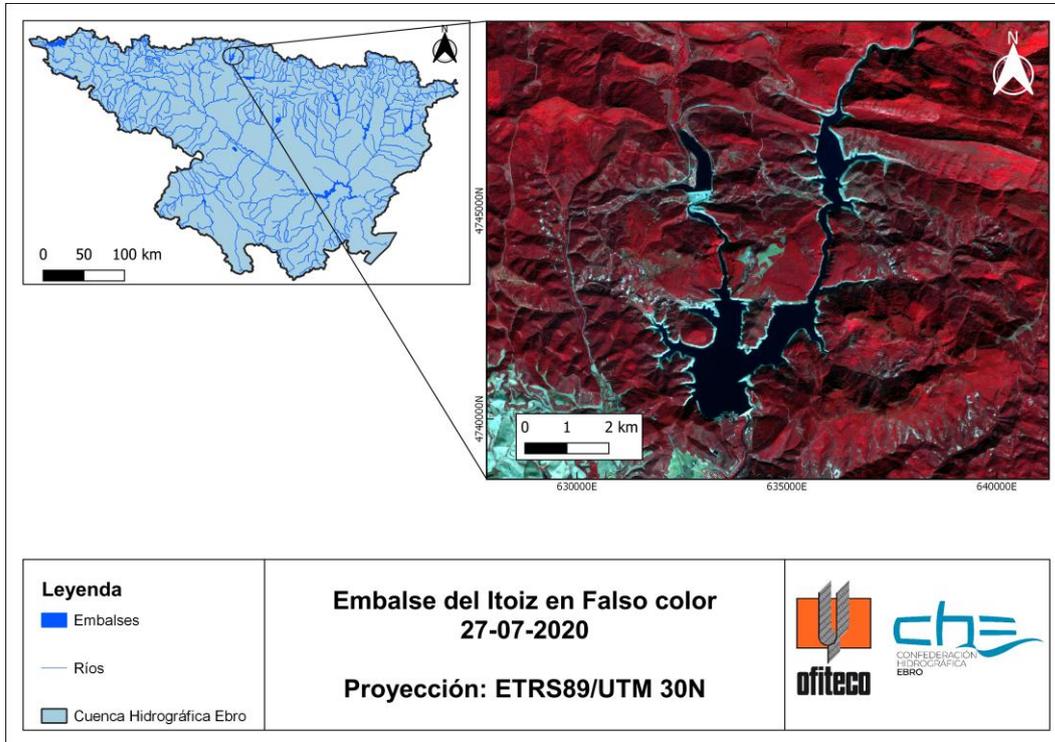


Figura 29: Mapa situación Embalse de Itoiz

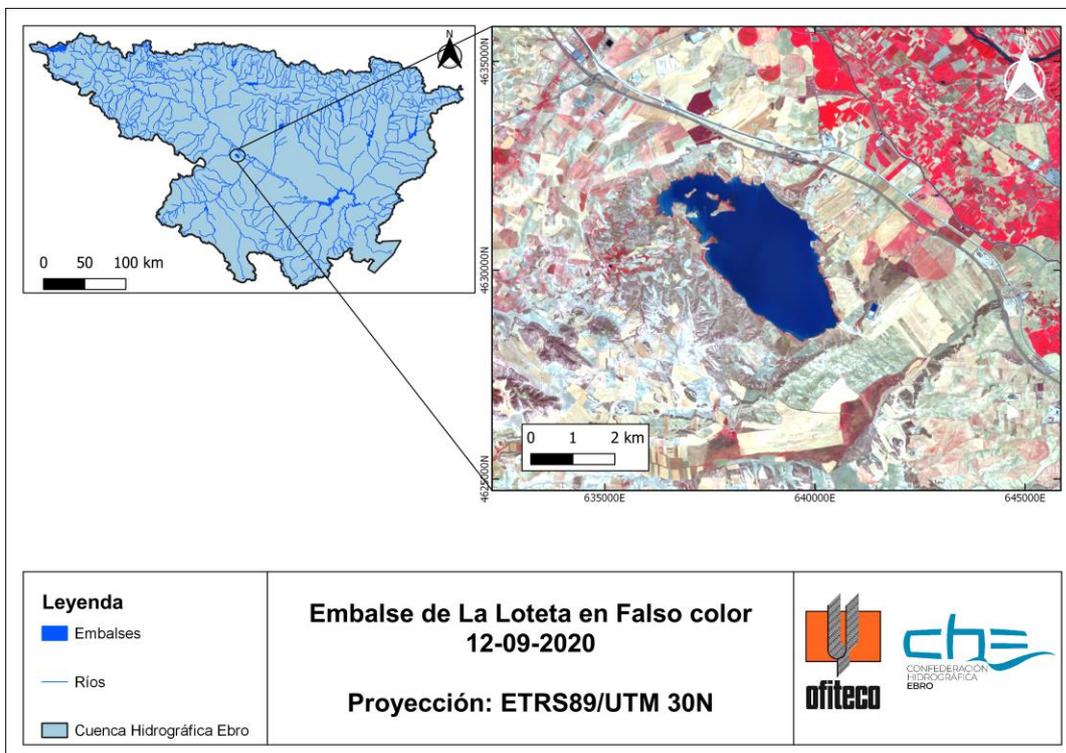


Figura 30: Mapa situación Embalse de La Loteta

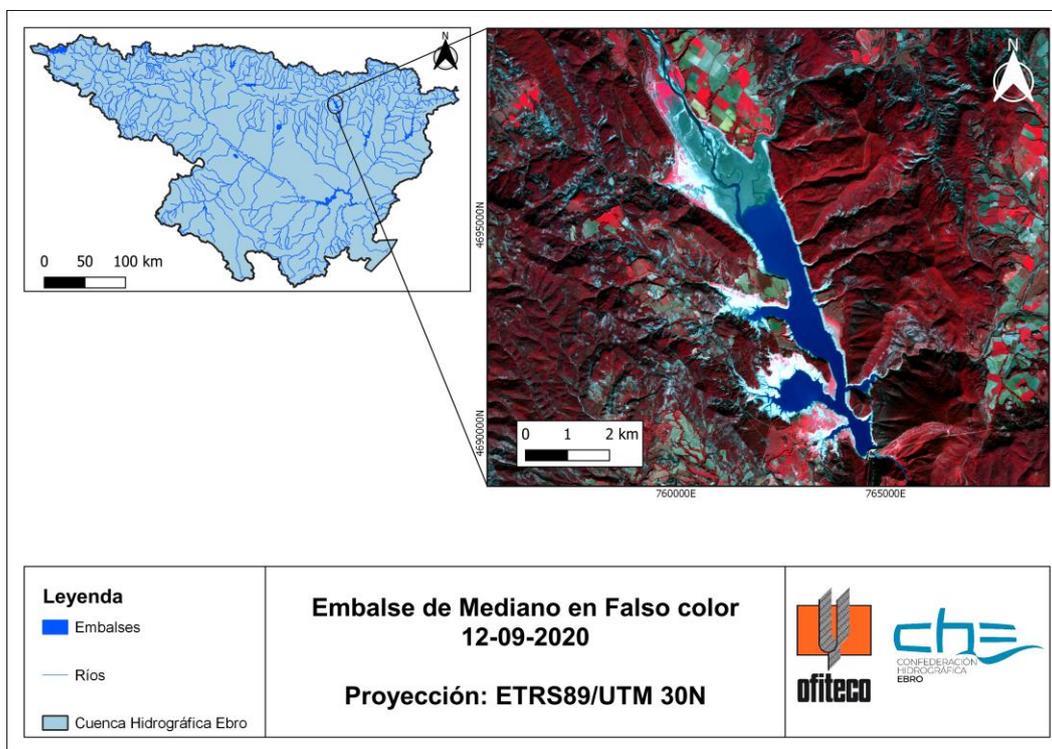


Figura 31: Mapa situación Embalse de Mediano

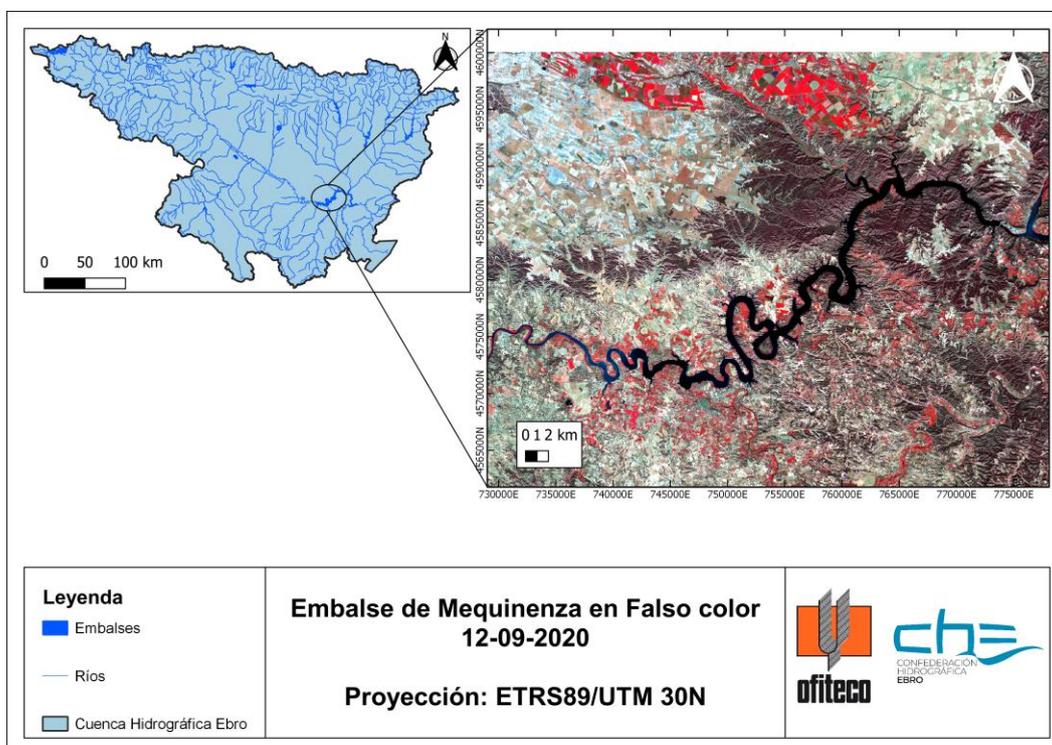


Figura 32: Mapa situación Embalse de Mequenza

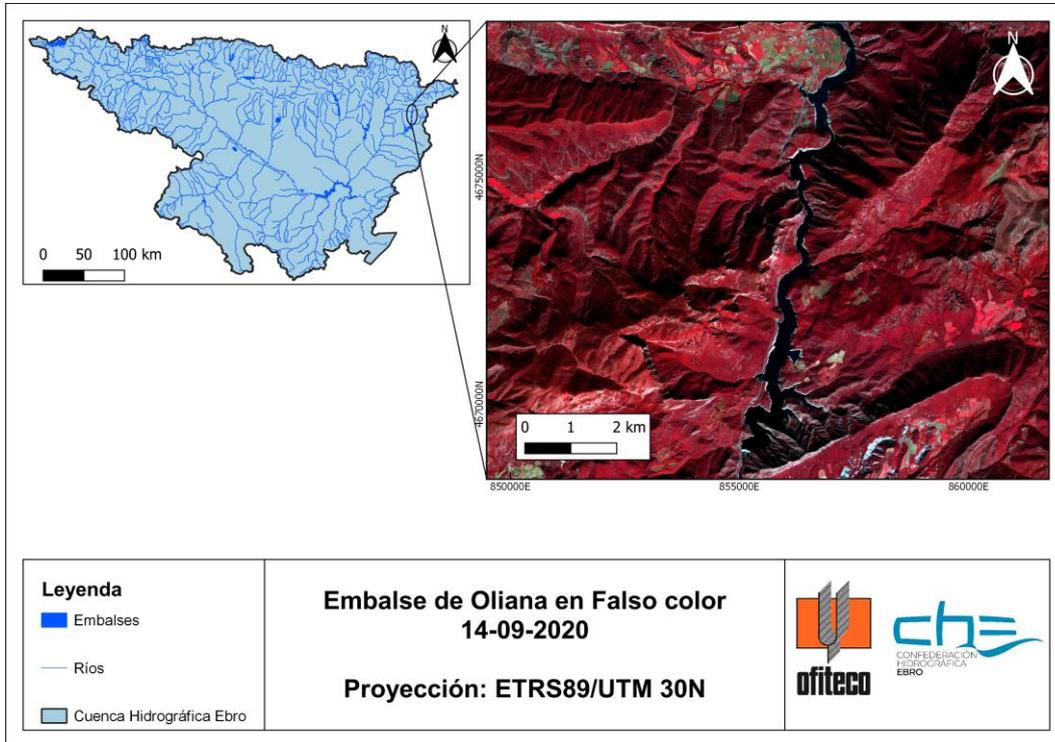


Figura 33: Mapa situación Embalse de Oliana

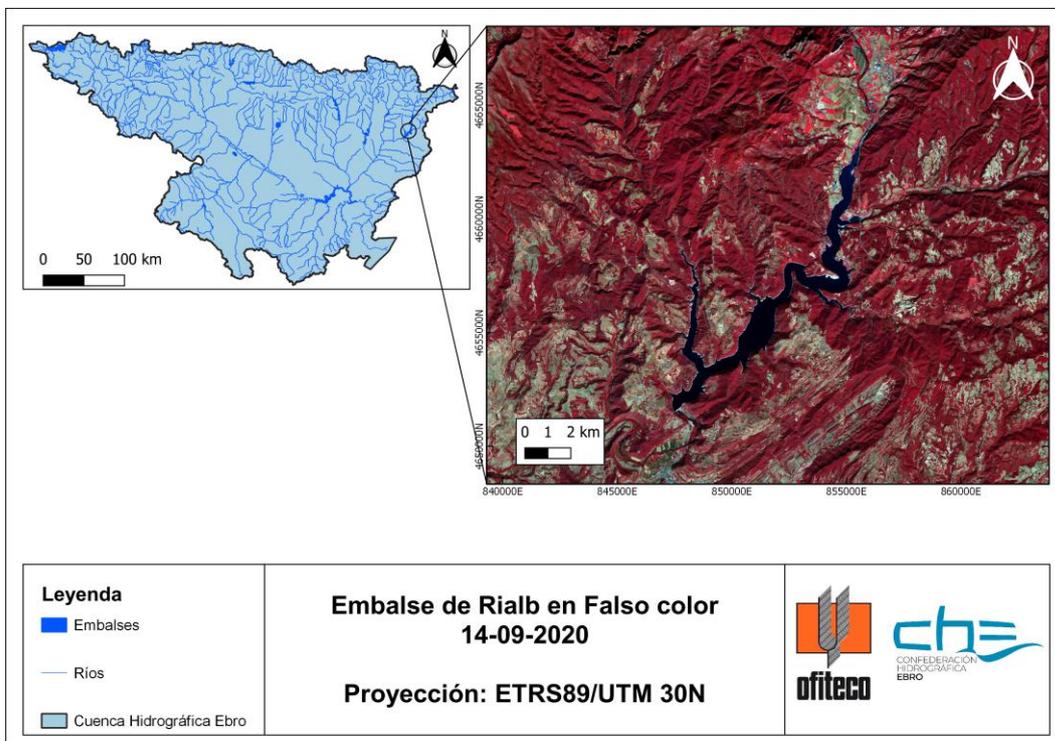


Figura 34: Mapa situación Embalse de Rialb

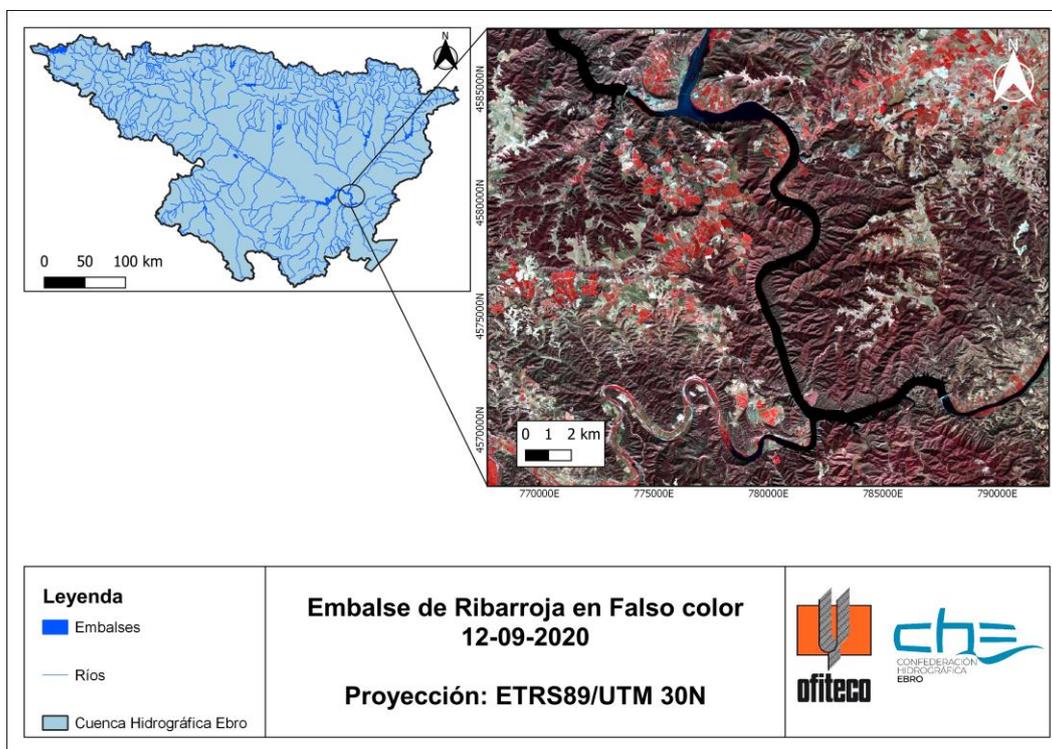


Figura 35: Mapa situación Embalse de Ribarroja

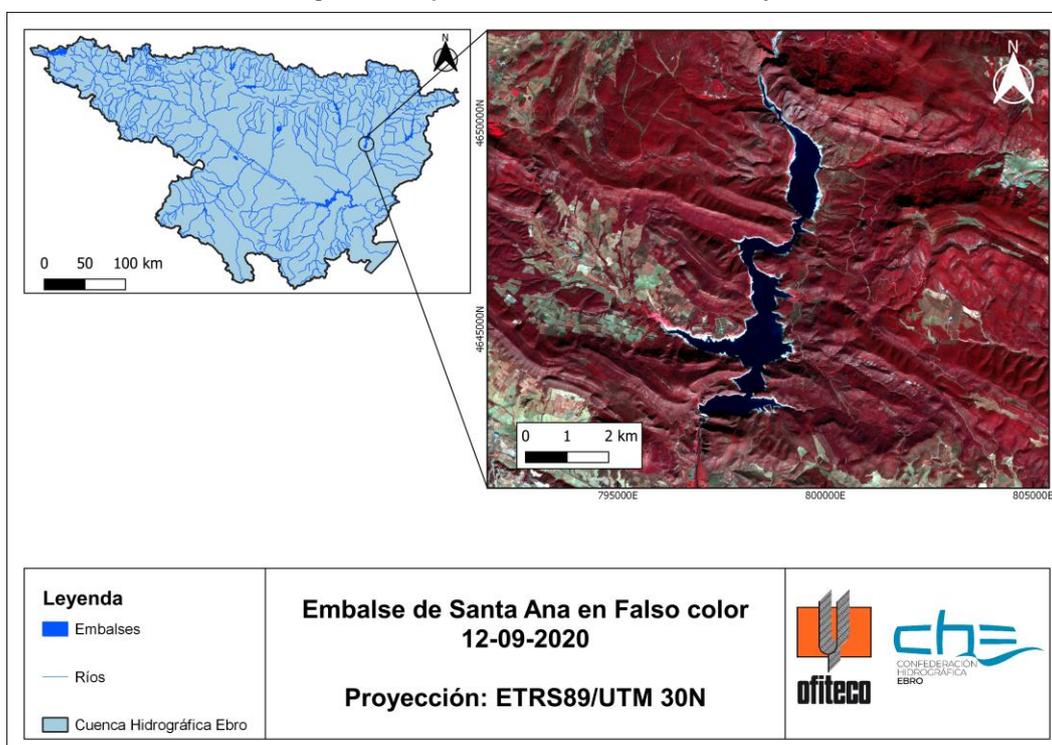


Figura 36: Mapa situación Embalse de Santa Ana

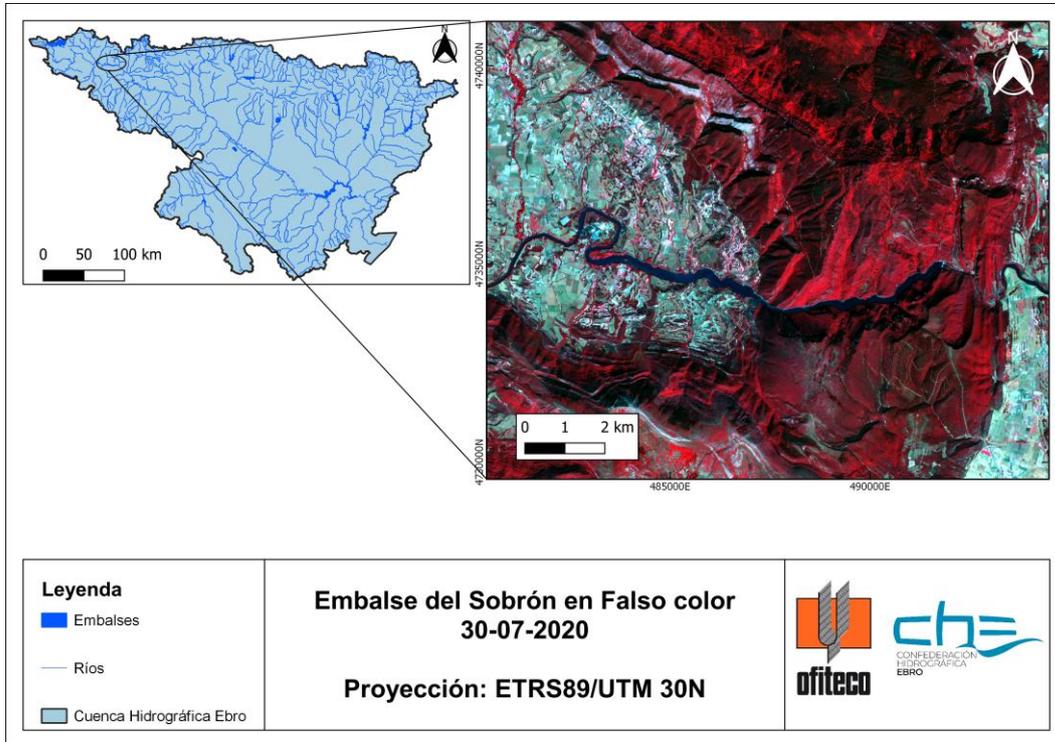


Figura 37: Mapa situación Embalse del Sobrón

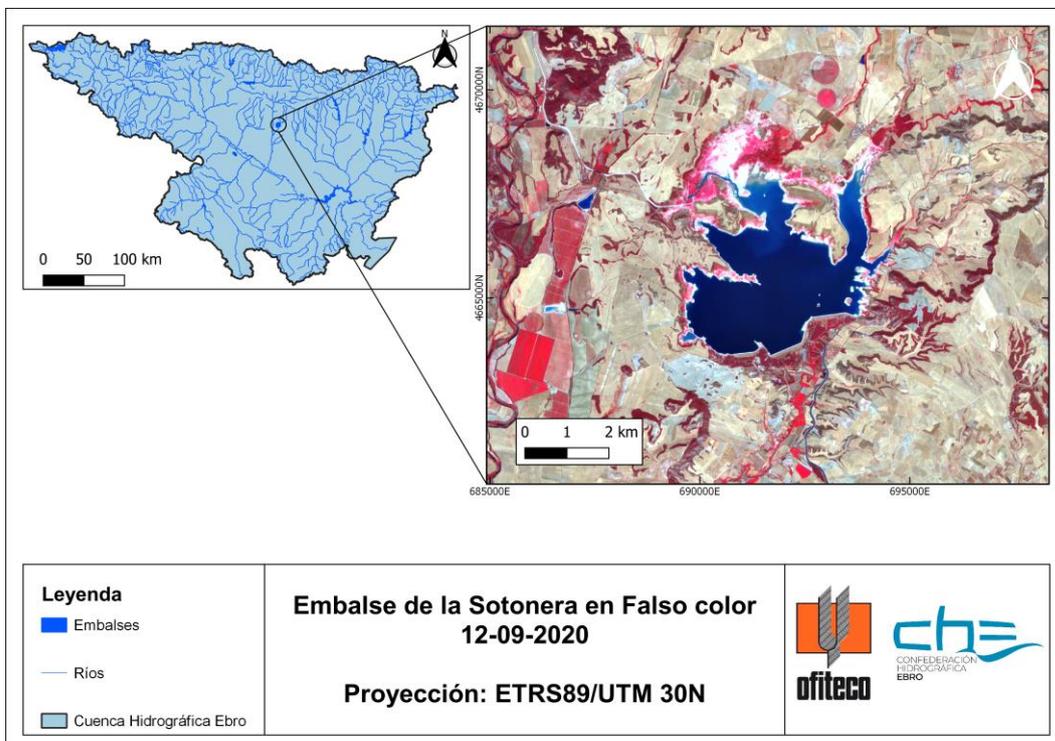


Figura 38: Mapa situación Embalse de la Sotonera

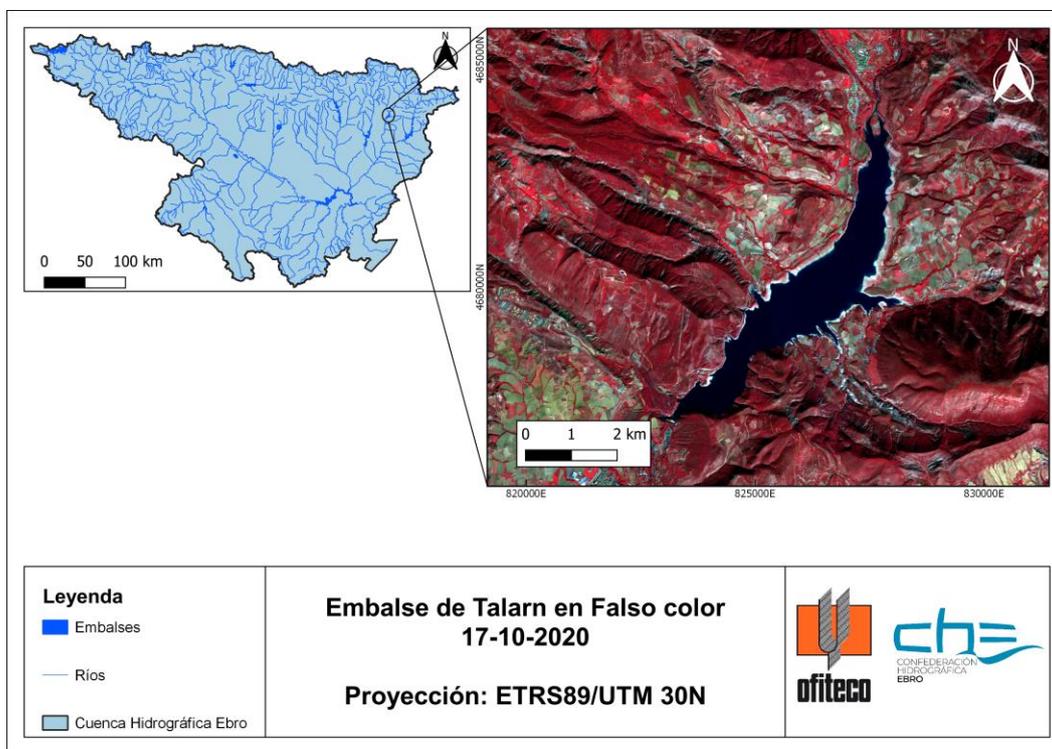


Figura 39: Mapa situación Embalse de Talarn

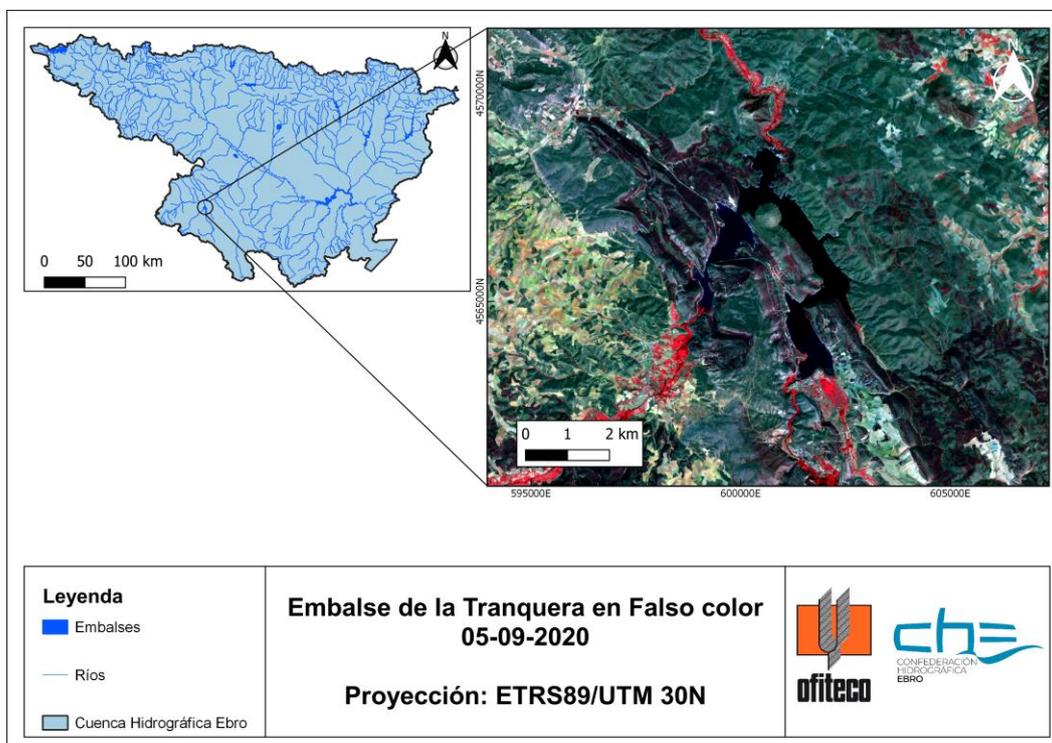


Figura 40: Mapa situación Embalse de la Tranquera

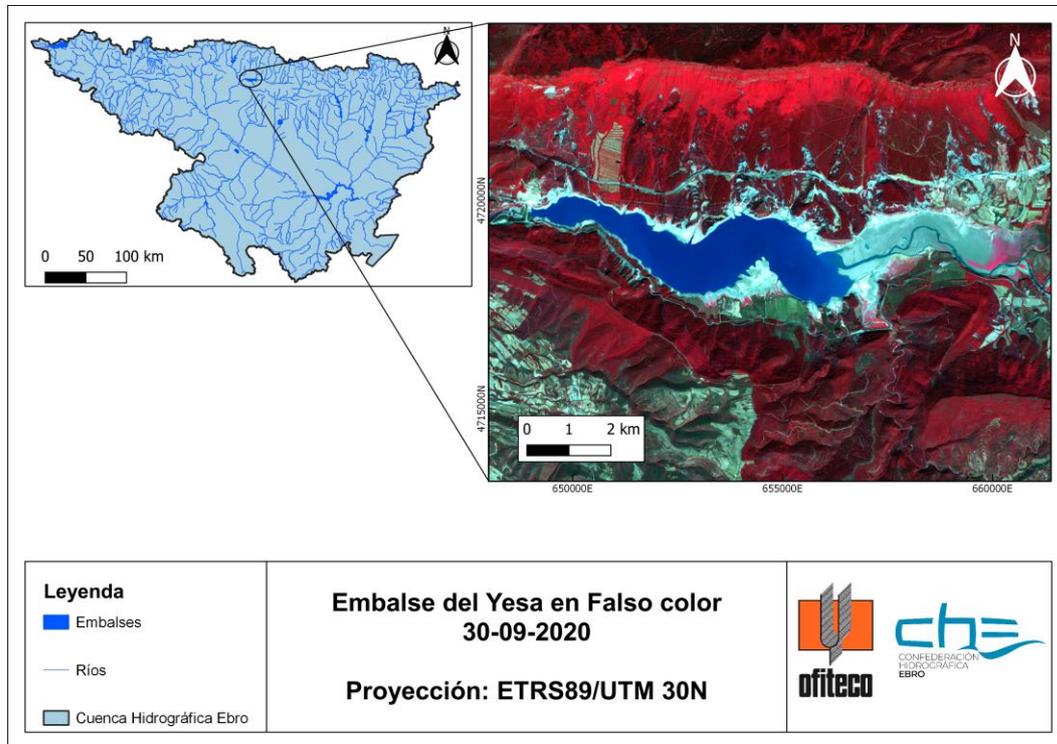


Figura 41: Mapa situación Embalse de Yesa



ANEXO 5. MAPAS DE EVOLUCIÓN DE CALIDAD DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS

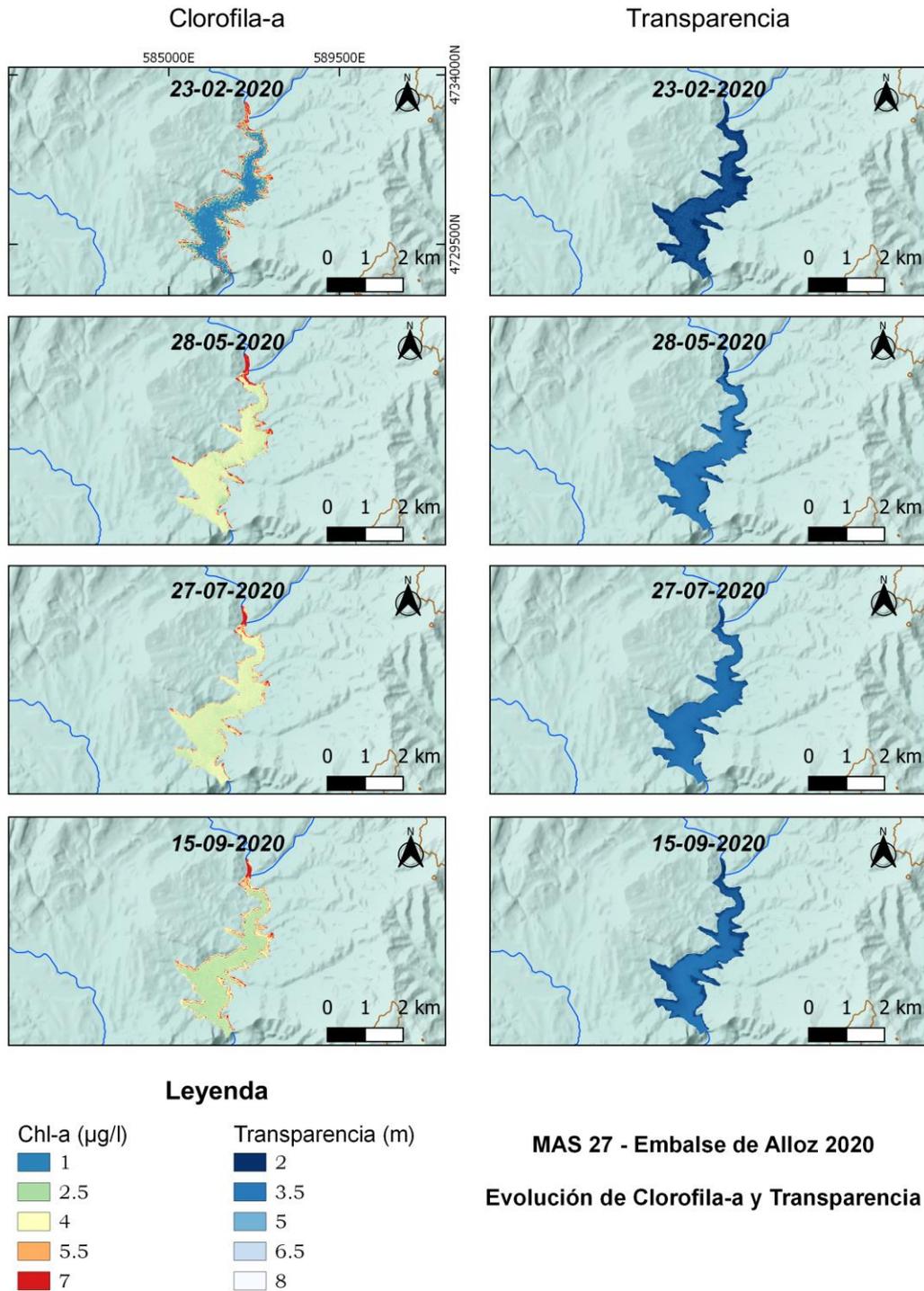


Figura 42: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Allosz

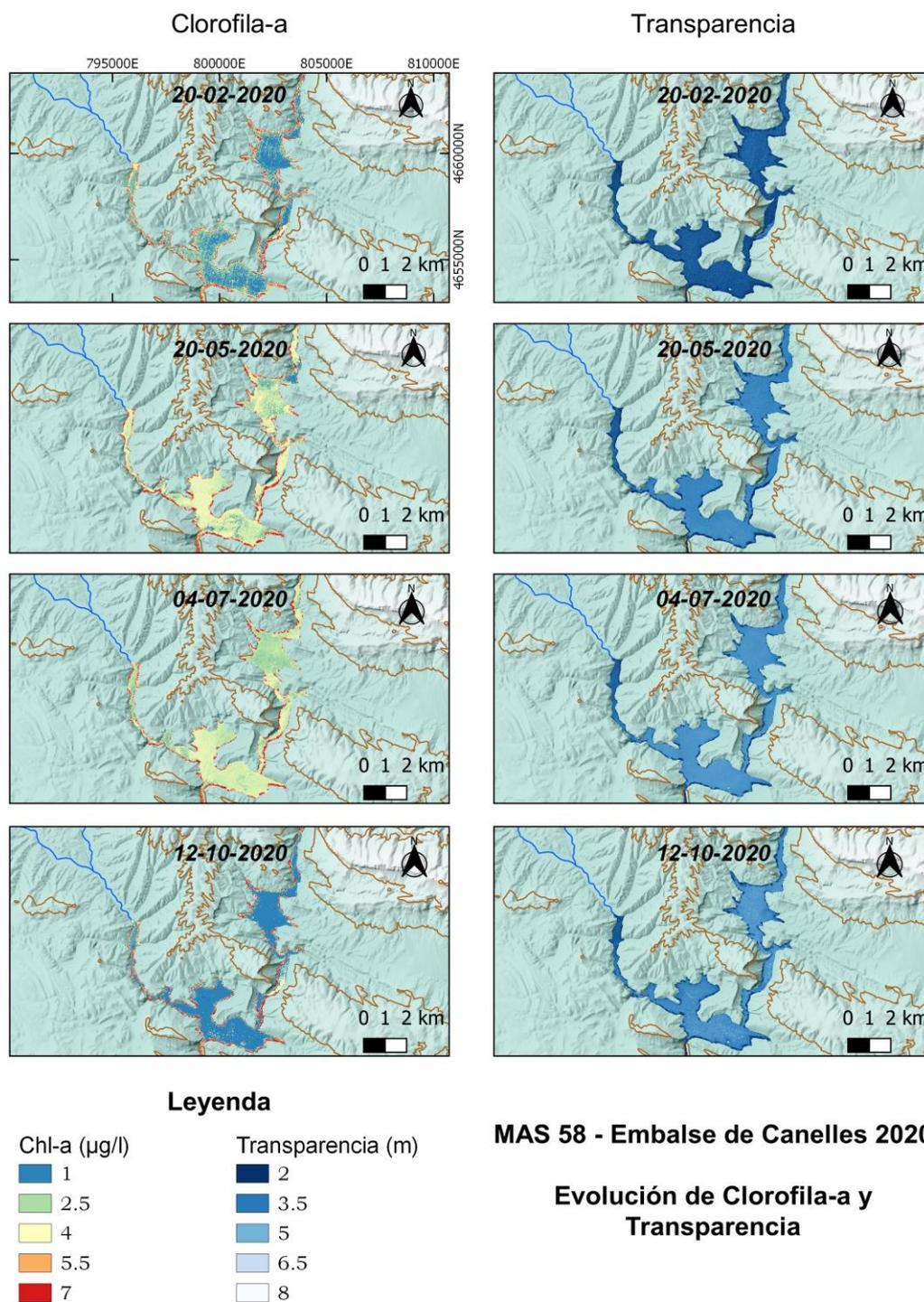


Figura 43: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Canelles

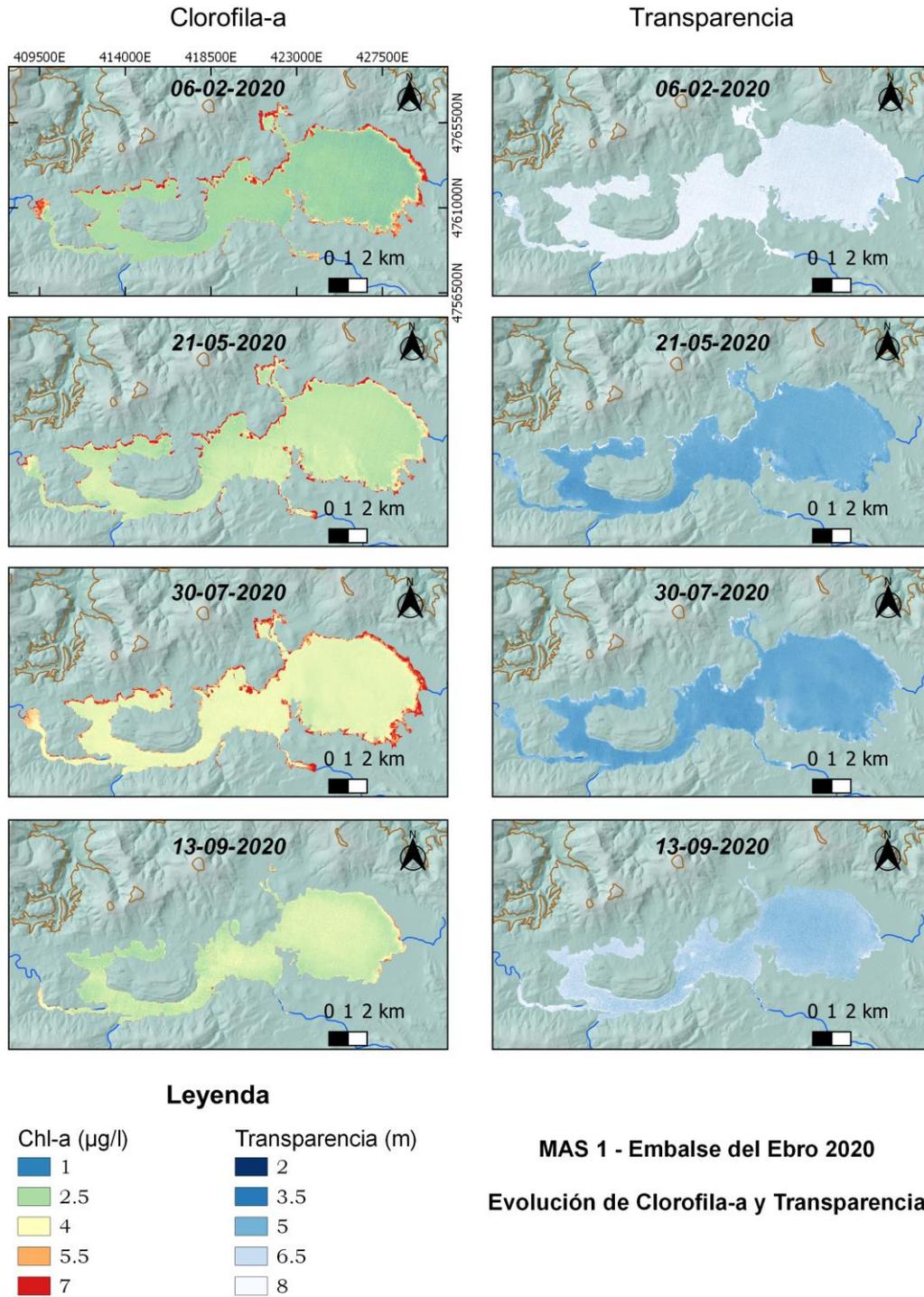


Figura 44: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Ebro

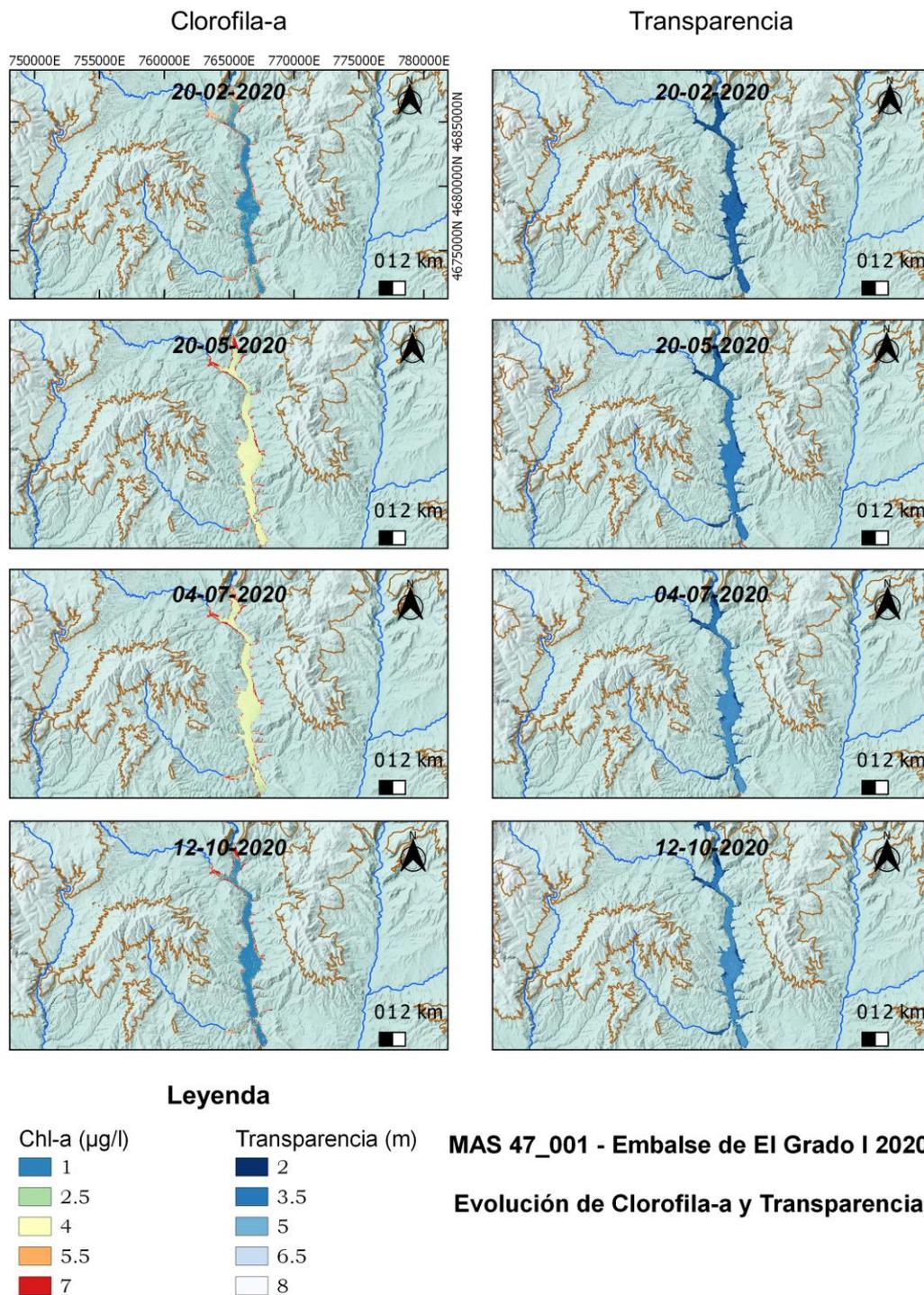


Figura 45: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de El Grado I

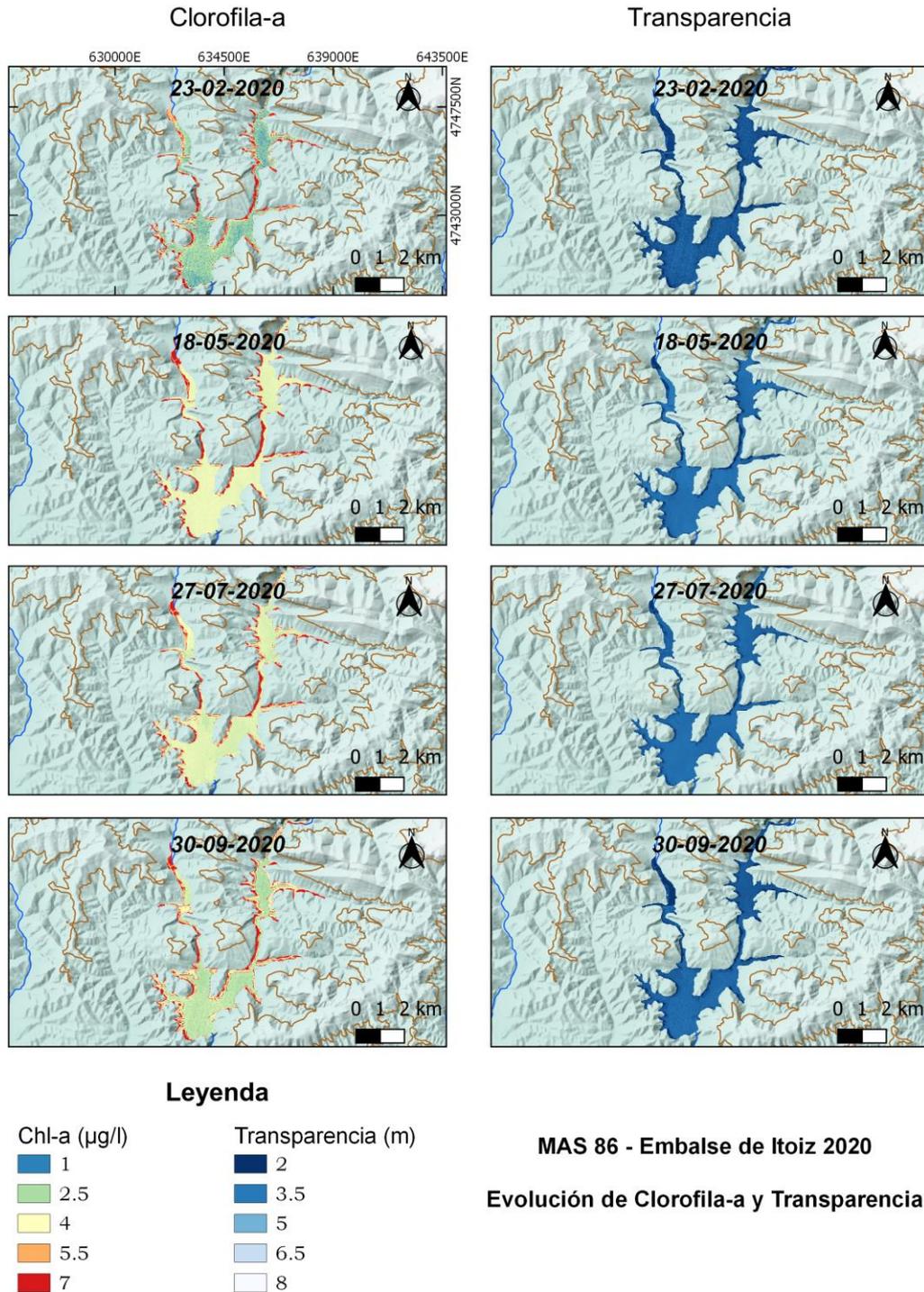


Figura 46: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Itoiz

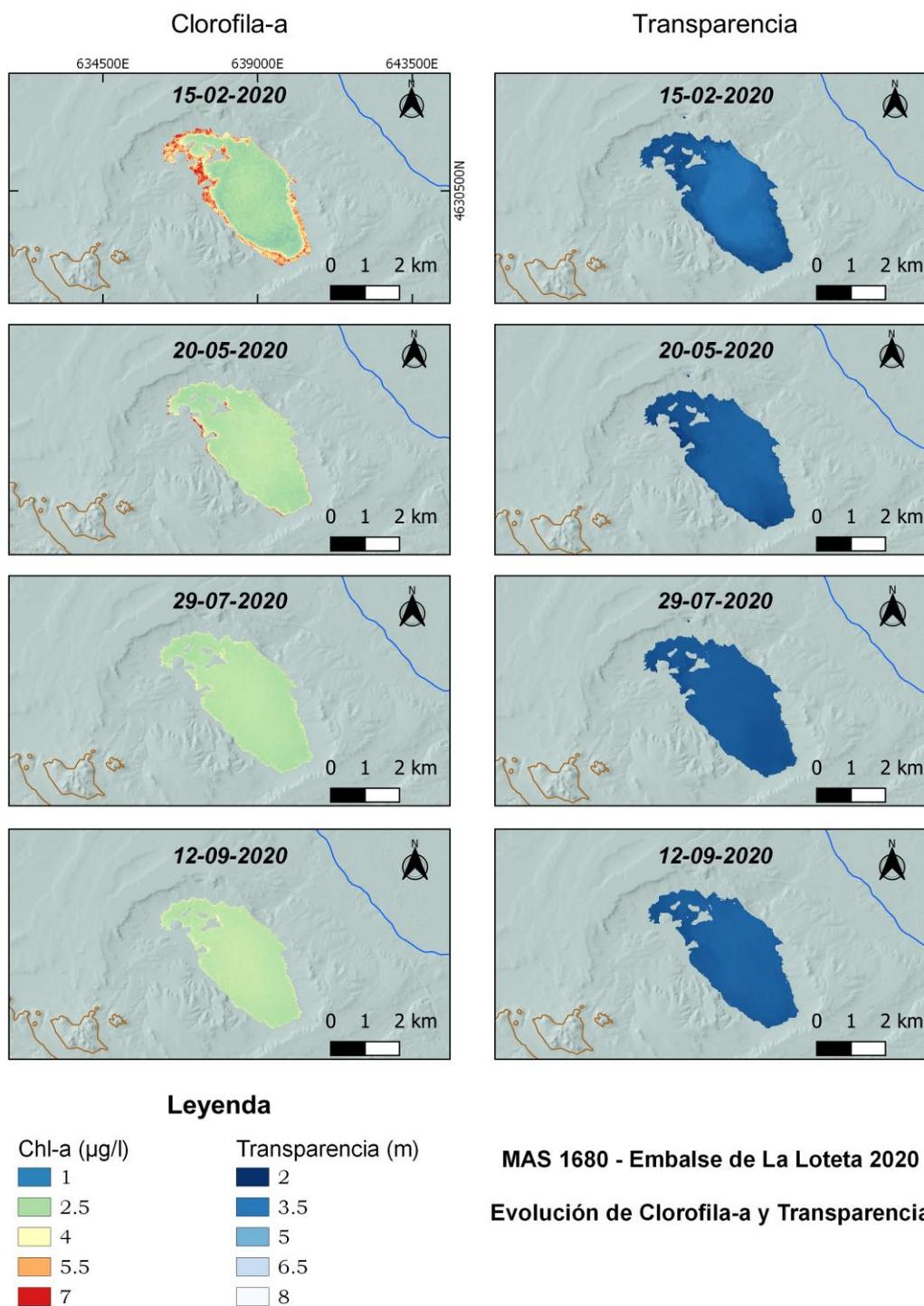


Figura 47: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Loteta

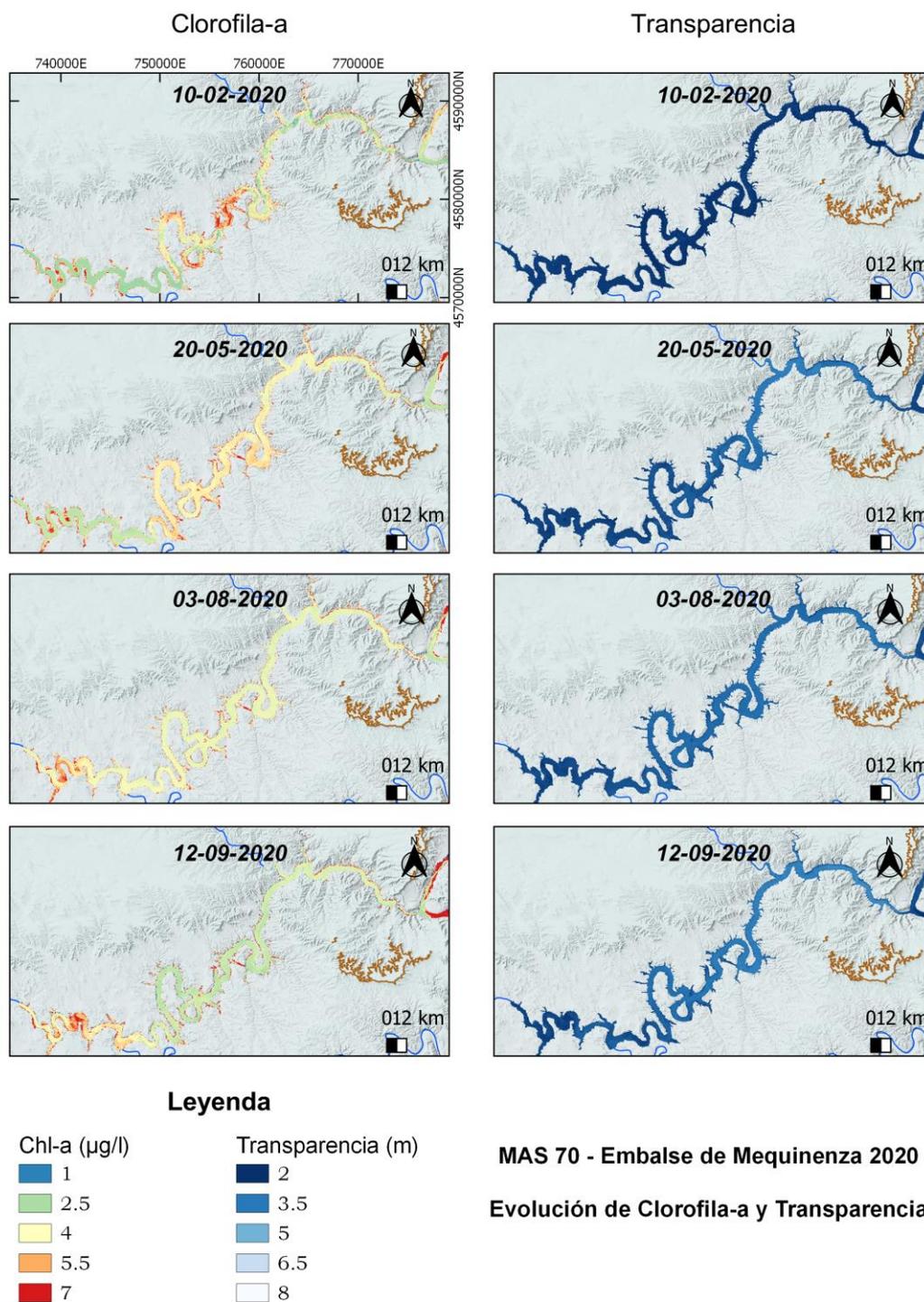


Figura 49: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mequinenza

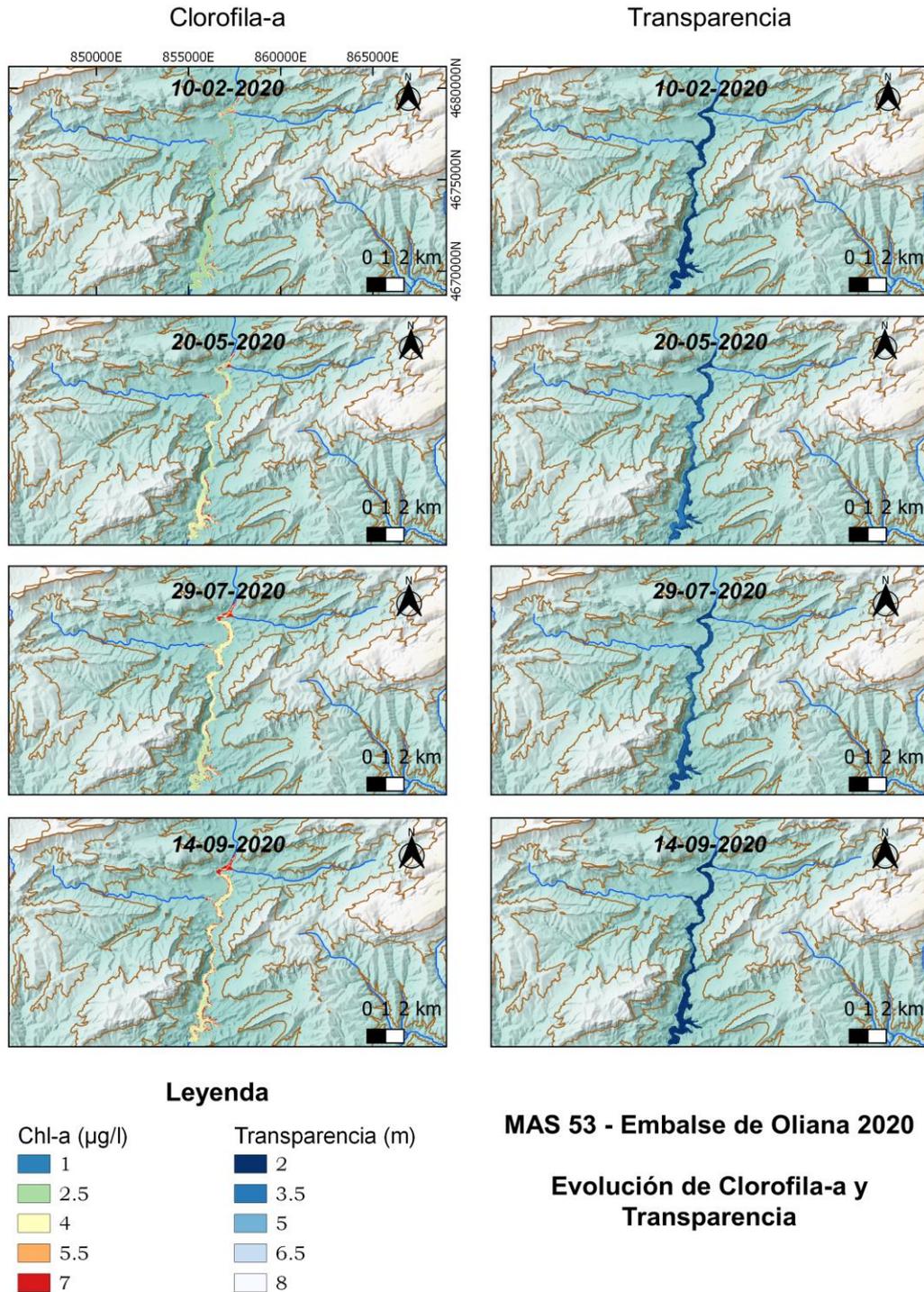


Figura 50: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Oliana

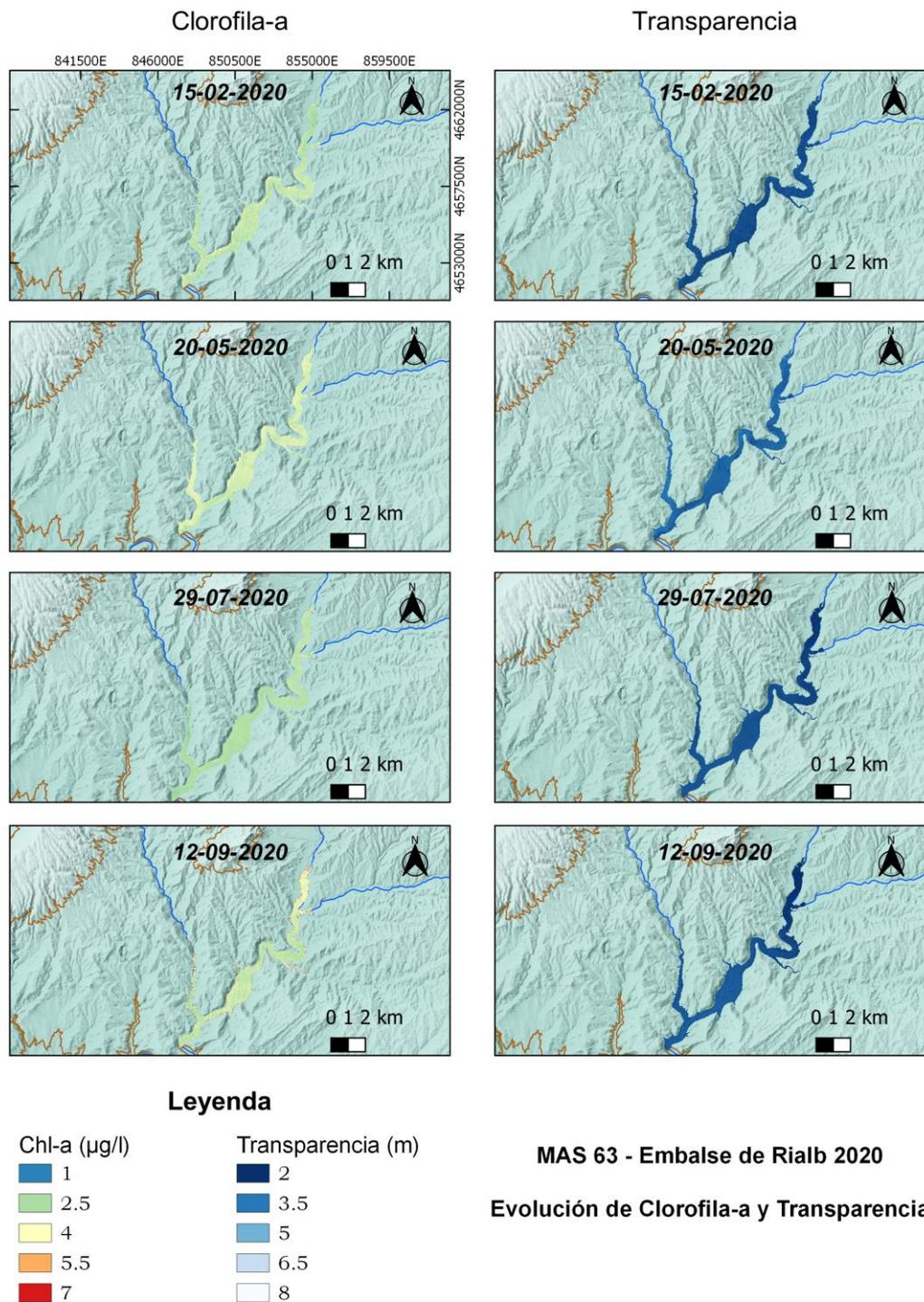


Figura 51: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Rialb

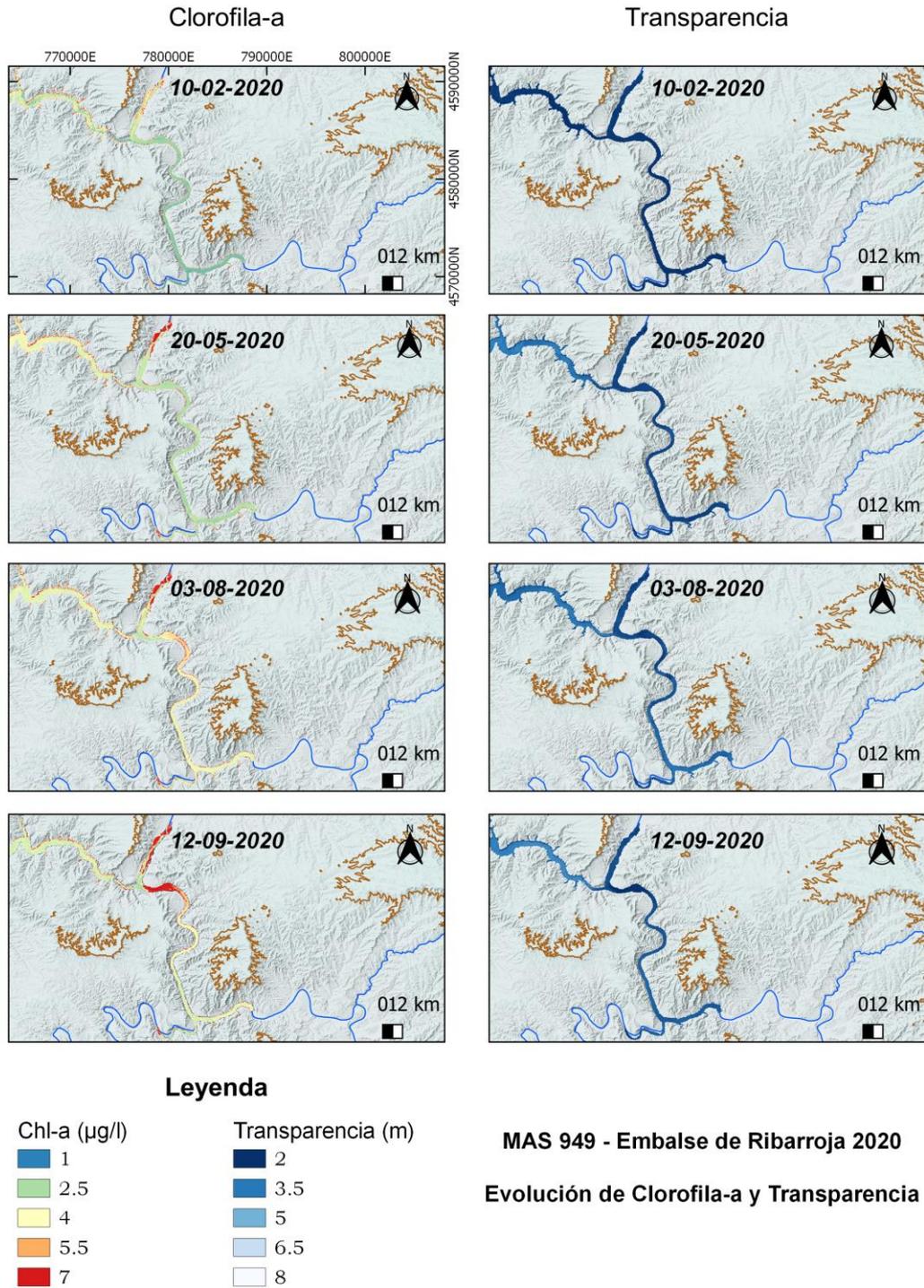


Figura 52: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Ribarroja

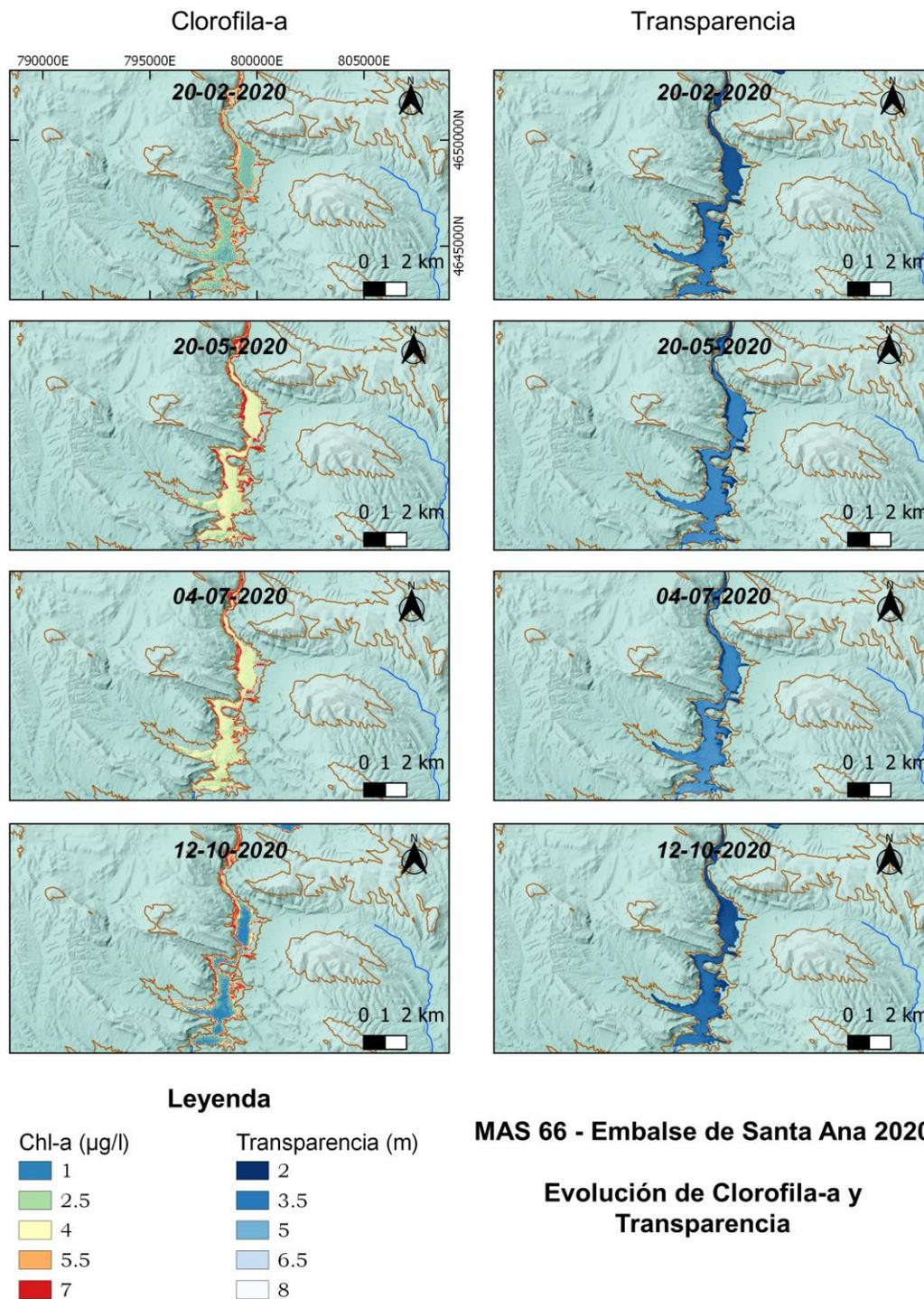


Figura 53: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Santa Ana

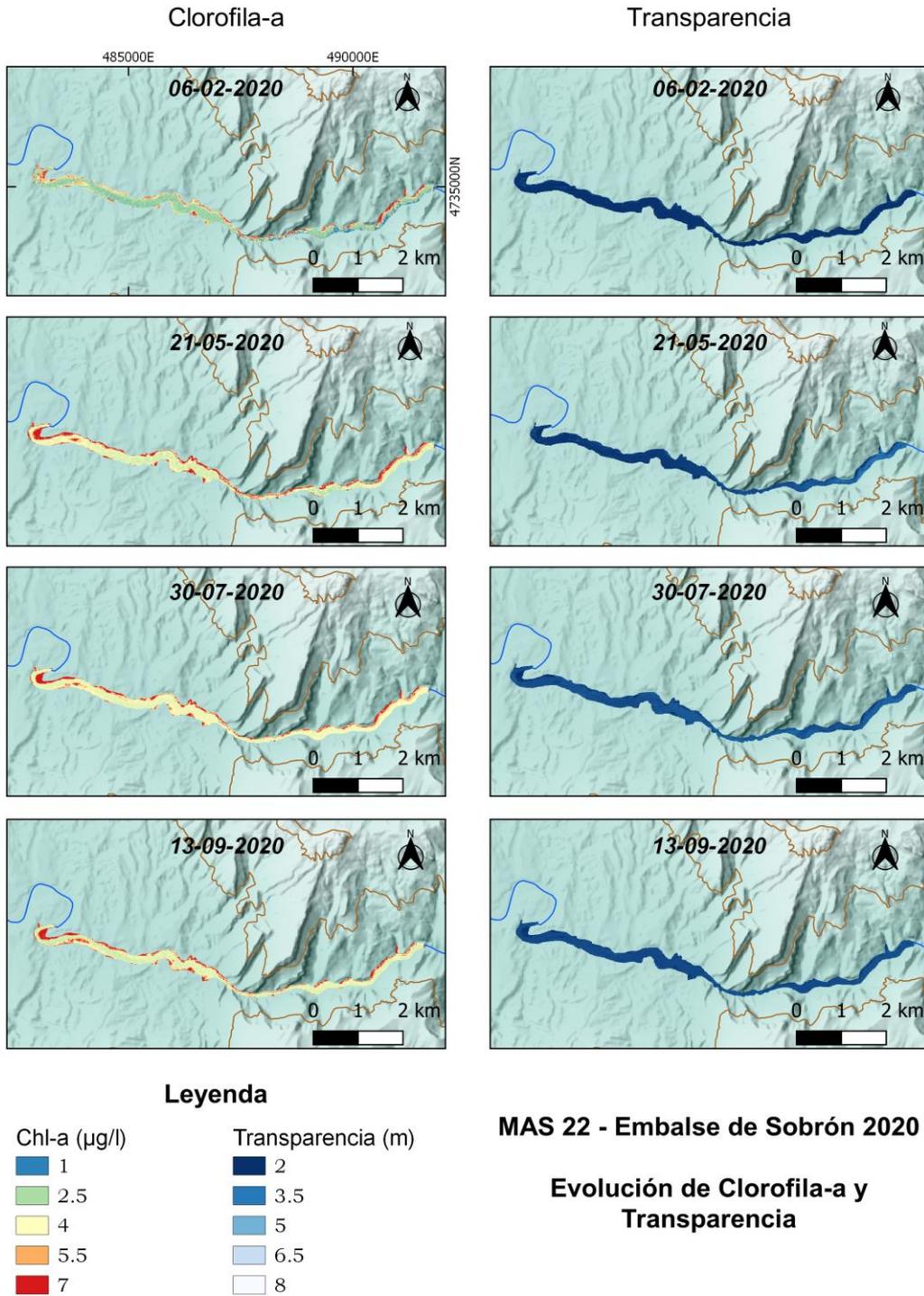


Figura 54: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Sobrón

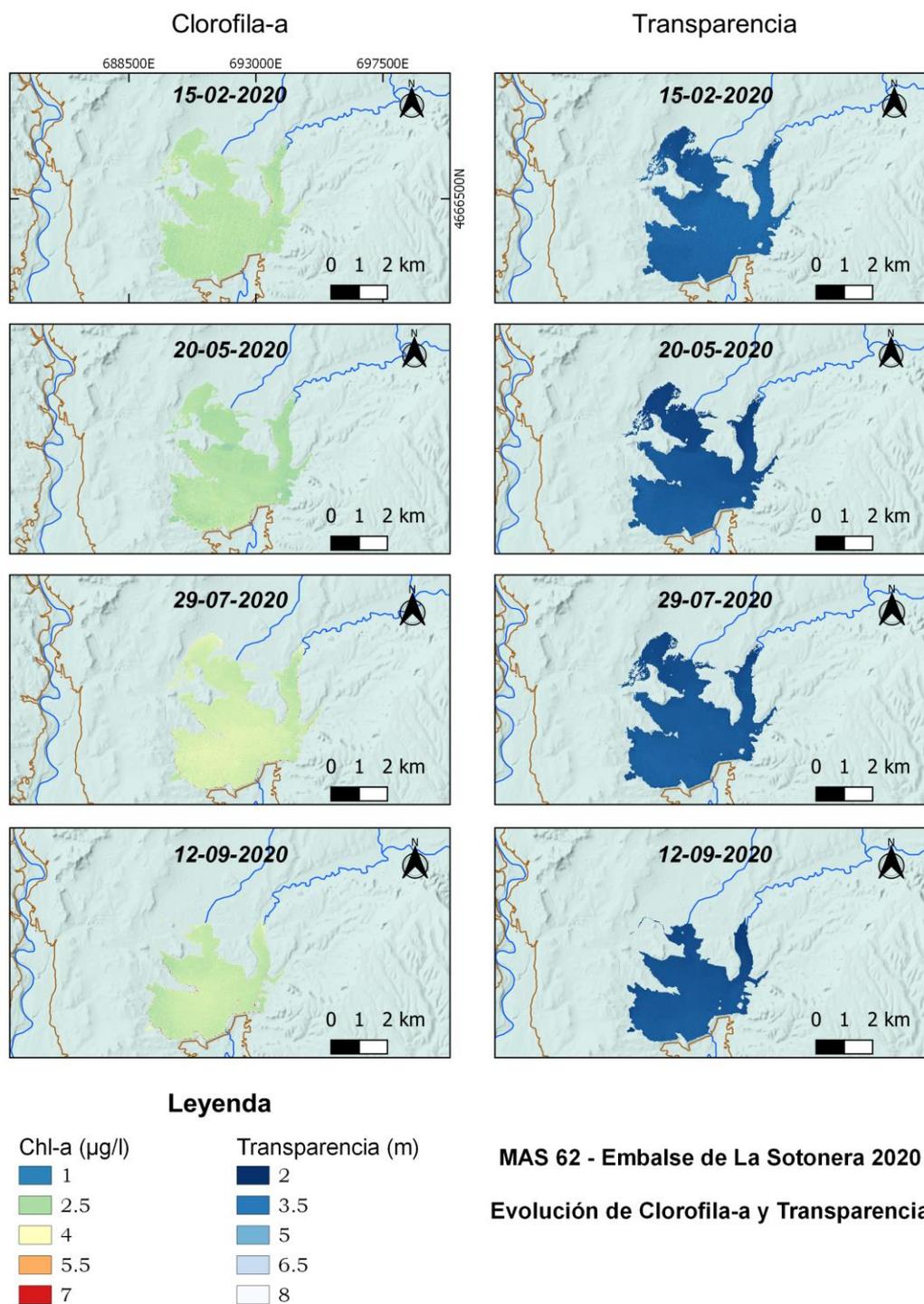


Figura 55: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Sotonera

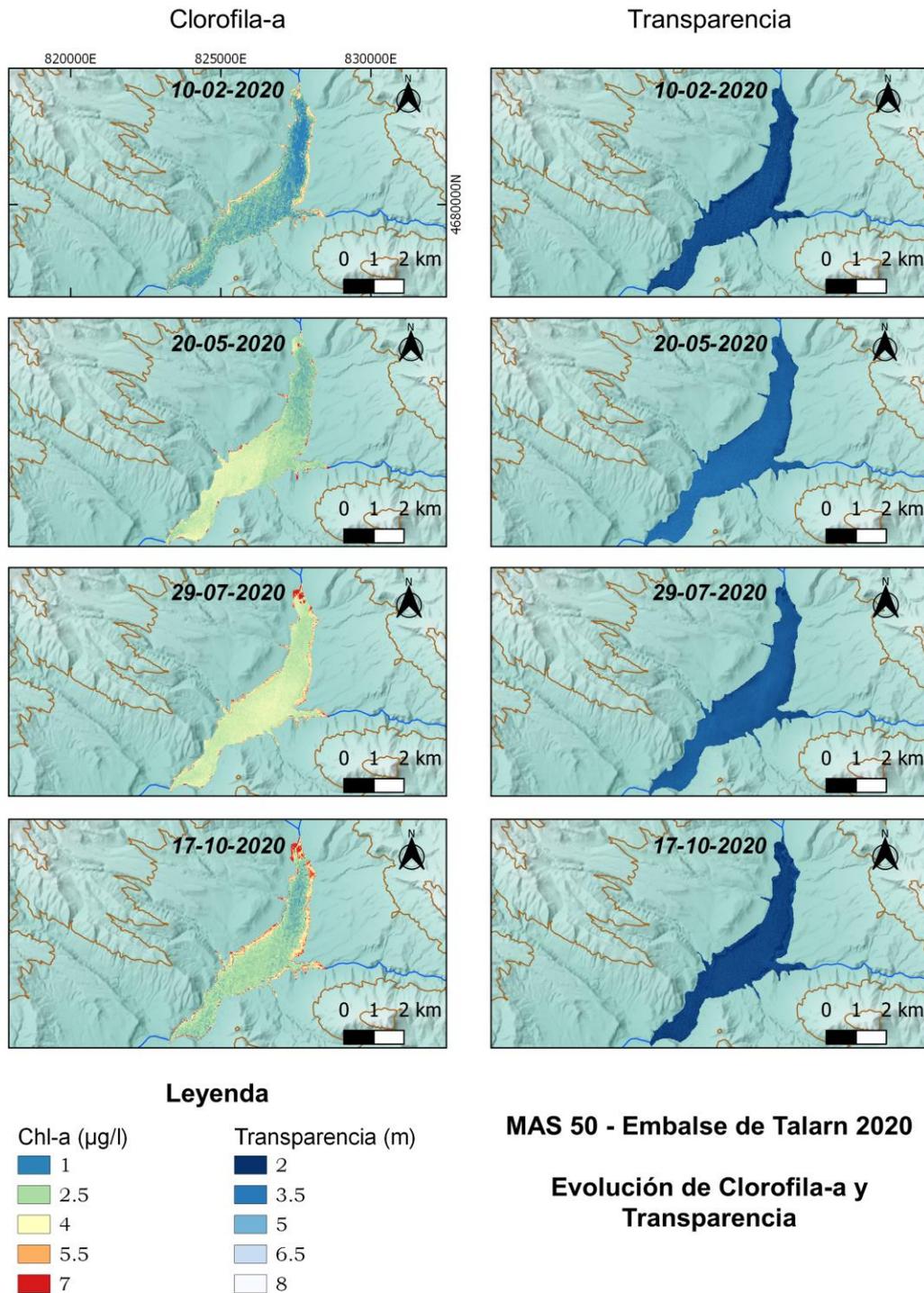


Figura 56: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Talarn

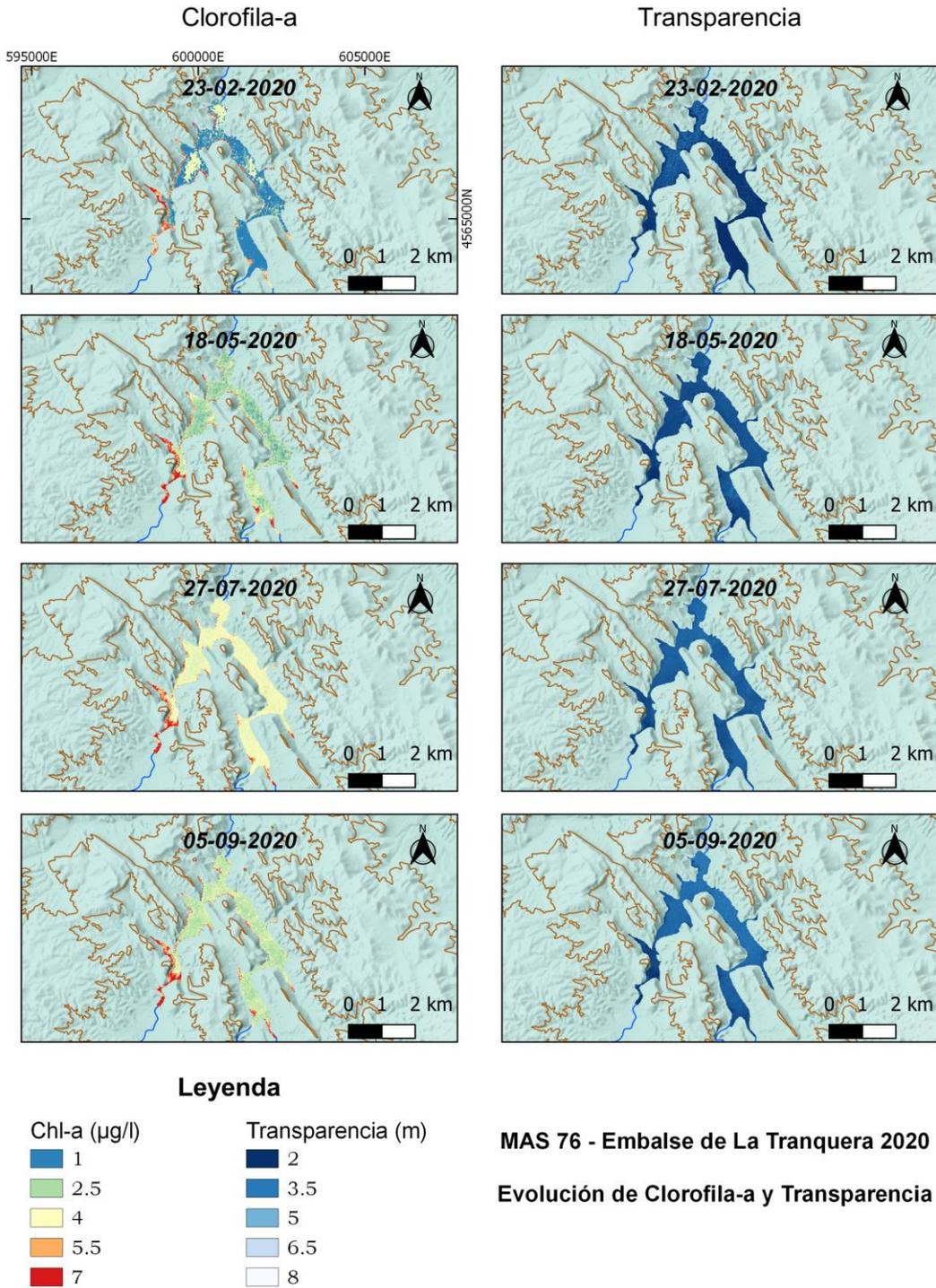


Figura 57: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Tranquera

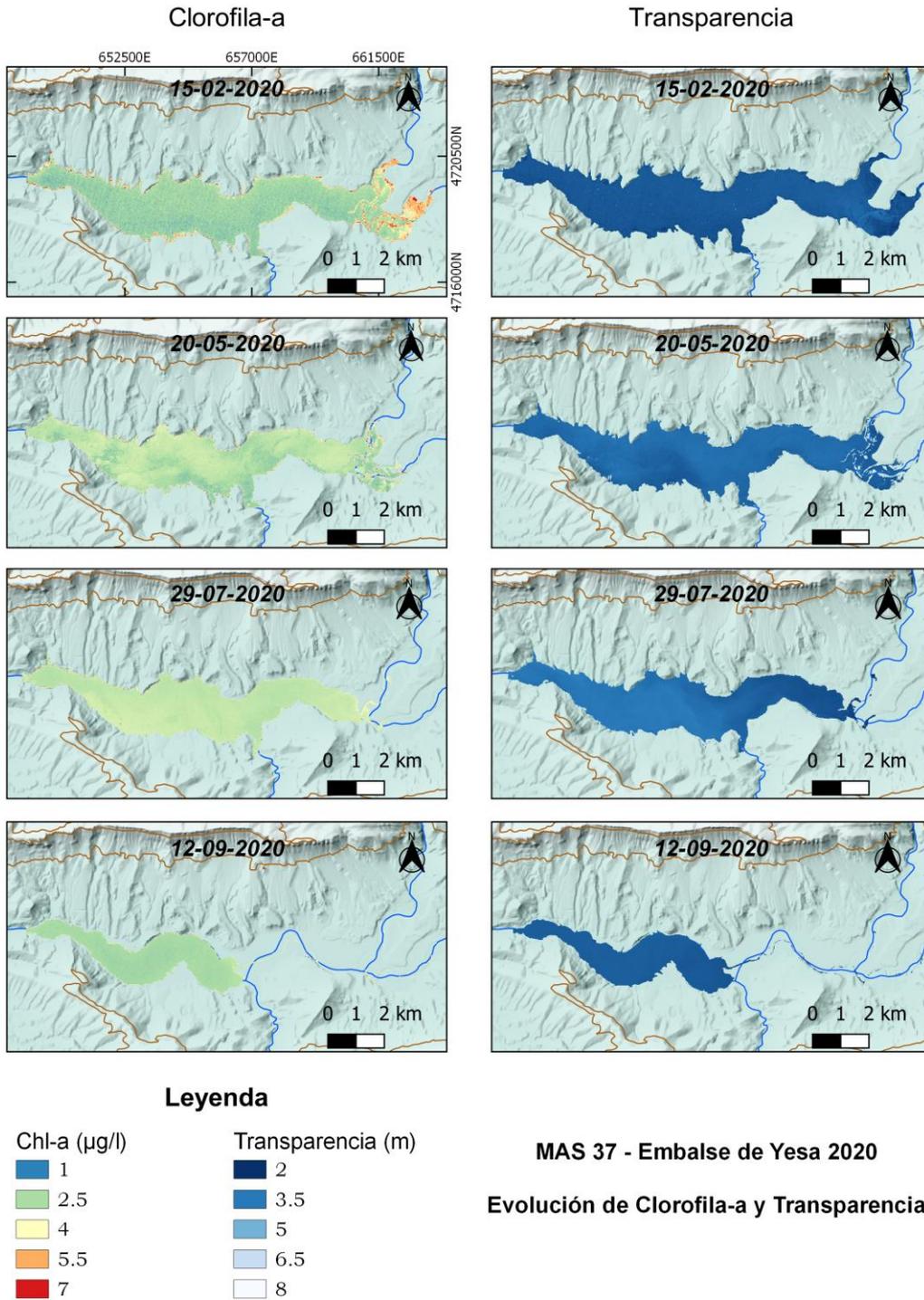


Figura 58: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Yesa

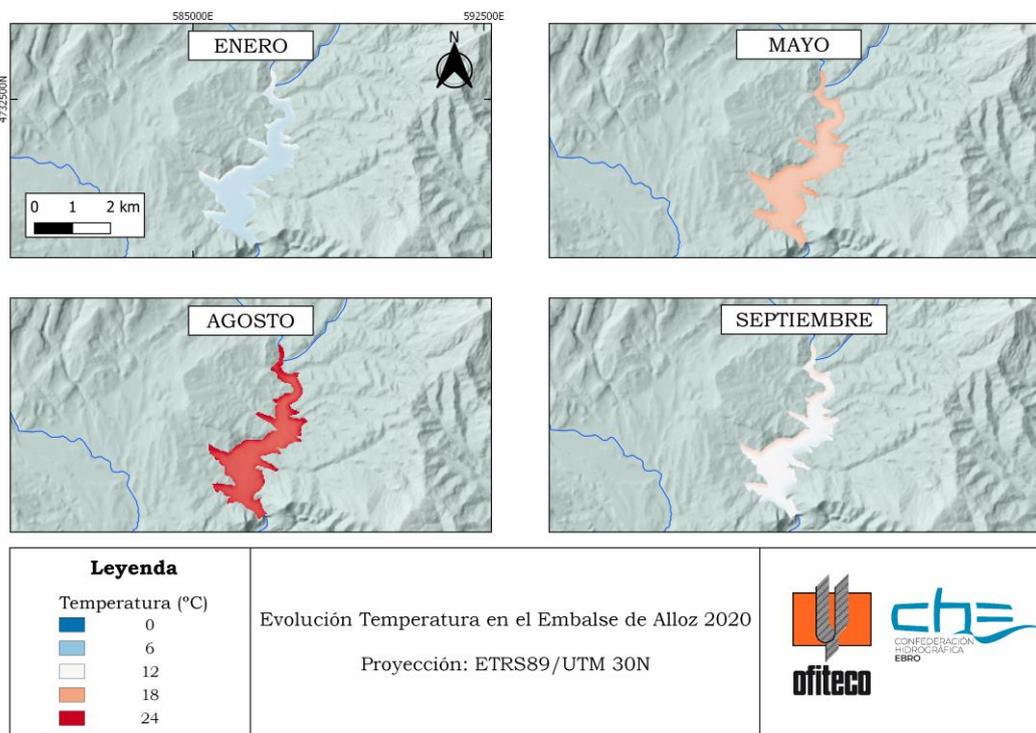


Figura 59: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Allos.

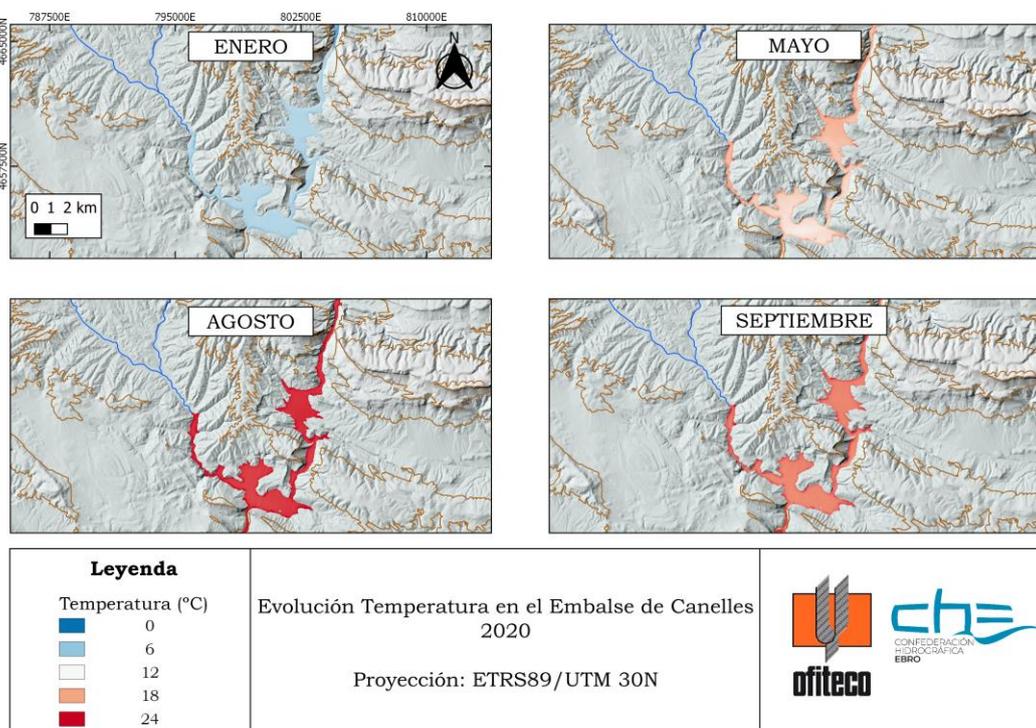


Figura 60: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Canelles.

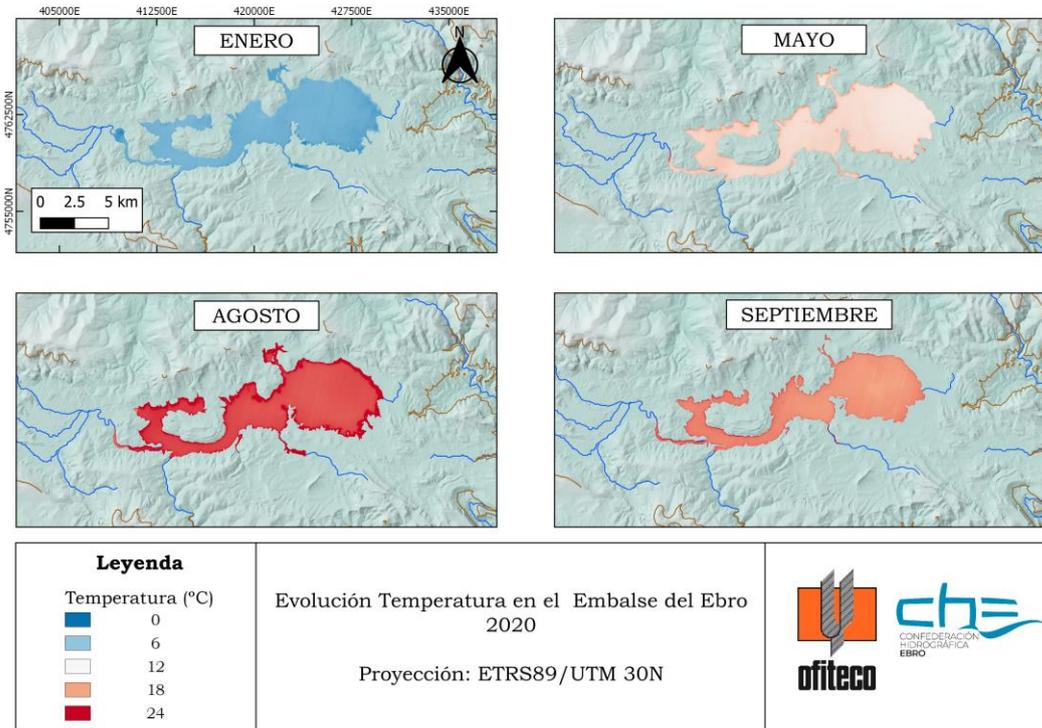


Figura 61: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse del Ebro.

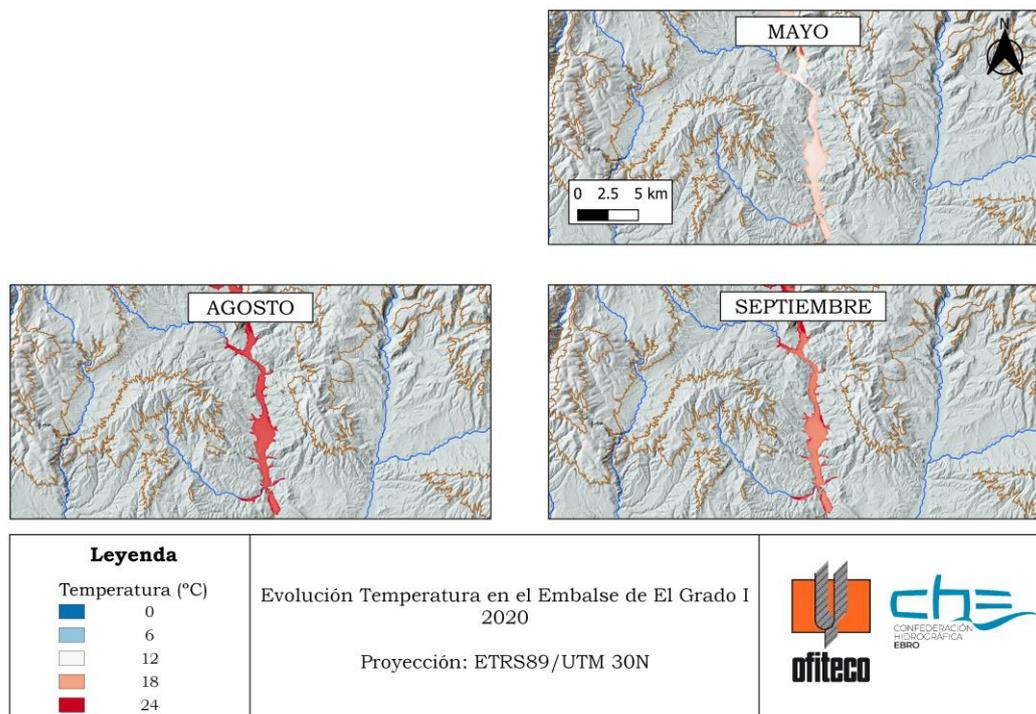


Figura 62: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de El Grado I.

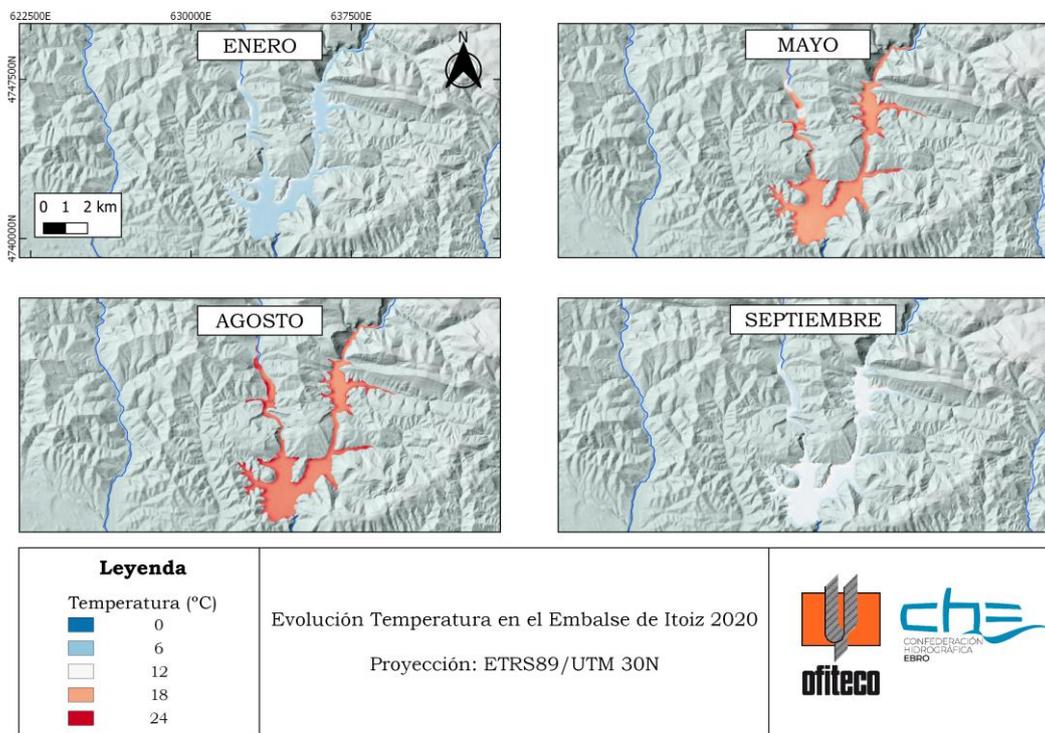


Figura 63: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Itoiz.

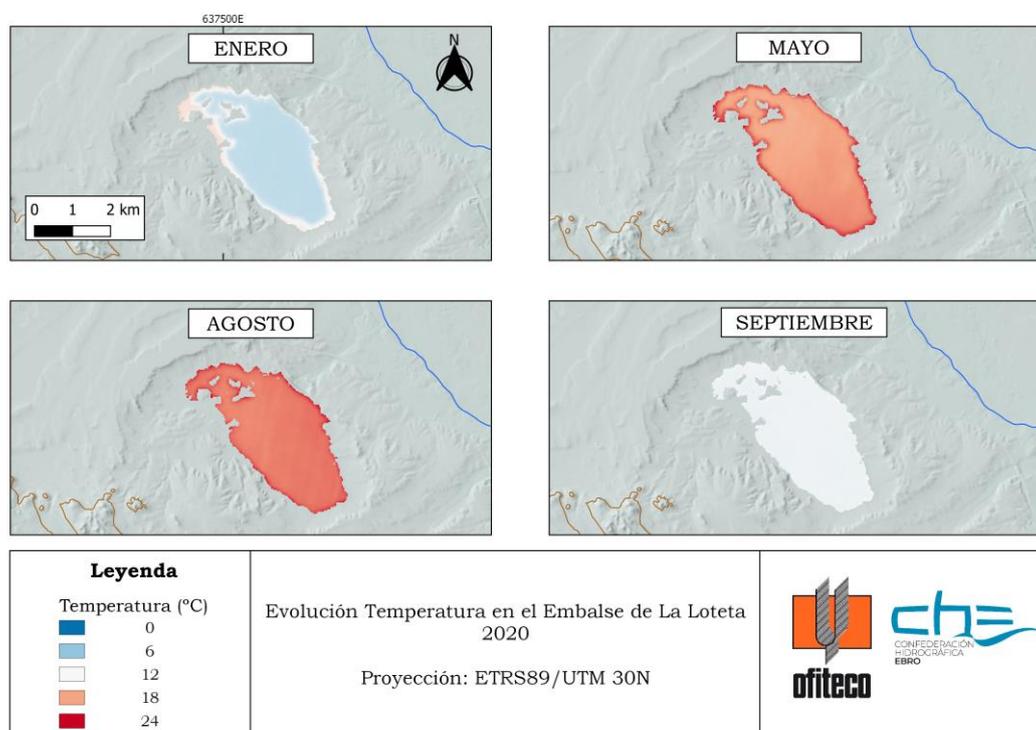


Figura 64: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Loteta.

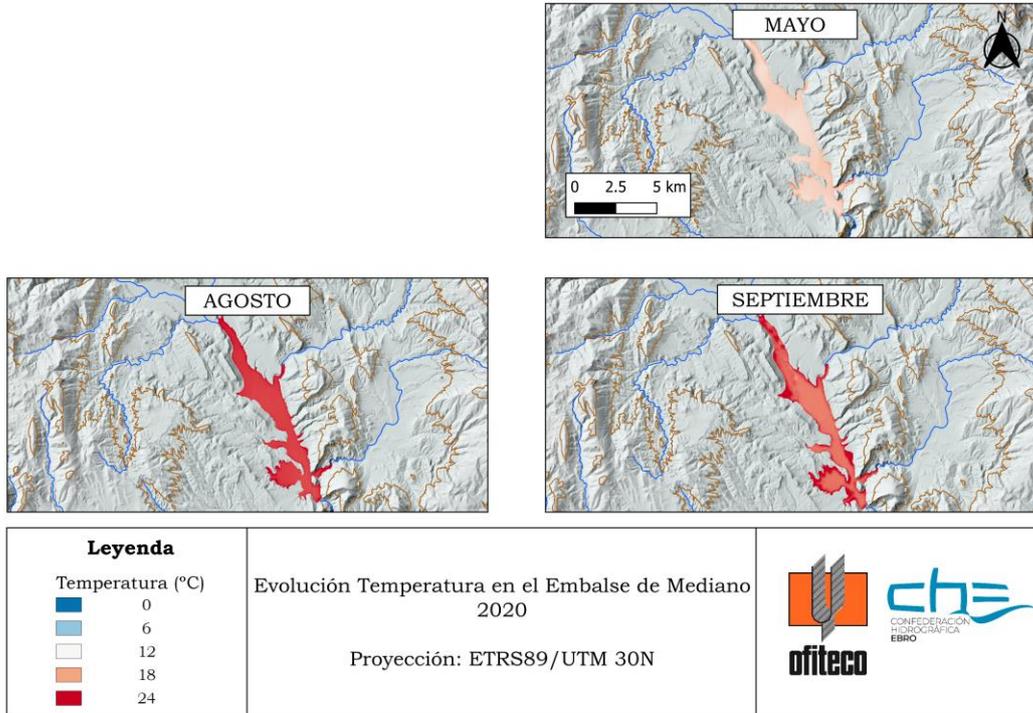


Figura 65: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Mediano.

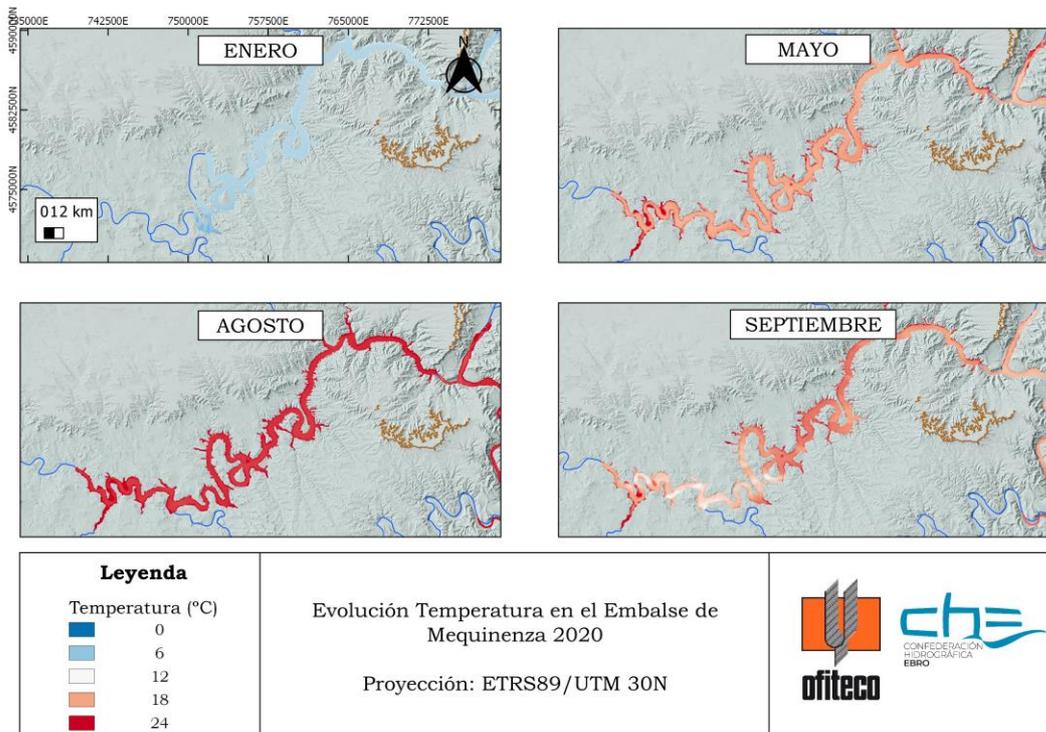


Figura 66: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Mequinenza.

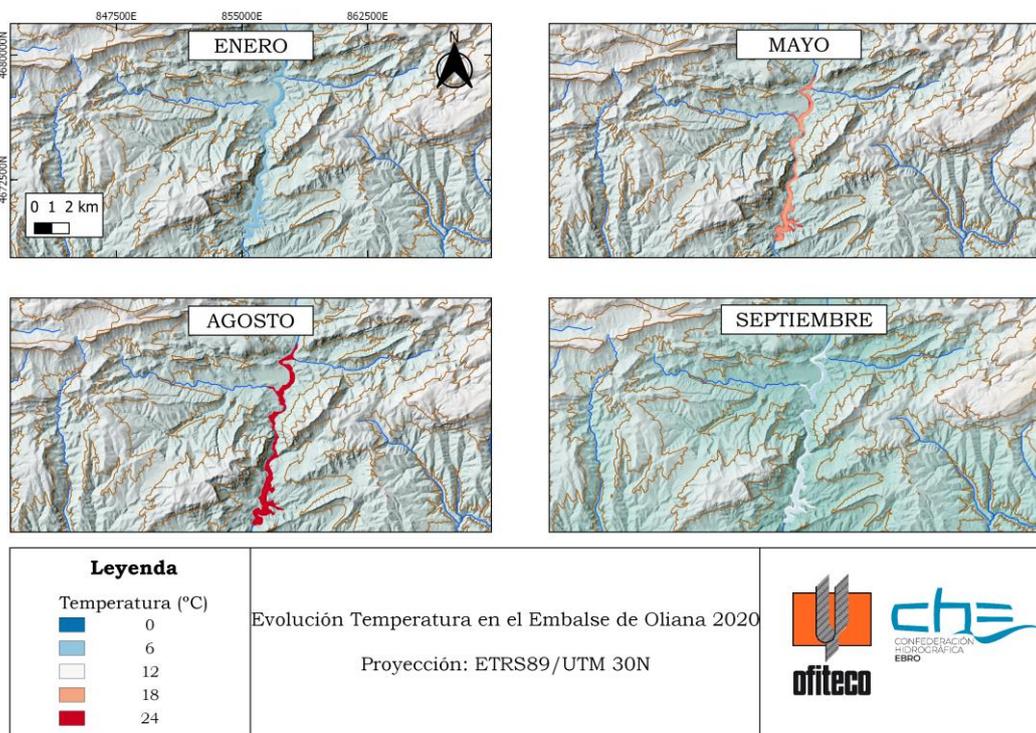


Figura 67: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Oliana.

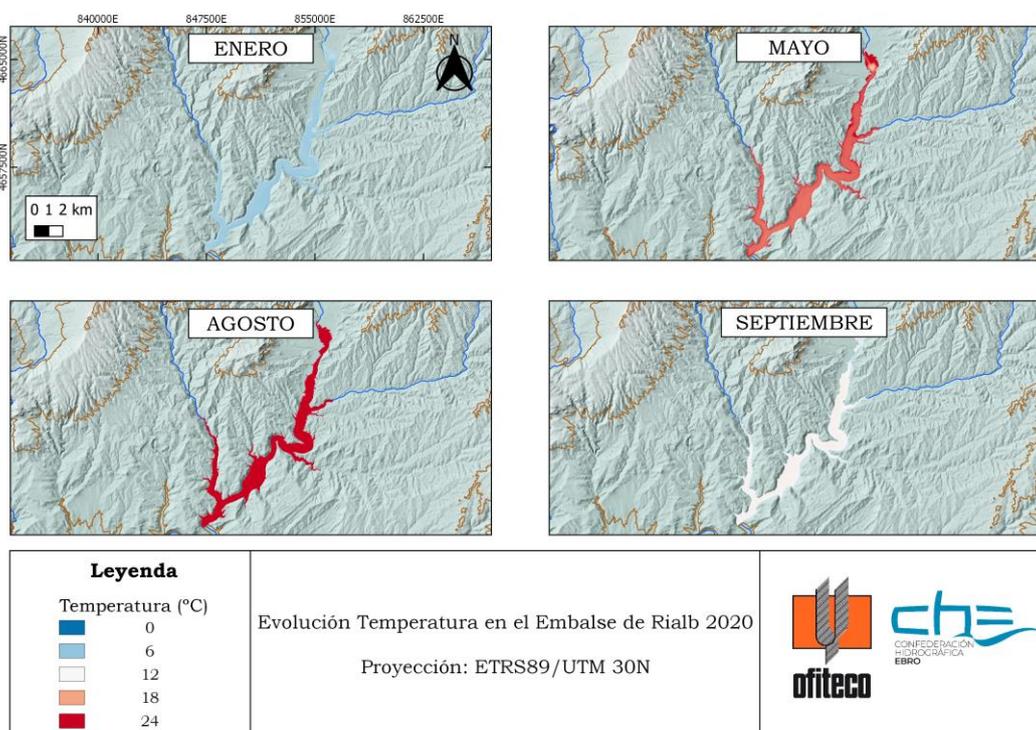


Figura 68: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Rialb.

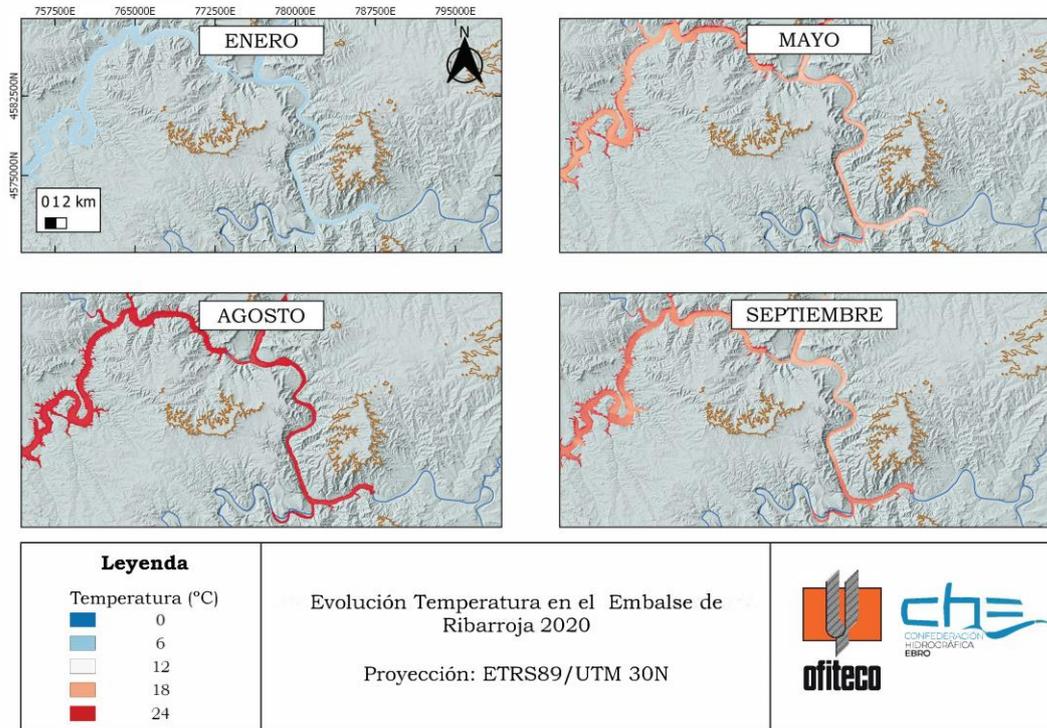


Figura 69: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Ribarroja.

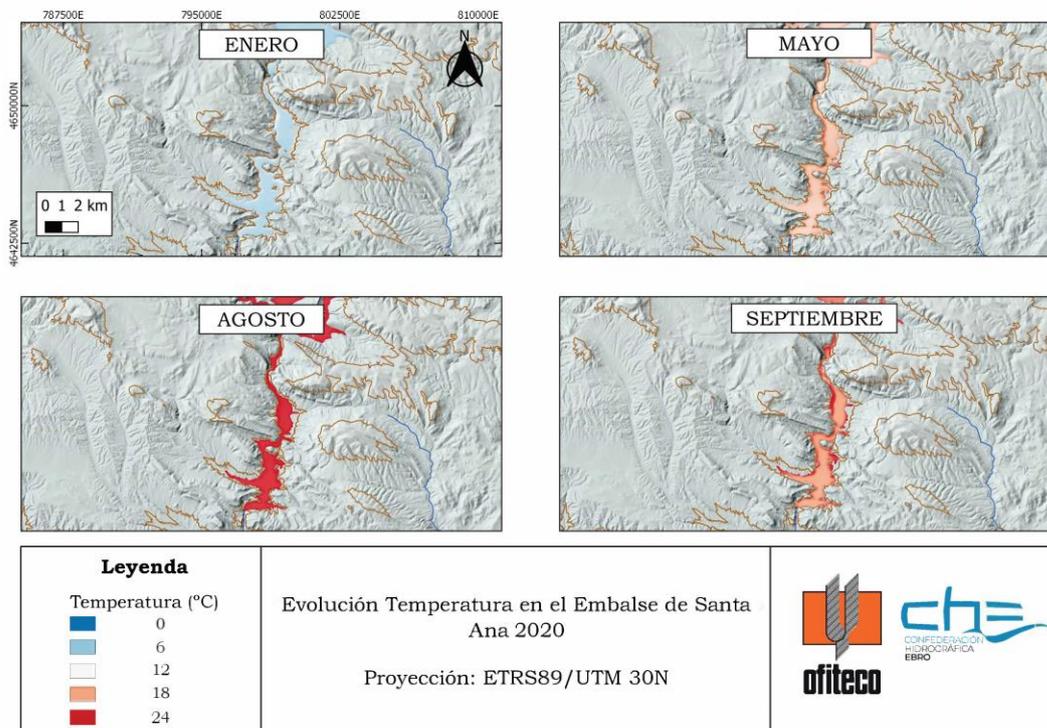


Figura 70: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Santa Ana.

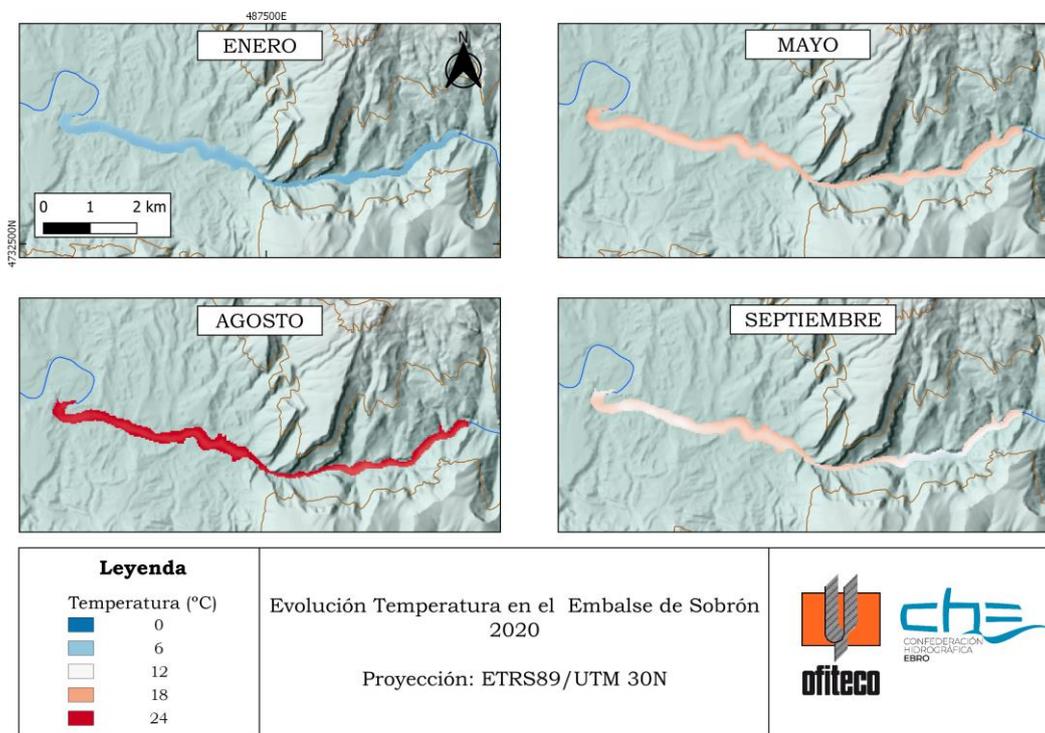


Figura 71: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse del Sobrón.

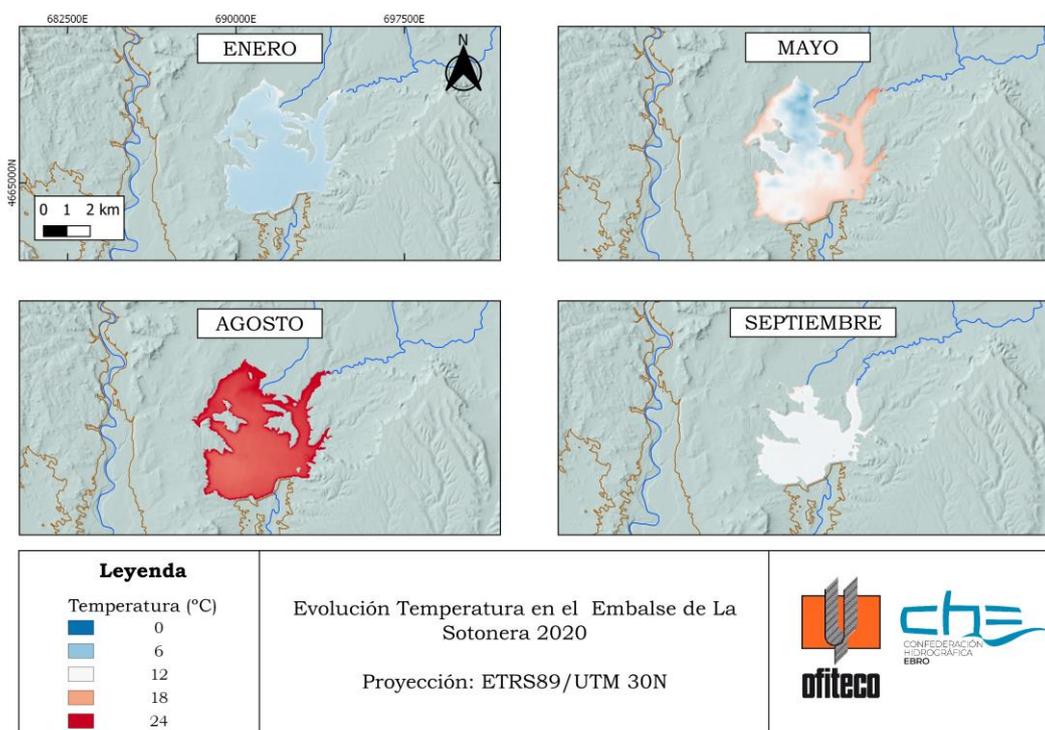


Figura 72: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Sotonera.

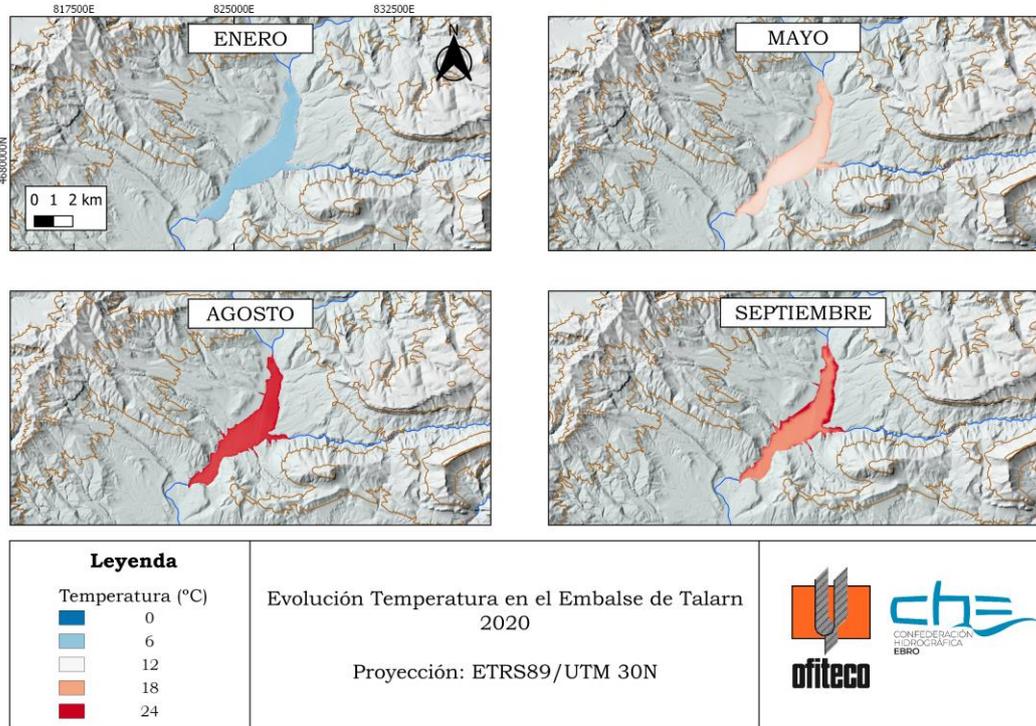


Figura 73: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Tarn.

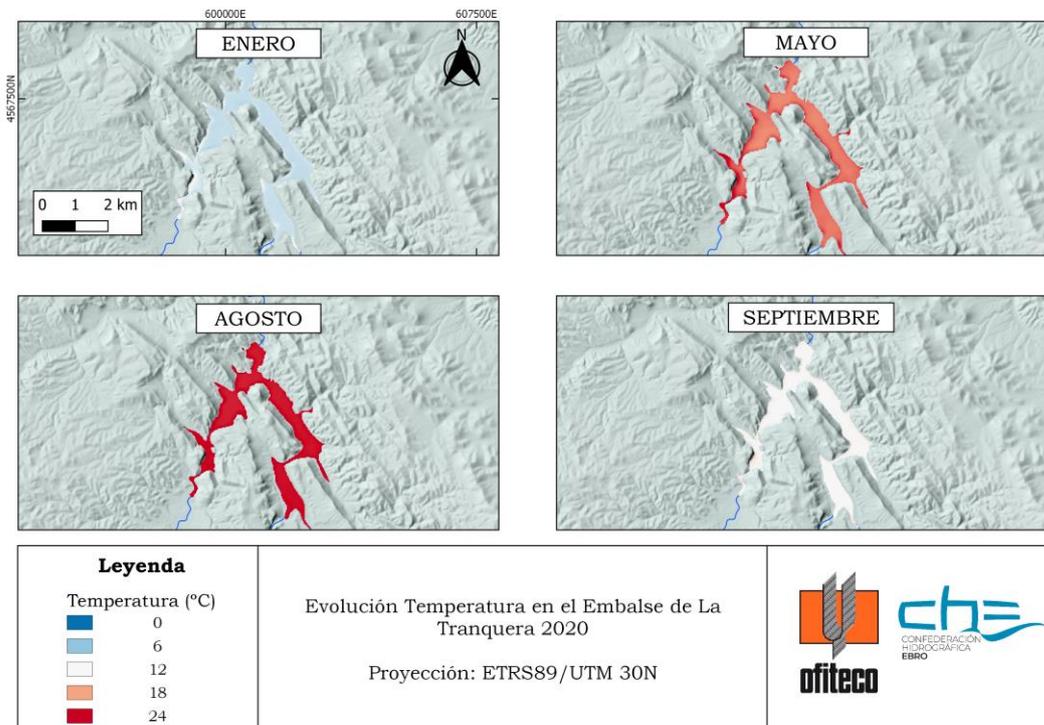


Figura 74: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de La Tranquera.

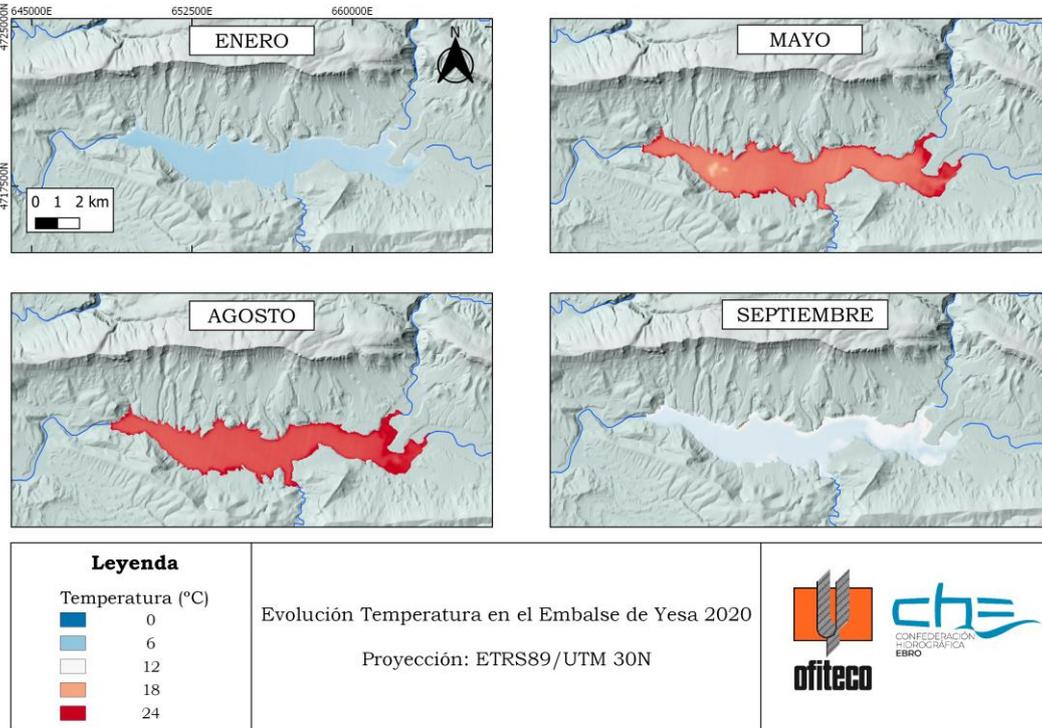


Figura 75: Mapa de evolución de temperatura en 2020 en el embalse de Yesa.



ANEXO 6. MAPAS DE ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS

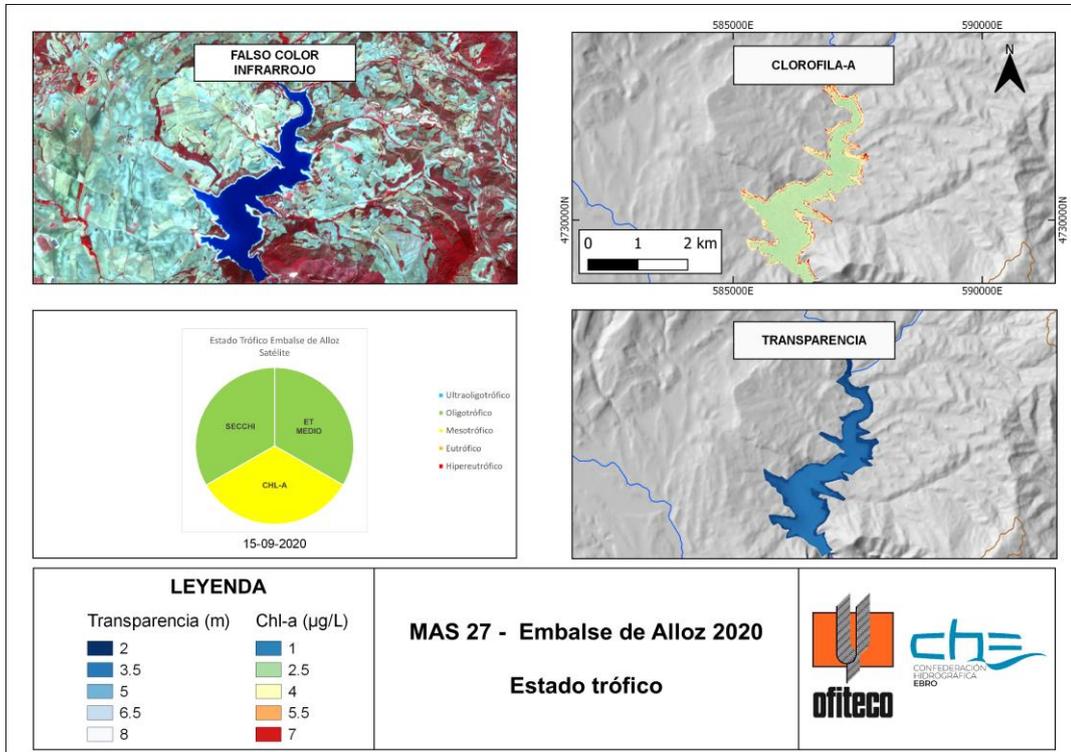


Figura 76: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Alloz

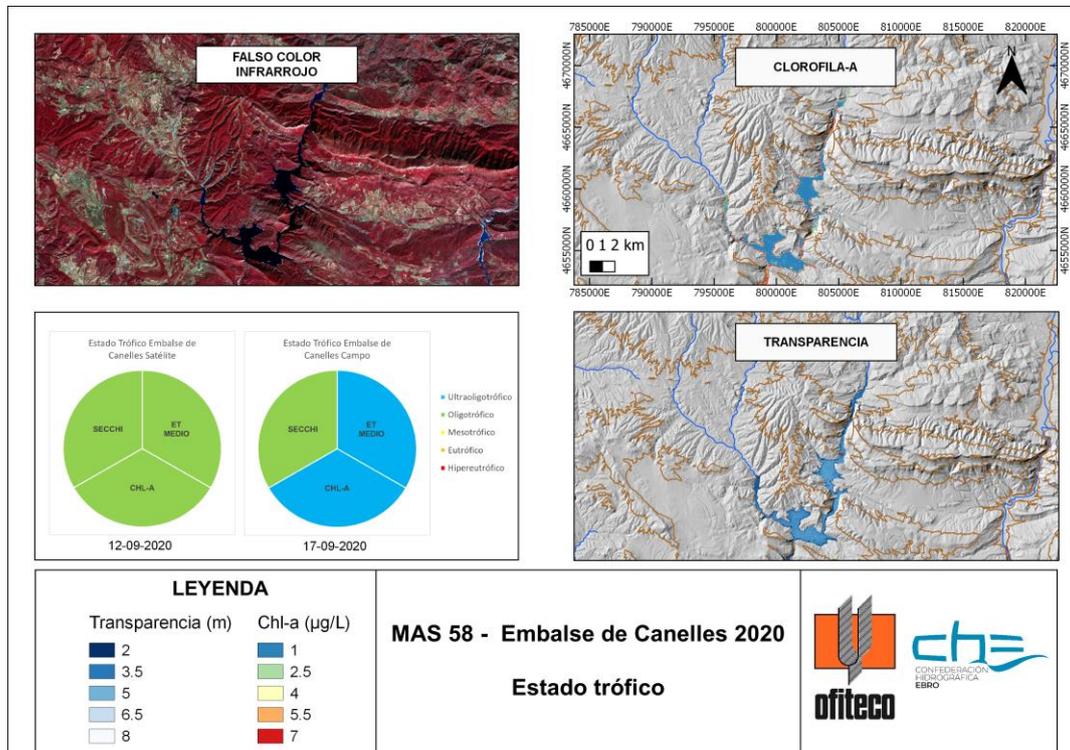


Figura 77: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Canelles

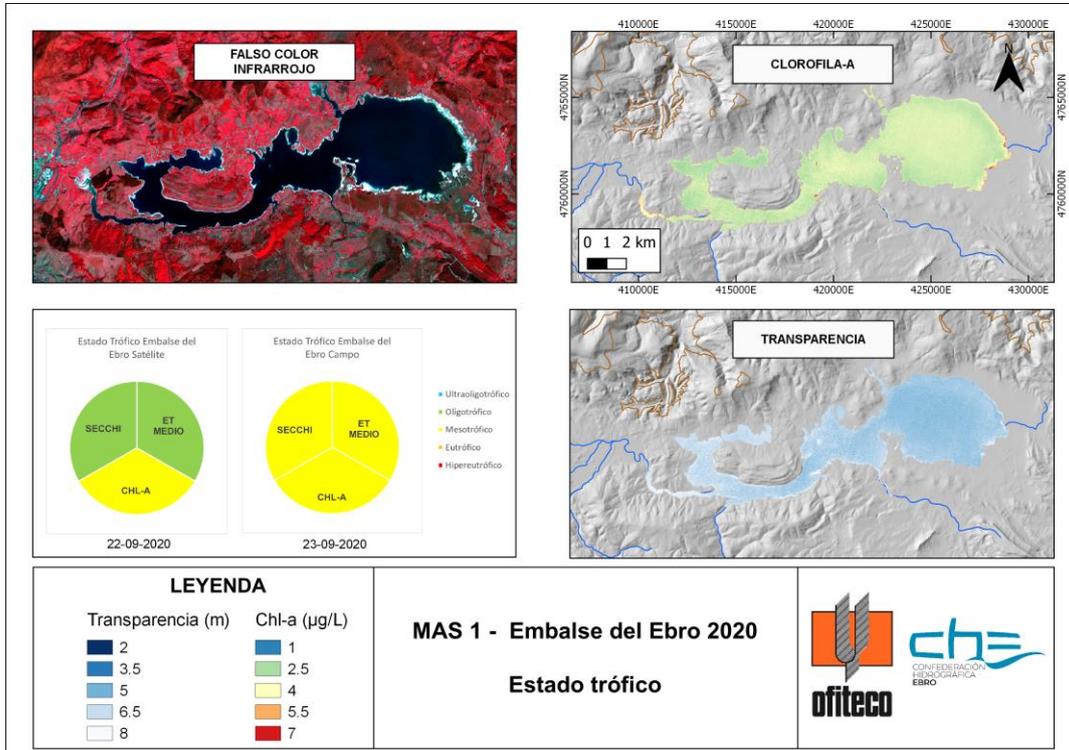


Figura 78: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Ebro

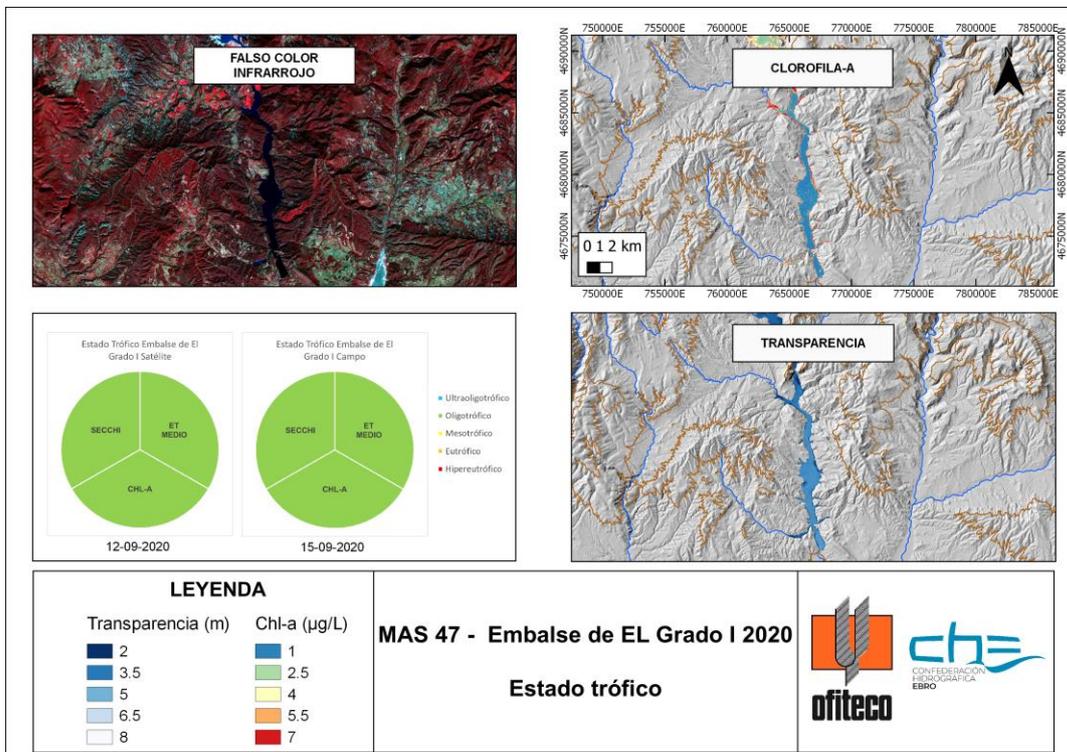


Figura 79: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de El Grado I

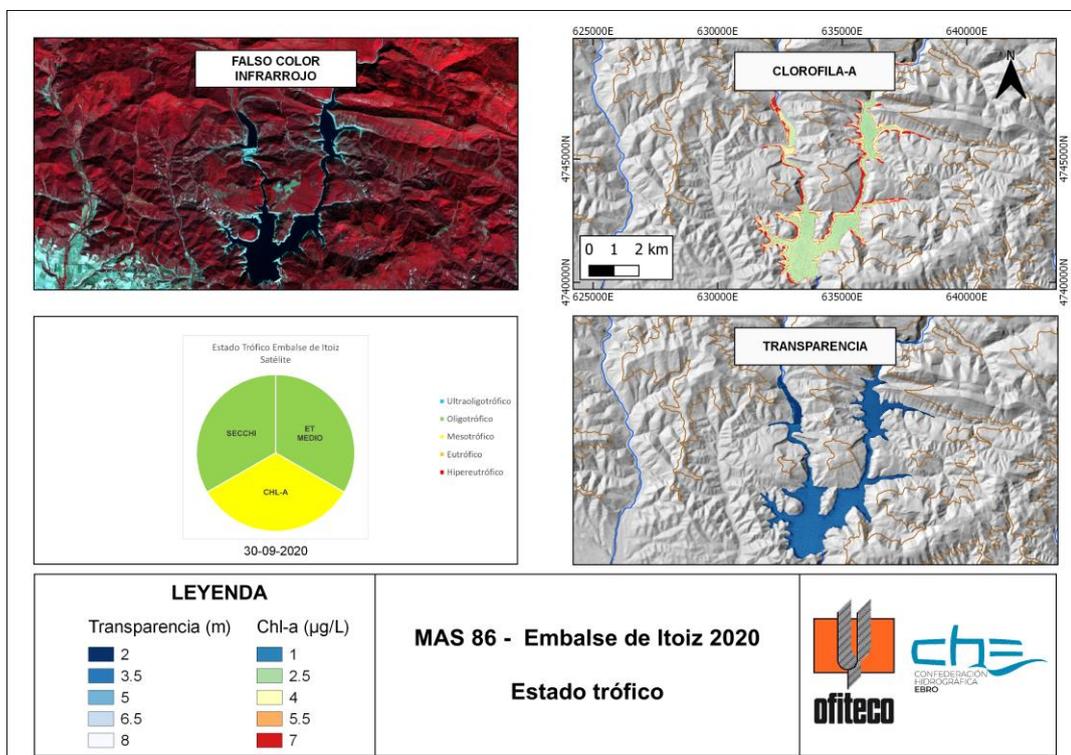


Figura 80: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Itoiz

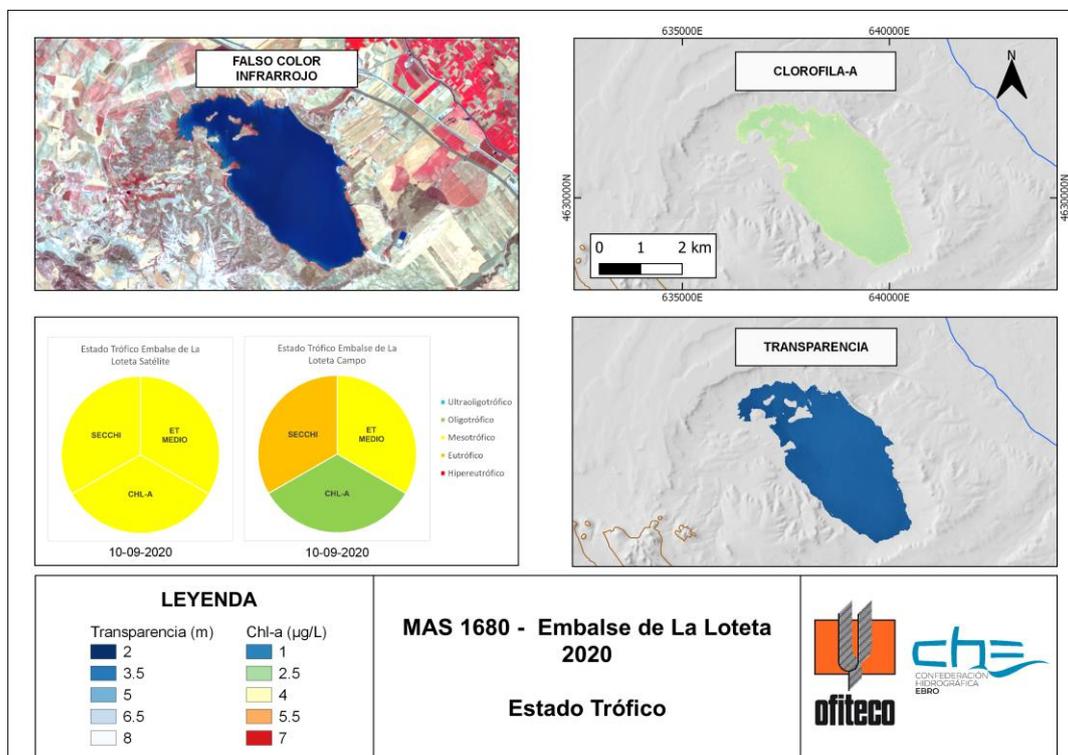


Figura 81: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Loteta

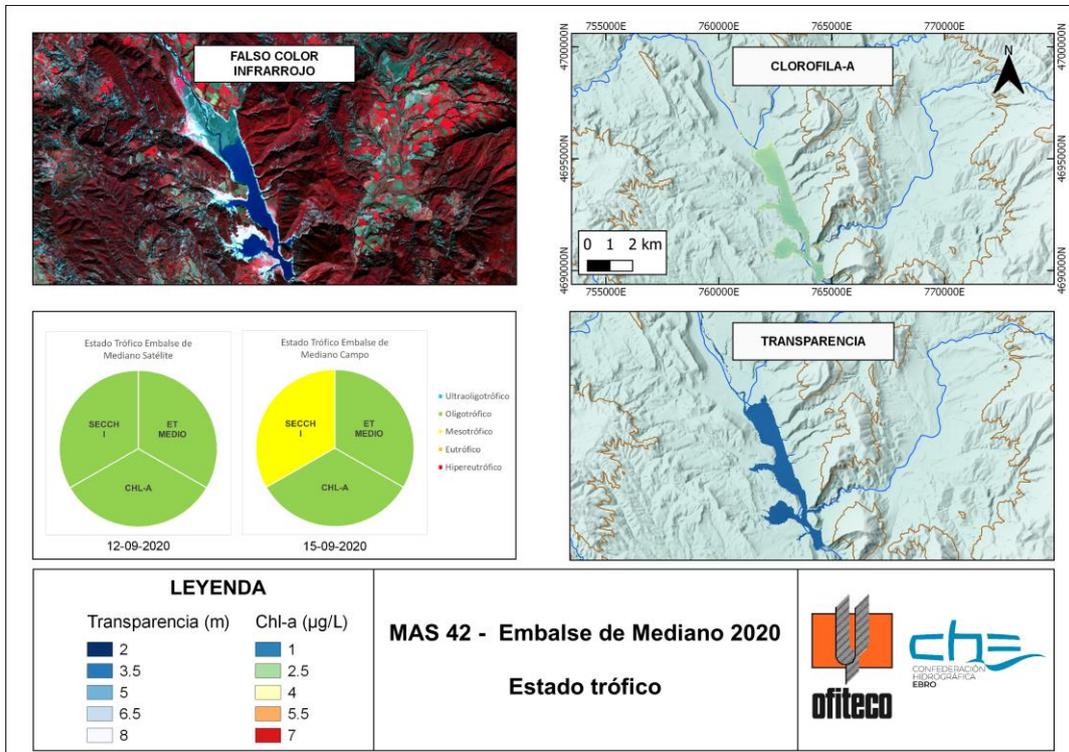


Figura 82: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mediano

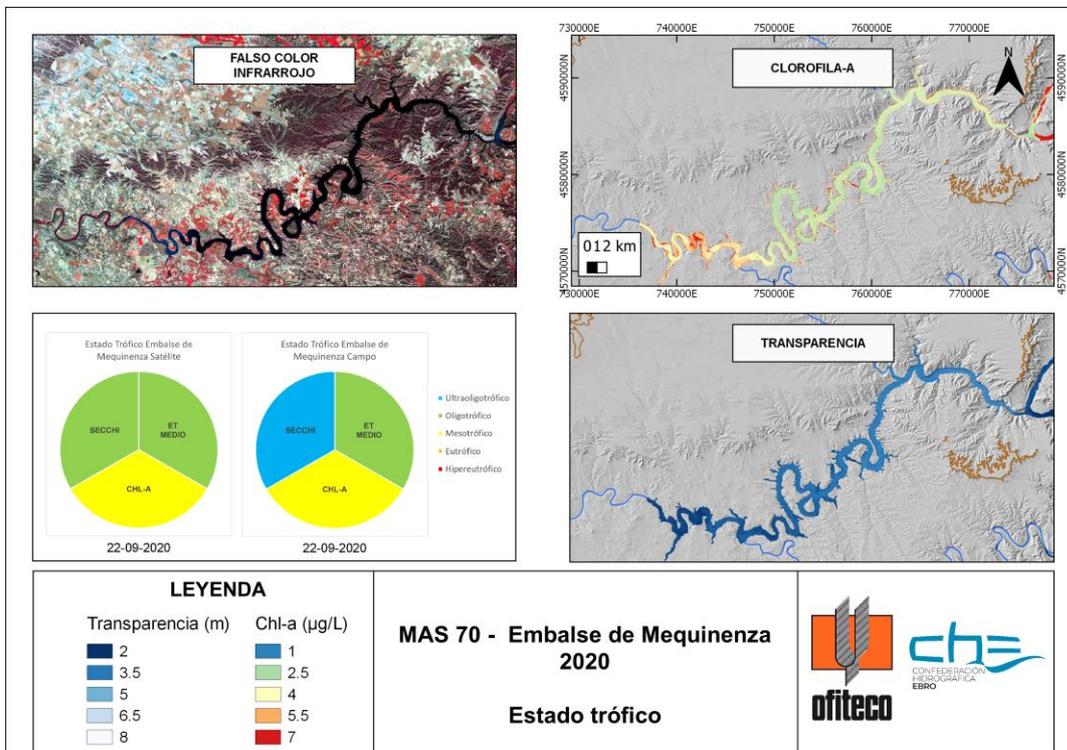


Figura 83: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Mequinenza

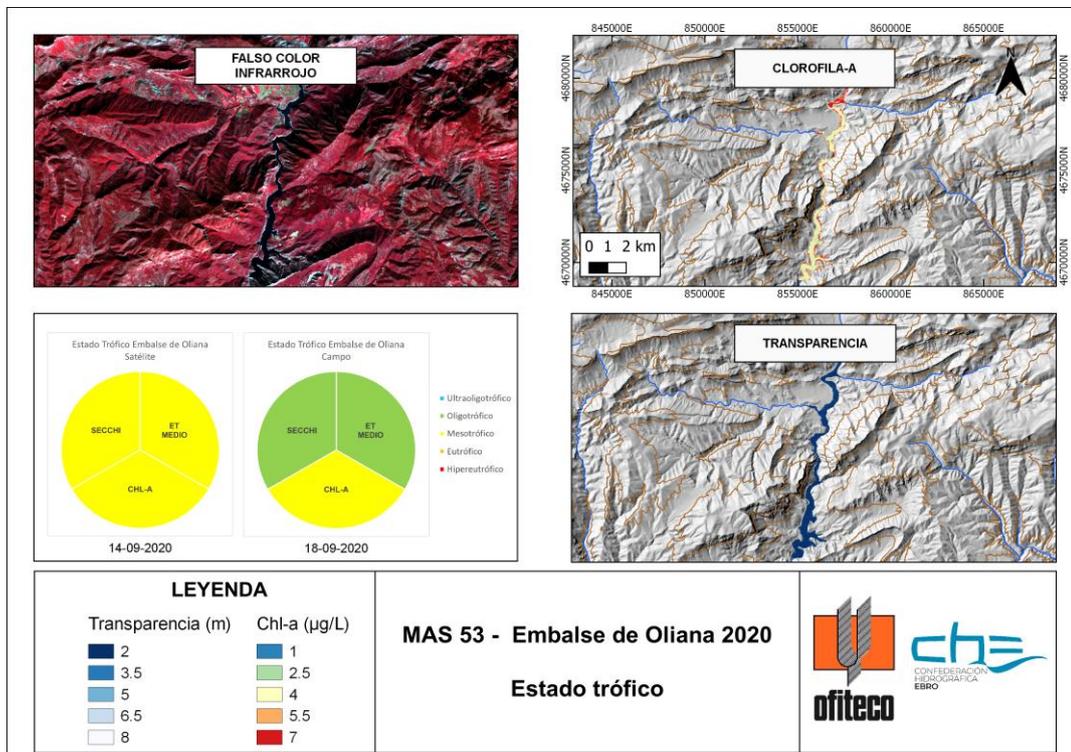


Figura 84: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Oliana

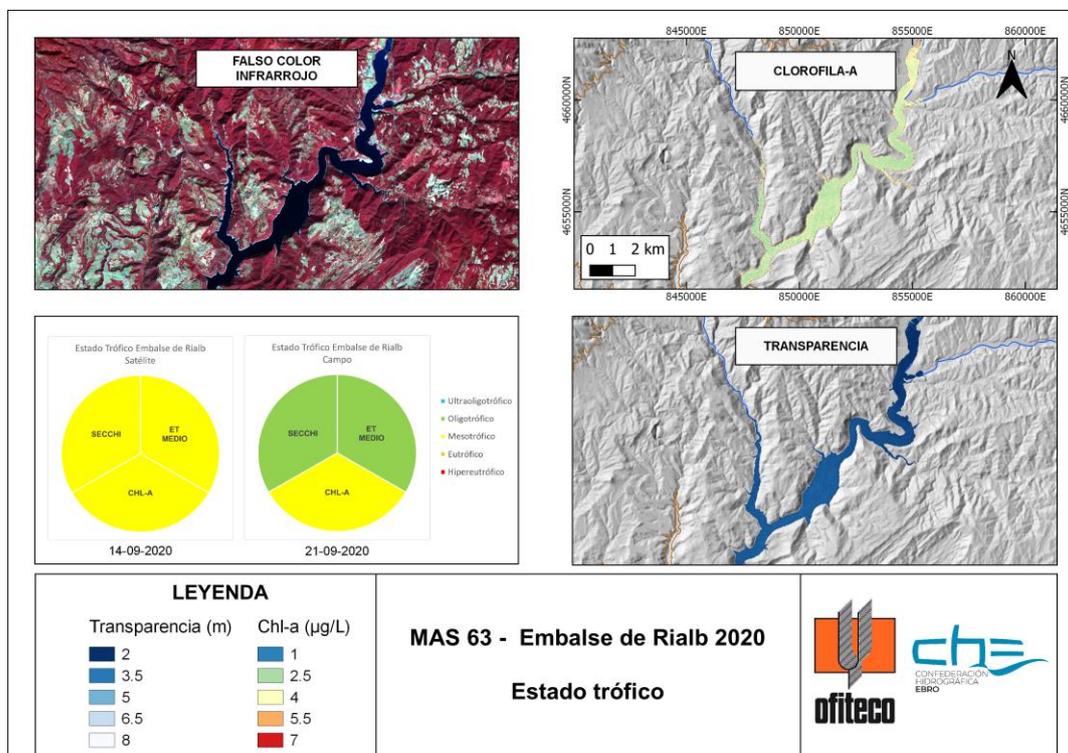


Figura 85: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Rialb

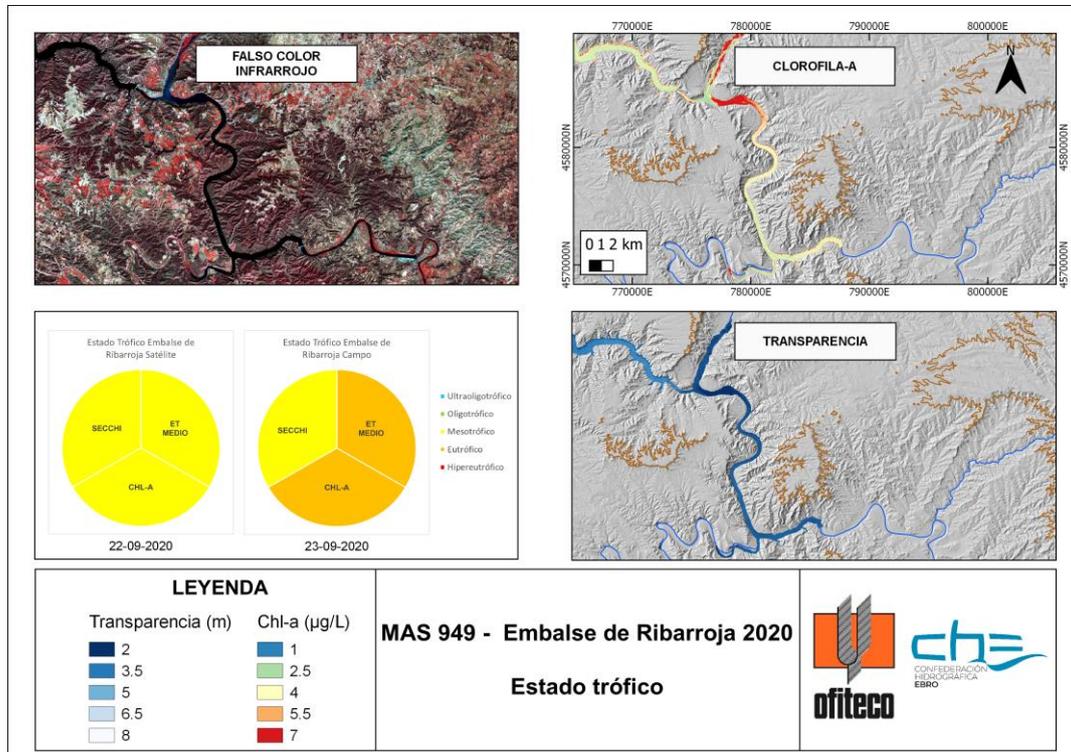


Figura 86: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Ribarroja

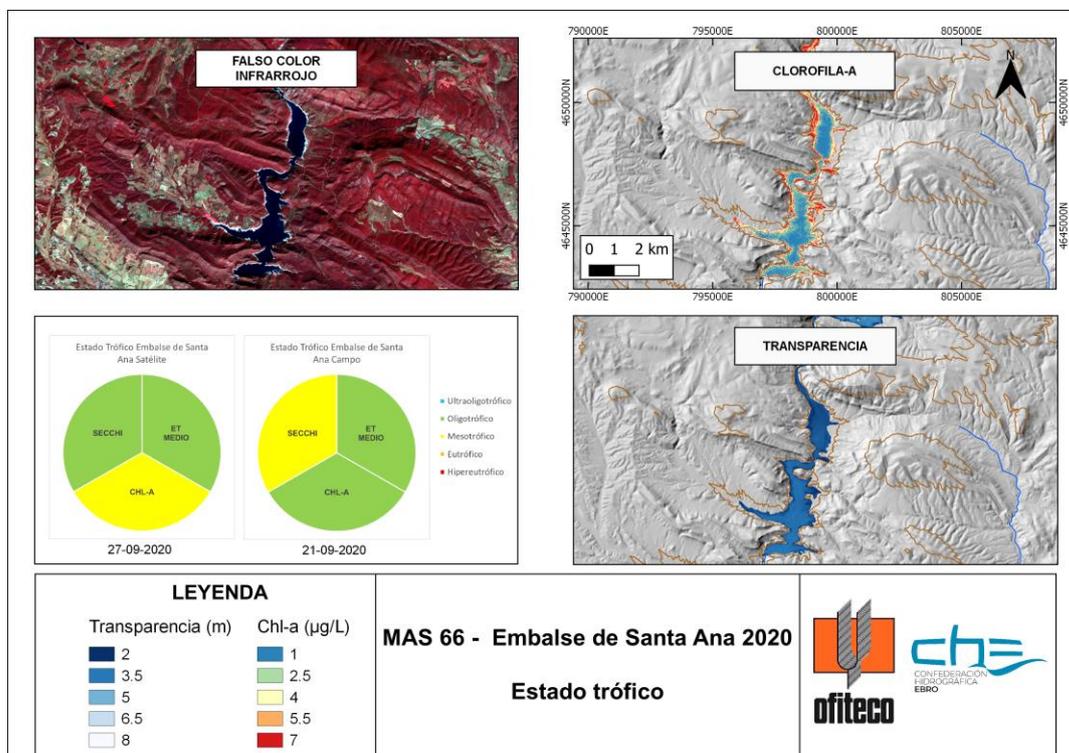


Figura 87: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Santa Ana

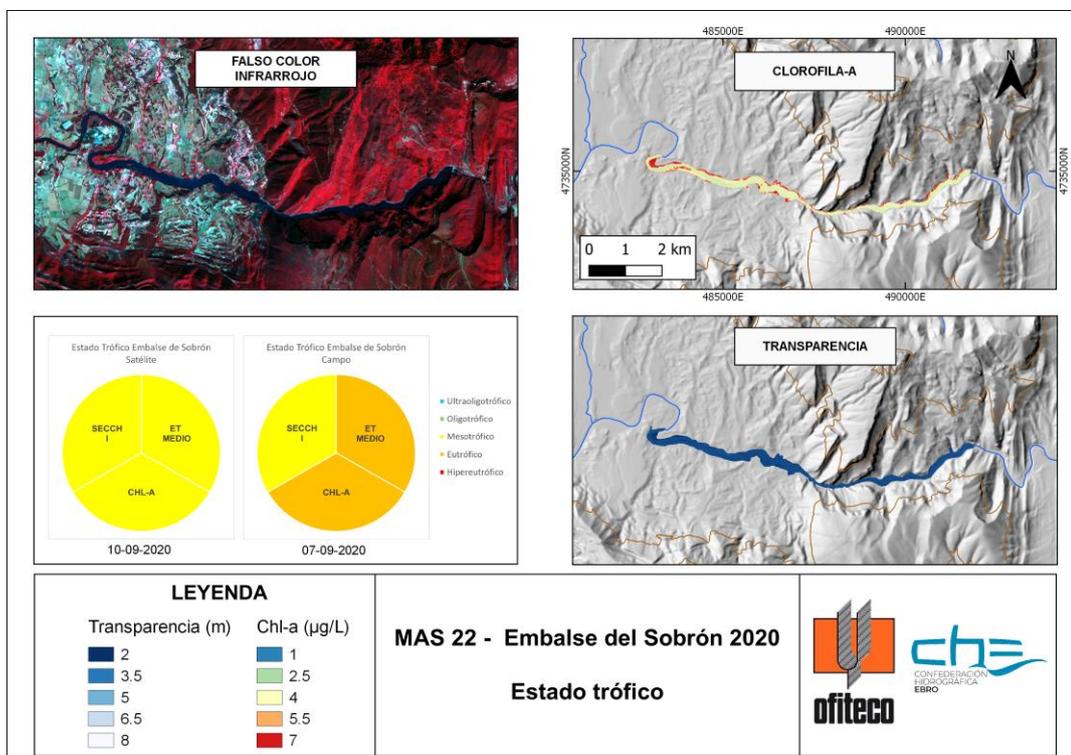


Figura 88: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse del Sobrón

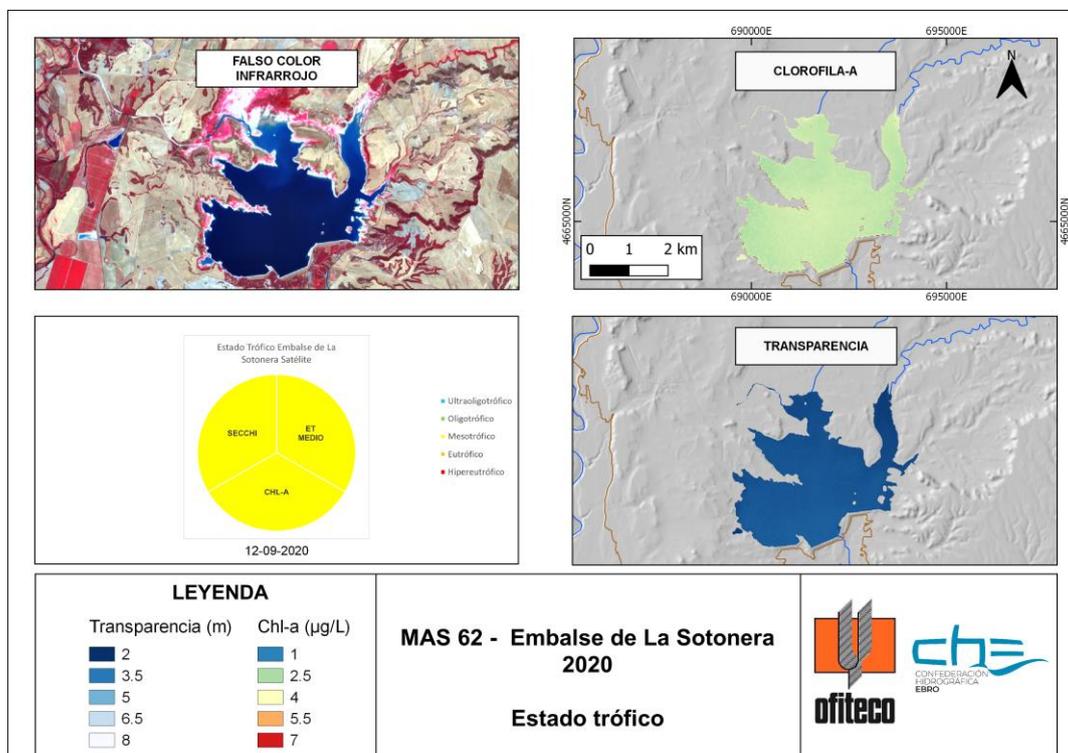


Figura 89: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Sotenera

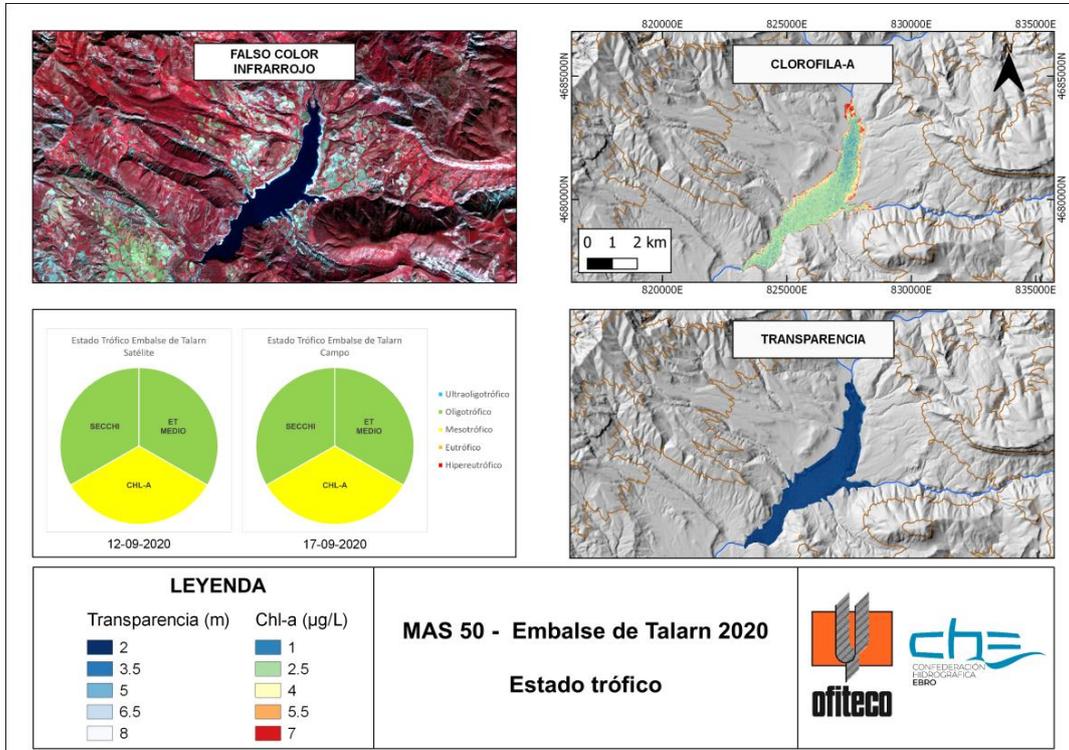


Figura 90: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Talam

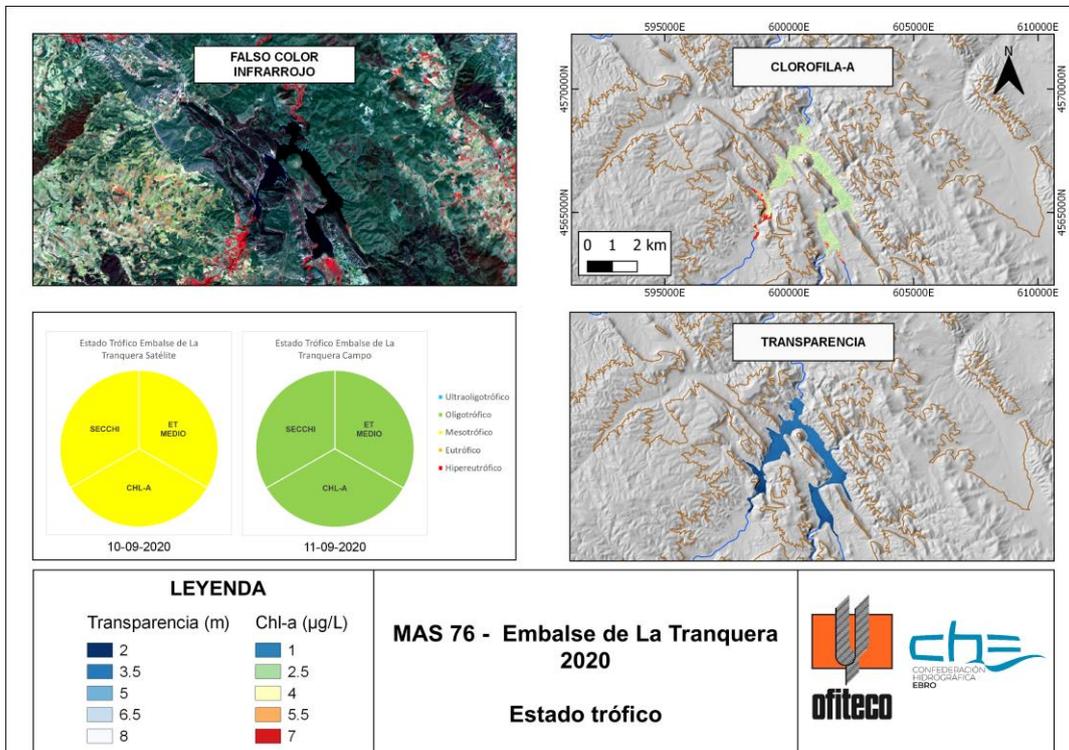


Figura 91: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de La Tranquera

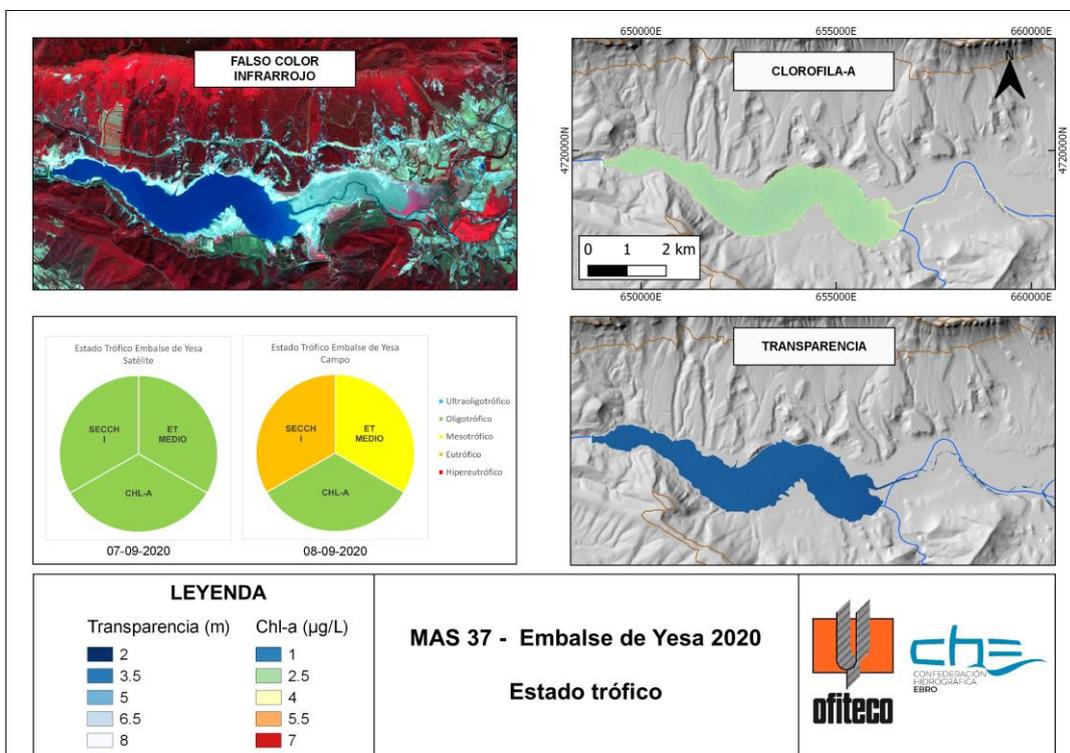


Figura 92: Mapa de la evolución de la calidad de agua en 2020 en el embalse de Yesa.



ANEXO 7. MAPAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD CDM, FICOCIANINA, SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ.

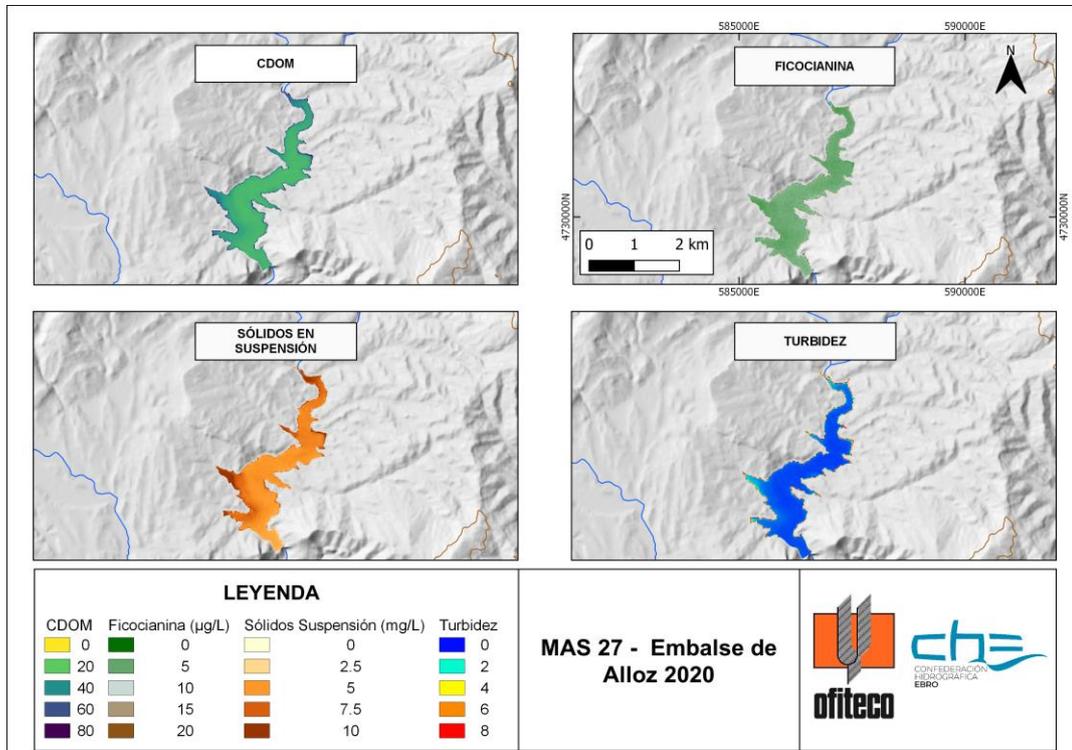


Figura 93: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Alloz en septiembre de 2020.

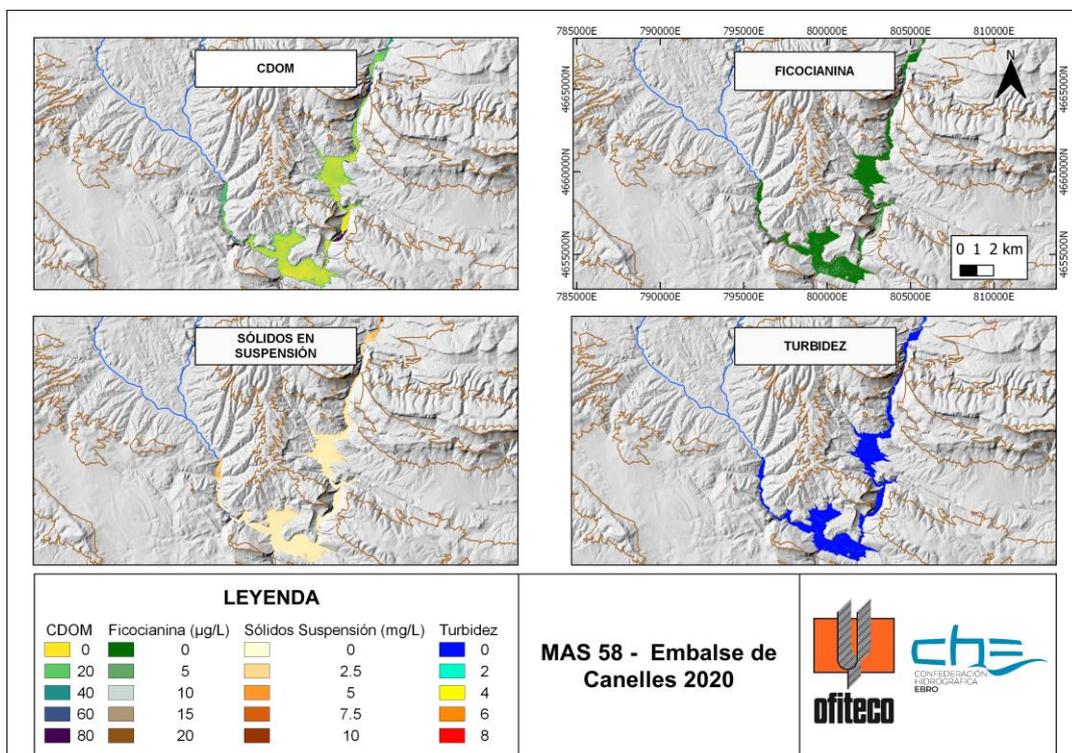


Figura 94: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Canelles en septiembre de 2020.

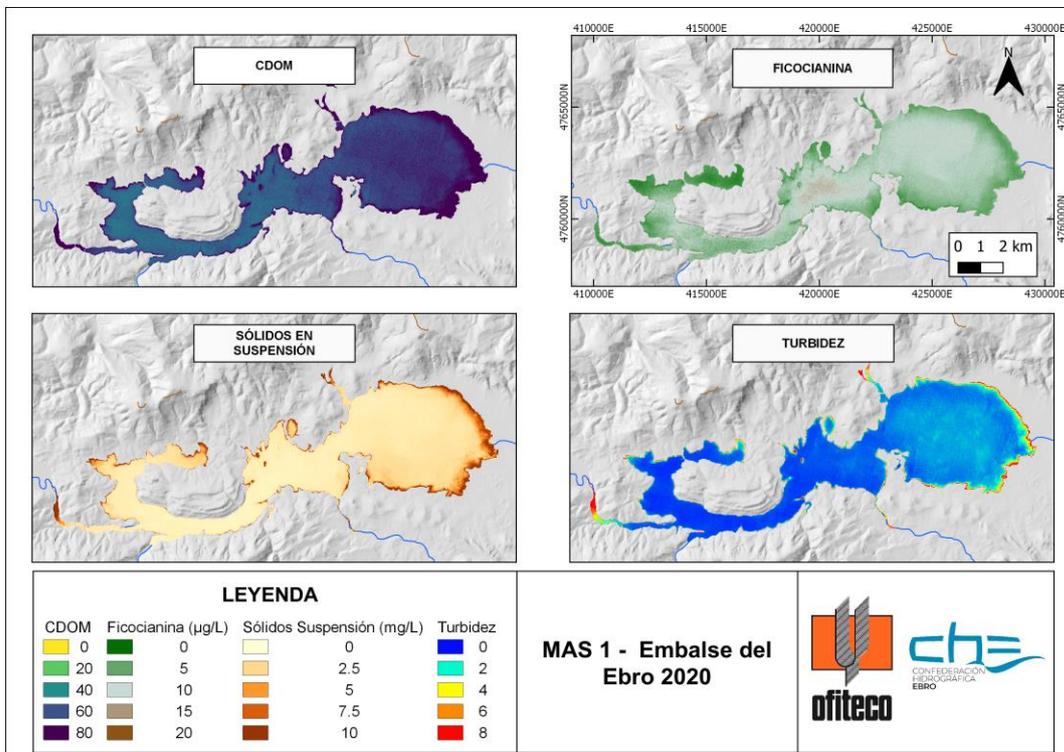


Figura 95: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse del Ebro en septiembre de 2020.

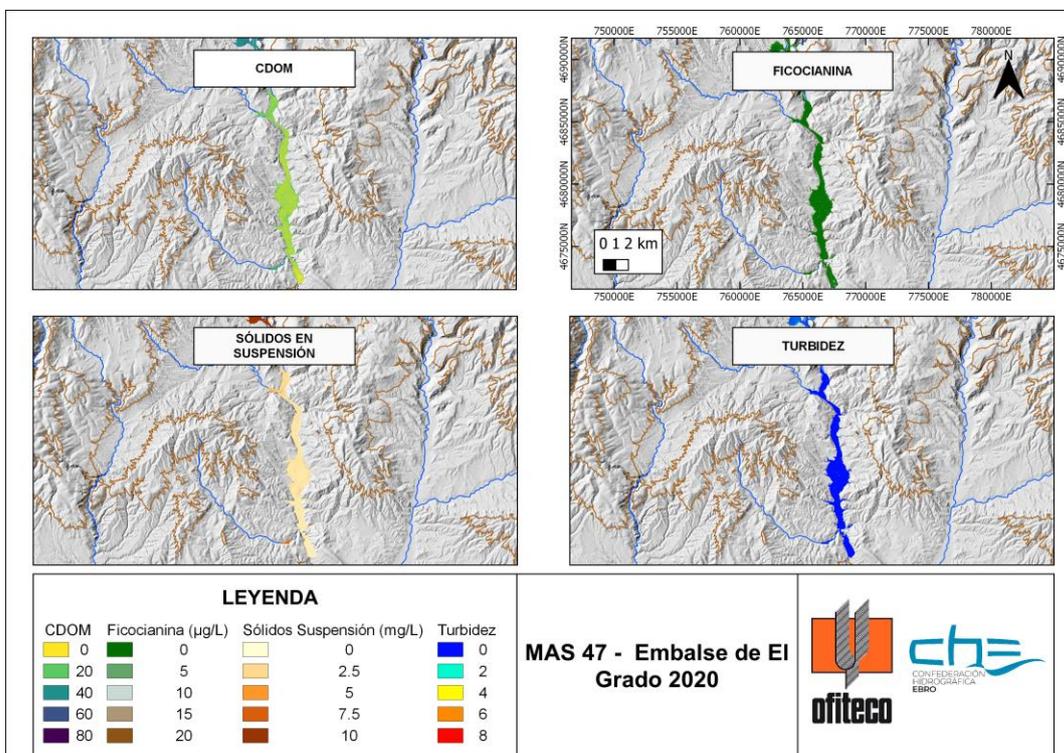


Figura 96: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de El Grado en septiembre de 2020.

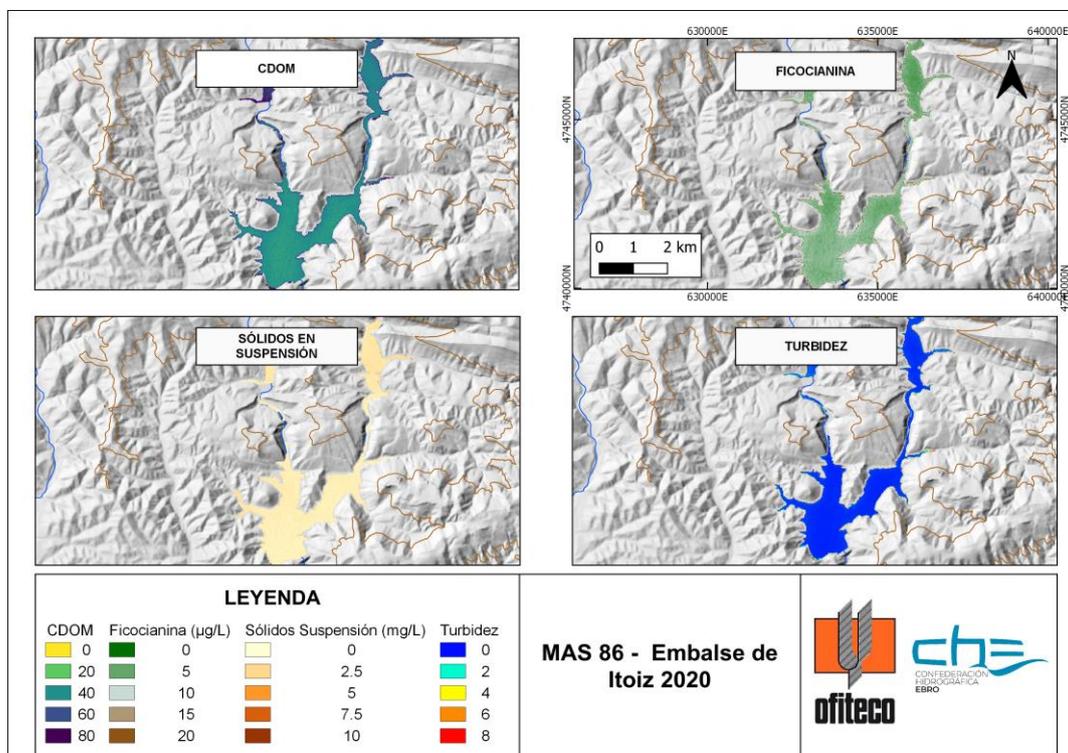


Figura 97: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Itoiz en septiembre de 2020.

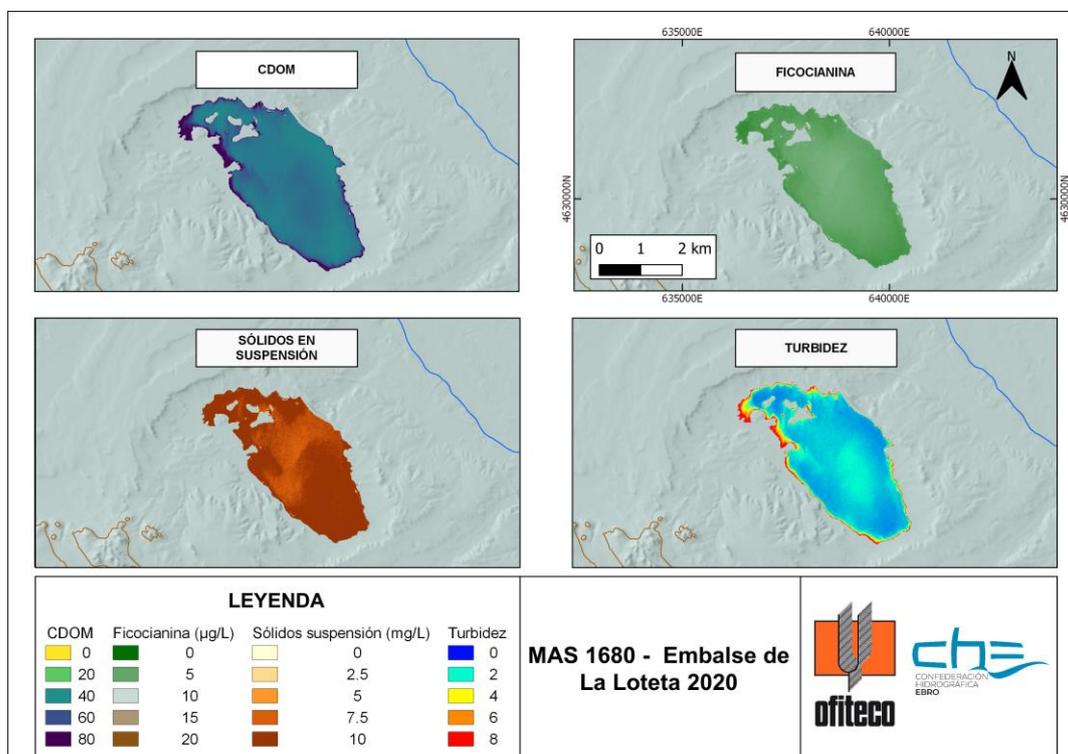


Figura 98: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Loteta en septiembre de 2020.

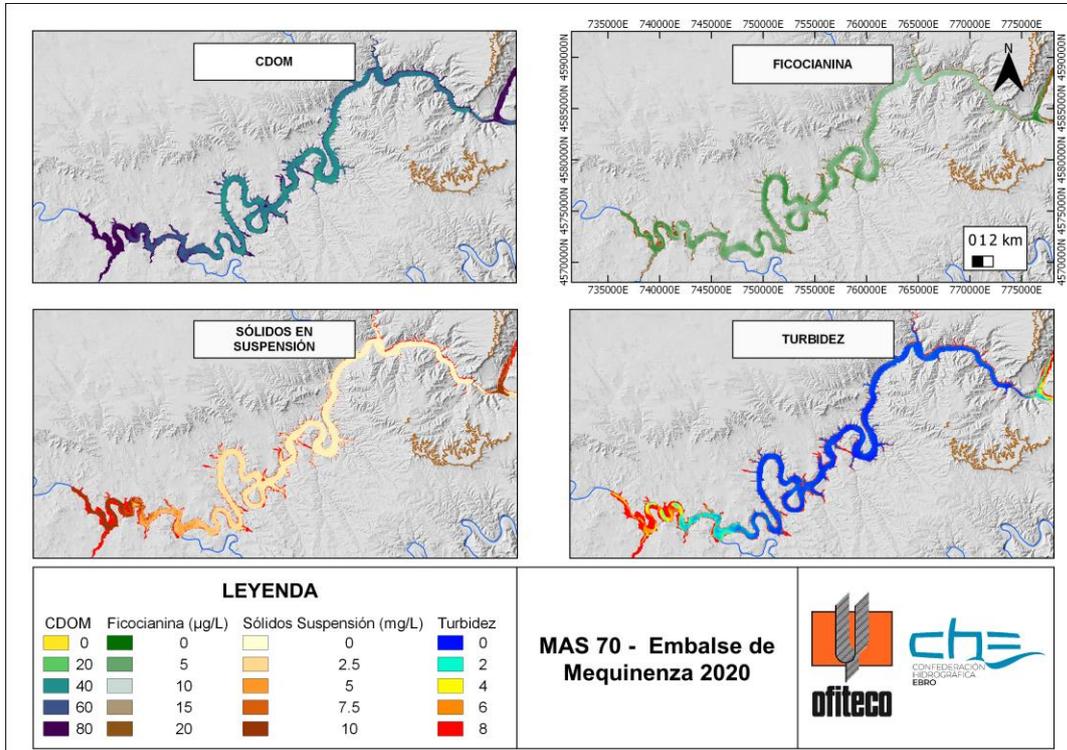


Figura 99: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Mequinenza en septiembre de 2020.

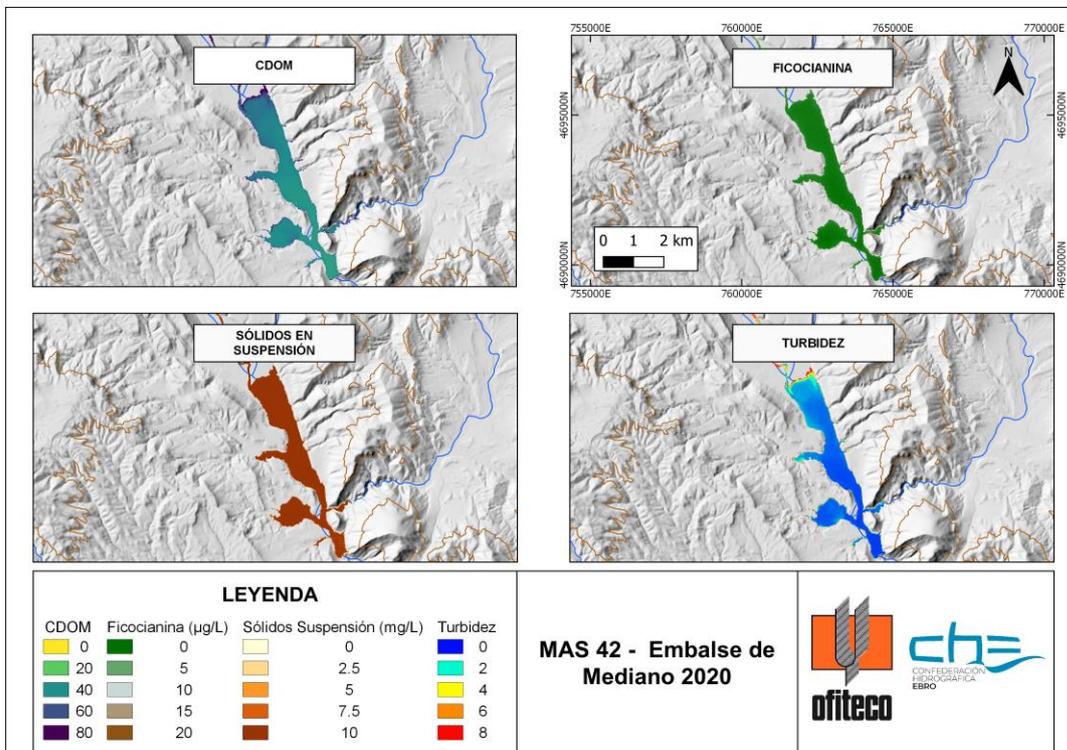


Figura 100: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Mediano en septiembre de 2020.

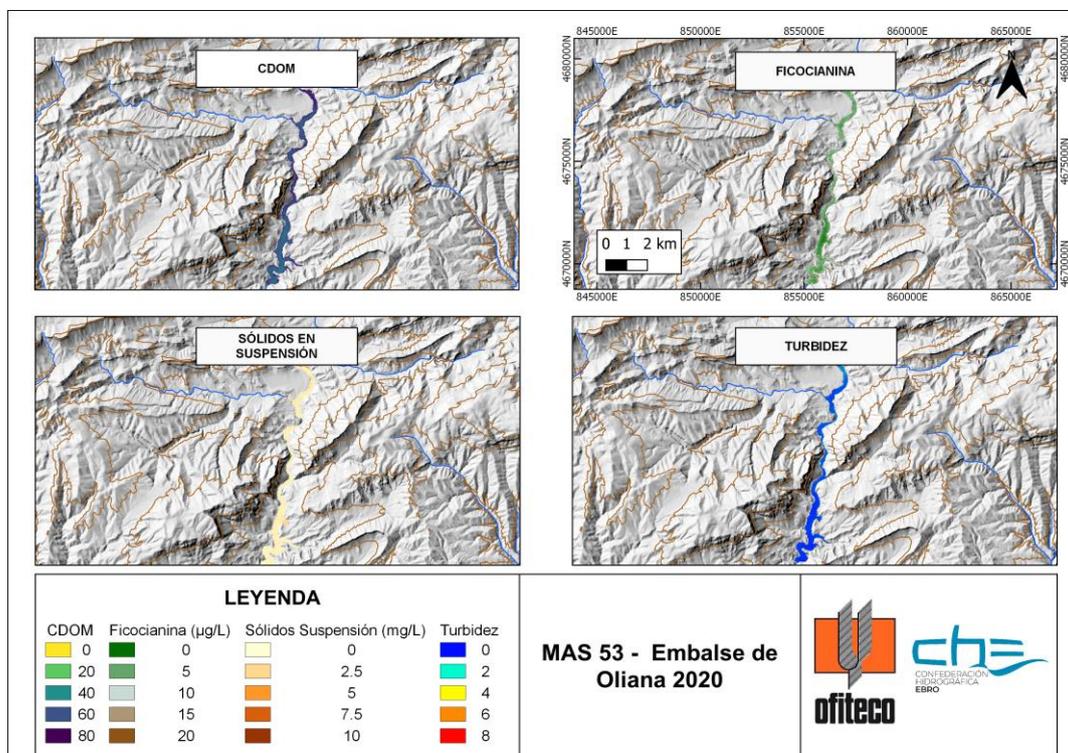


Figura 101: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Oliana en septiembre de 2020.

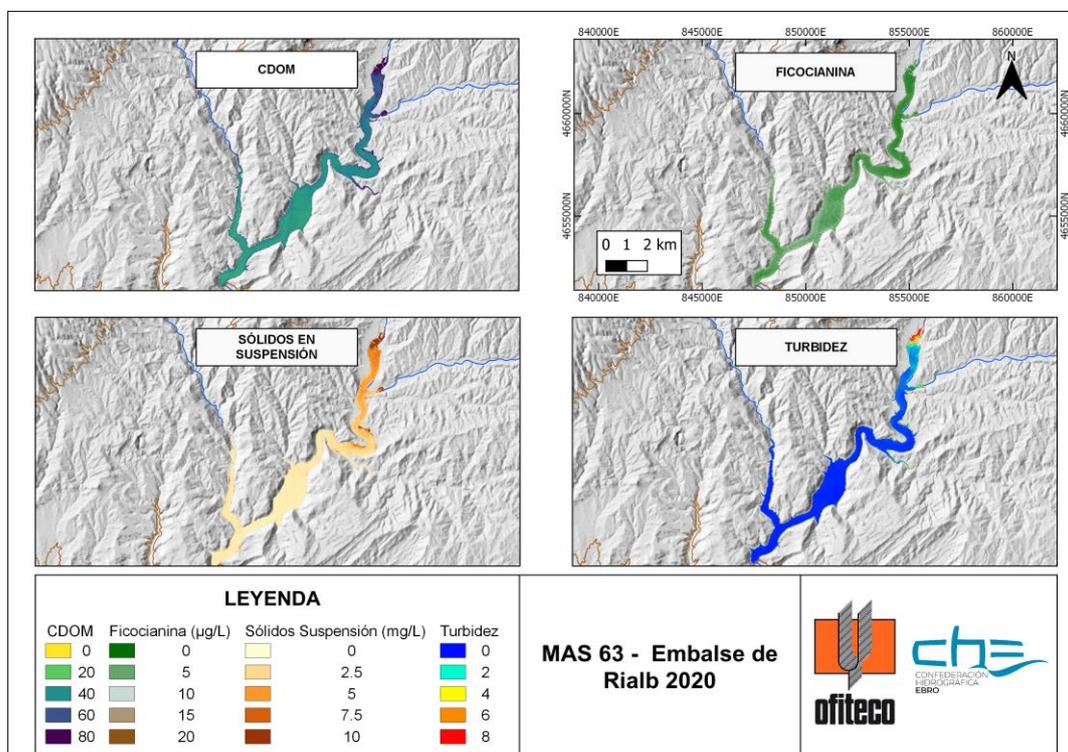


Figura 102: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Rialb en septiembre de 2020.

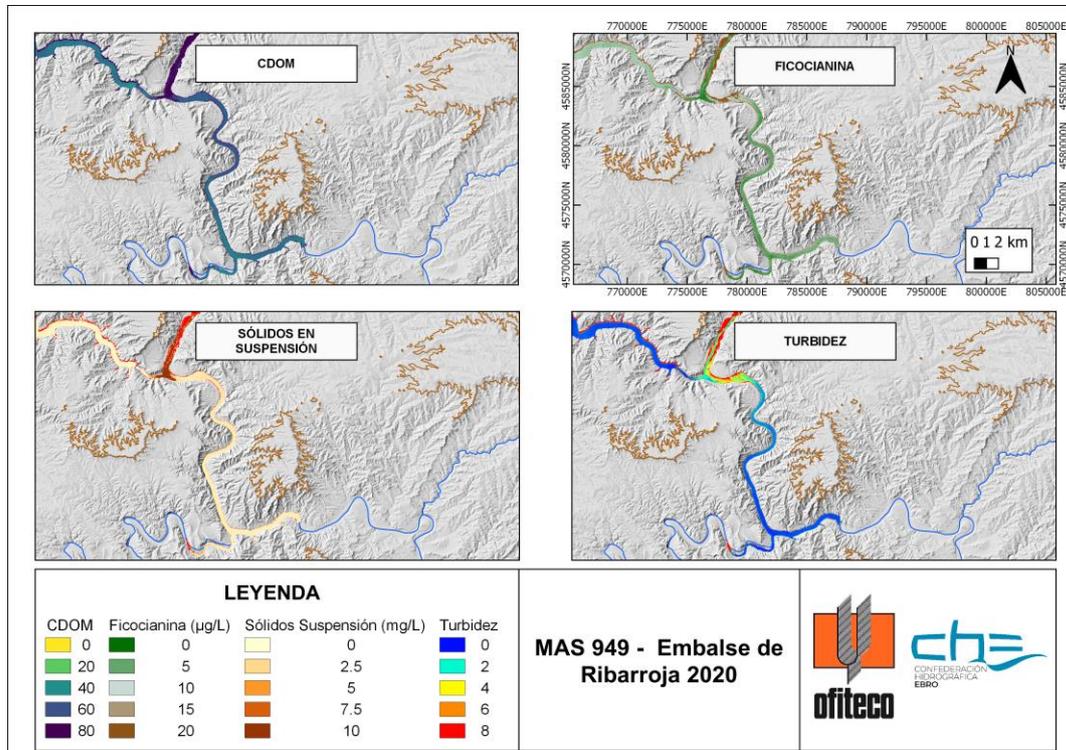


Figura 103: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Ribarroja en septiembre de 2020.

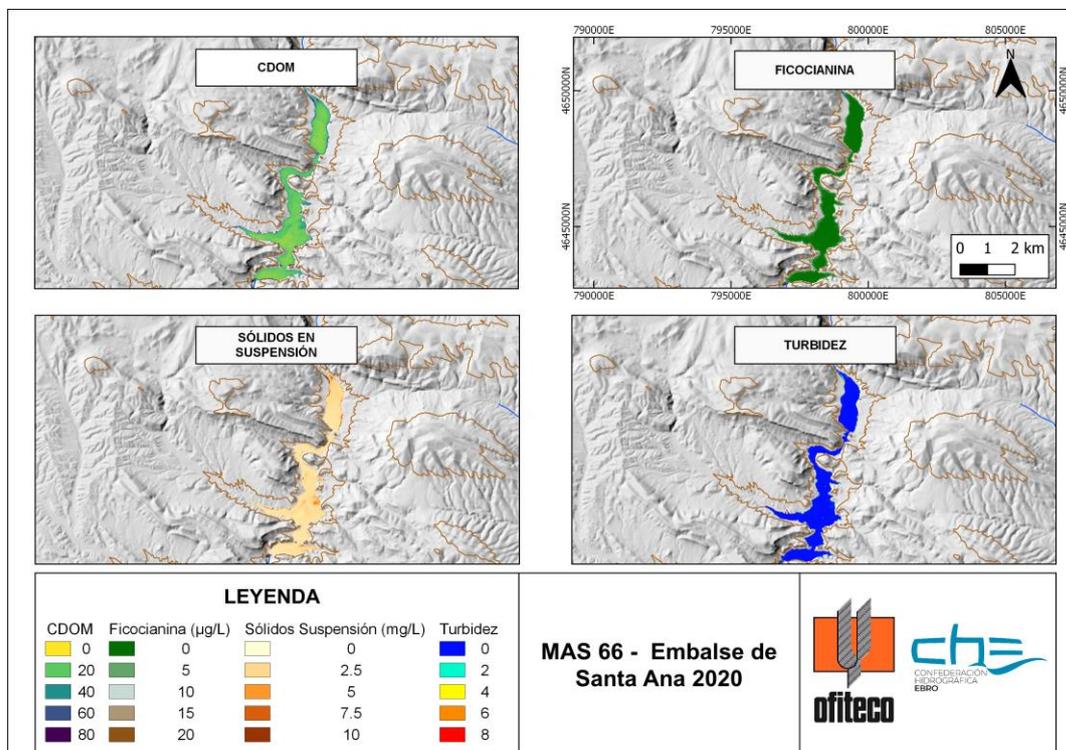


Figura 104: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Santa Ana en septiembre de 2020.

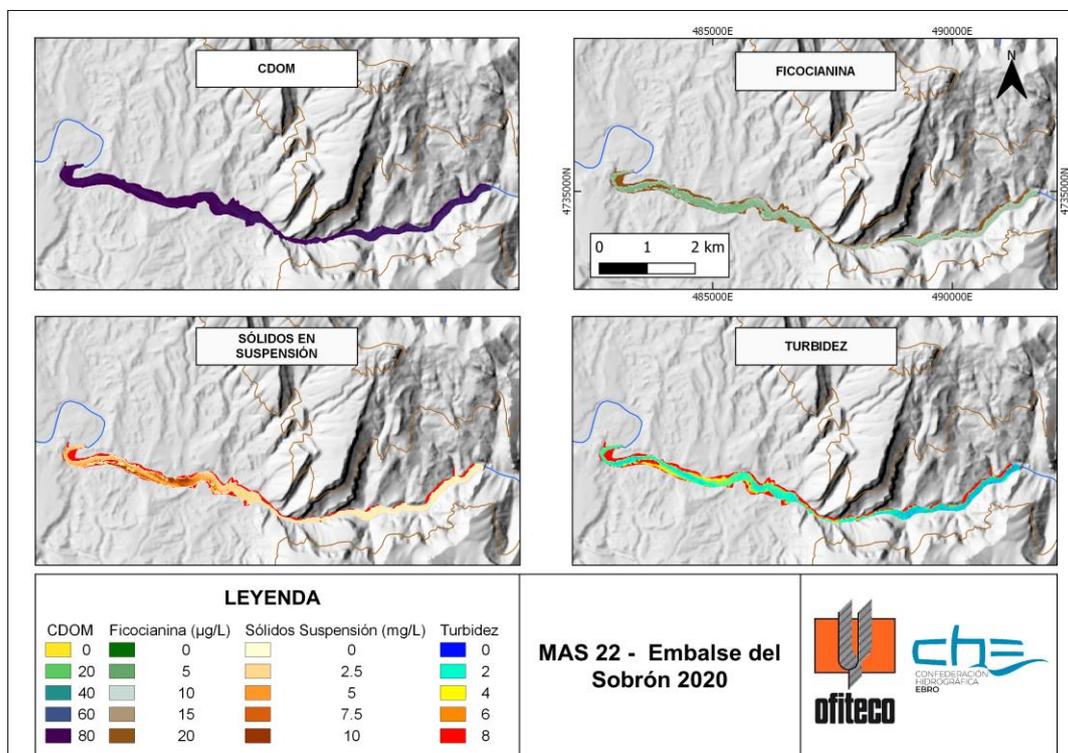


Figura 105: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse del Sobrón en septiembre de 2020.

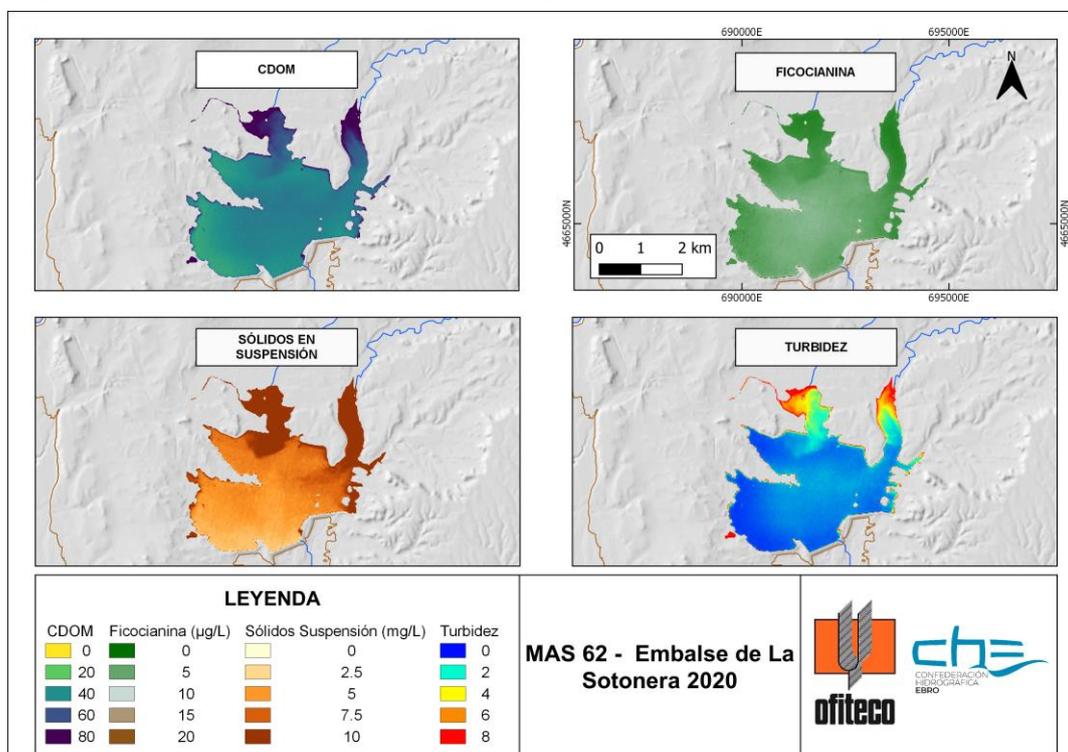


Figura 106: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Sotonera en septiembre de 2020.

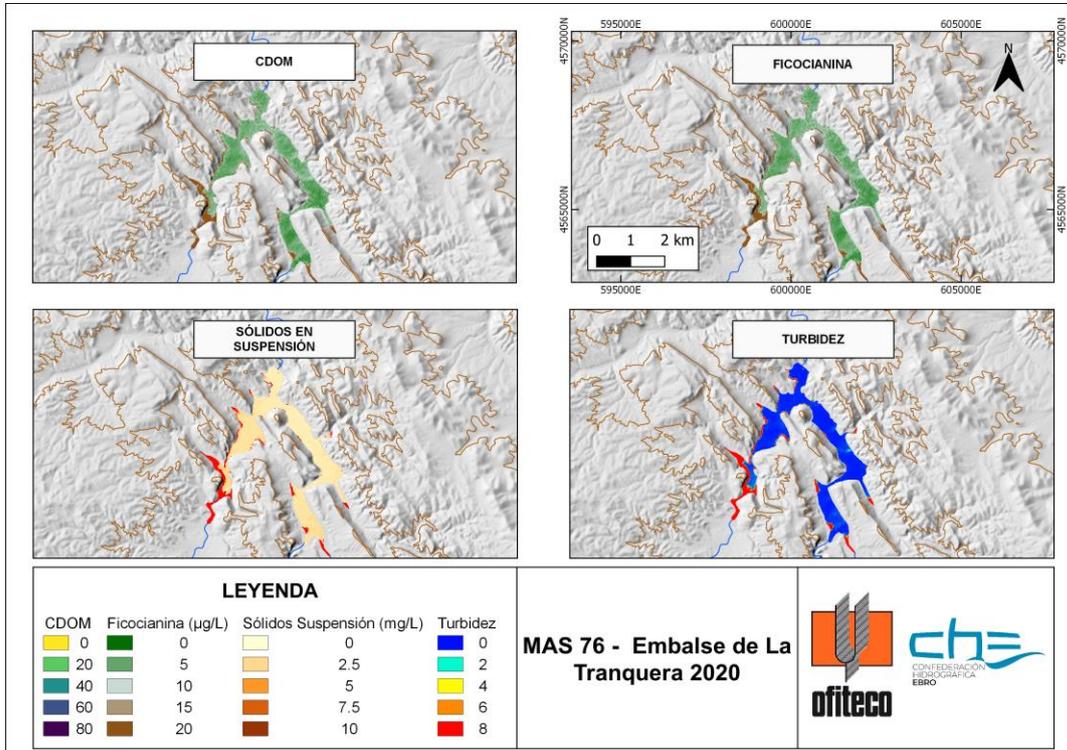


Figura 107: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de La Tranquera en septiembre de 2020.

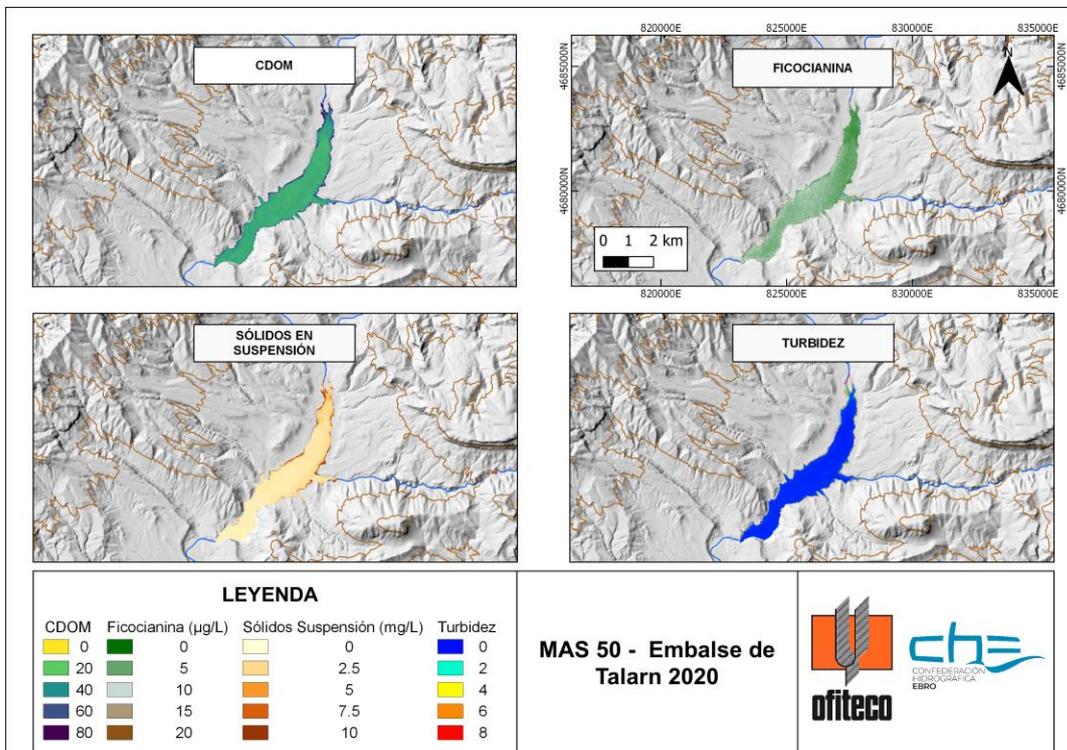


Figura 108: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Talarn en septiembre de 2020.

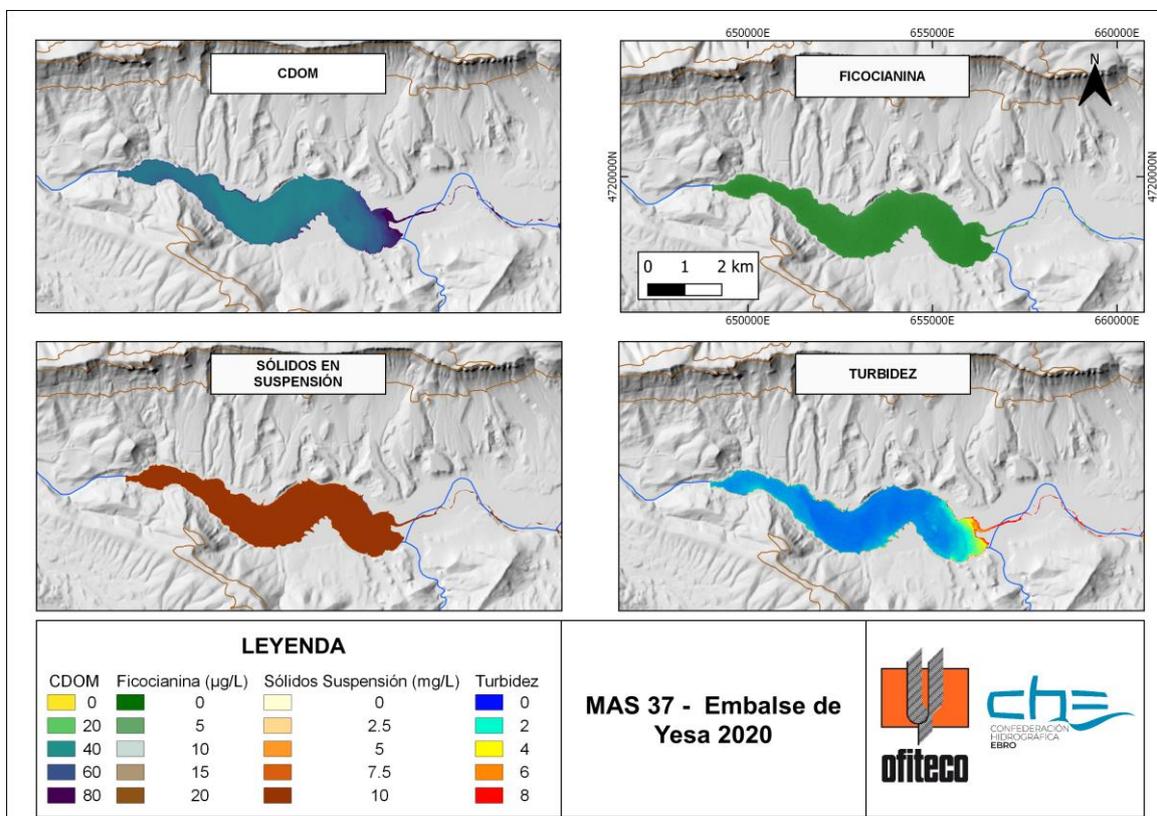


Figura 109: Mapa de los parámetros de calidad de agua del Embalse de Yesa en septiembre de 2020.



MINISTERIO
DE LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

