



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

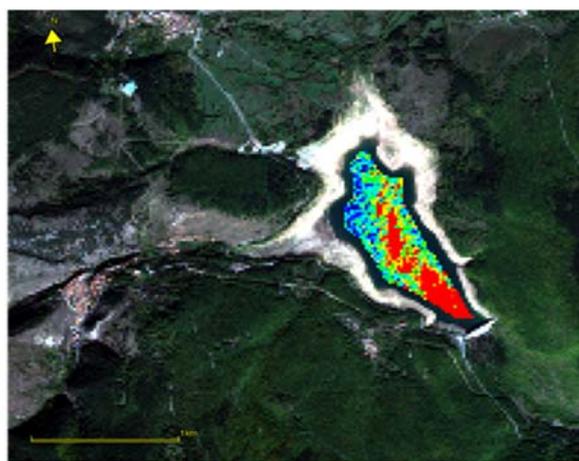
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL EBRO

2021

## SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2021

### MEMORIA



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS  
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO





## SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2021 INFORME FINAL

**PROMOTOR:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



**SERVICIO:**

Calidad de Aguas

**DIRECCIÓN DEL PROYECTO:**

María José Rodríguez Pérez

**EMPRESA CONSULTORA:**

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva

**EQUIPO DE TRABAJO:**

**Eduardo Vicente Pedrós, Juan Miguel Soria García, Xavier Sòria Perpinyà, Rebeca Pérez González**

**PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:**

44.900 Euros

**CONTENIDO:**

MEMORIA DEL INFORME

**AÑO DE EJECUCIÓN:**

2021

**FECHA ENTREGA:**

DICIEMBRE 2021



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

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

Inferior izquierda: Fitoplancton flotante en el embalse de Ortigosa en septiembre de 2021.

Inferior derecha: Imagen en falso color mostrando en color rojo las zonas de fitoplancton flotante en Ortigosa en octubre de 2021.

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2021). Seguimiento de embalses por teledetección 2021. 197 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 TELEDETECCIÓN 2021

---

*El informe presenta los resultados alcanzados en el estudio realizado en los embalses de la cuenca hidrográfica del Ebro utilizando técnicas de teledetección. El objetivo principal del estudio es aplicar ecuaciones relacionando las bandas multispectrales del satélite Sentinel-2 para estimar diferentes variables de calidad de agua. El estudio se ha realizado en un total de 119 imágenes obtenidas de 67 embalses y 8 lagos de la cuenca; algunos embalses se han observado en dos ocasiones, en julio y en septiembre de 2021. Se han utilizado ecuaciones para la estimación en la concentración de clorofila-a, sólidos en suspensión, y transparencia. Se presentan los mapas de calidad de cada embalse estudiado donde se muestra la heterogeneidad espacial. 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, realizando una comparativa entre ambas medidas.*

### ABSTRACT

---

*The report presents the results achieved in the study carried out in the reservoirs of the Ebro river basin using remote sensing techniques. The main objective of the study is to apply equations relating the multispectral bands of the Sentinel-2 satellite to estimate different water quality variables. The study has been carried out on a total of 119 images obtained from 67 reservoirs and 8 lakes in the basin; some reservoirs have been observed on two occasions, in July and September 2021. Thus, equations have been used to estimate the concentration of chlorophyll-a, suspended solids, and transparency. Quality maps are presented for each studied reservoir showing the spatial heterogeneity. In addition, the trophic status of each body of water has been estimated both with data acquired via satellite and with data from field campaigns, making a comparison between both measurements.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. <i>OBJETIVO DEL ESTUDIO.....</i>	<i>10</i>
<b>2. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>10</b>
2.1. <i>EMBALSES ESTUDIADOS .....</i>	<i>10</i>
2.2. <i>DATOS DE VARIABLES DE CAMPO .....</i>	<i>14</i>
2.3. <i>DESCARGA DE IMÁGENES .....</i>	<i>14</i>
2.4. <i>CÁLCULO DE ÍNDICES .....</i>	<i>16</i>
2.5. <i>EXTRACCIÓN DE LOS VALORES DE REFLECTIVIDAD.....</i>	<i>20</i>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
3.1. <i>TRANSPARENCIA.....</i>	<i>23</i>
3.2. <i>SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....</i>	<i>24</i>
3.3. <i>CLOROFILA-A.....</i>	<i>25</i>
3.4. <i>FICOCIANINA.....</i>	<i>27</i>
3.5. <i>CONCENTRACIÓN MATERIA ORGÁNICA CROMOFÓRICA.....</i>	<i>28</i>
<b>4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
<b>5. PROPUESTAS A MEJORAR .....</b>	<b>42</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>



## ÍNDICE ANEXOS

---

<b>ANEXO 1. FICHAS DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO 2. FICHAS DE LOS LAGOS ESTUDIADOS .....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO 3. ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE FICOCIANINA EN EL EMBALSE DE ORTIGOSA .....</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO 4. SEGUIMIENTO DE LA MATERIA EN SUSPENSIÓN EN EL BAJO EBRO .....</b>	<b>193</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Listado de embalses a estudiar en la Confederación Hidrográfica del Ebro .....	11
Tabla 2. Listado de lagos a estudiar en la Confederación Hidrográfica del Ebro .....	14
Tabla 3. Resumen de los índices propuestos para cada variable .....	20
Tabla 4. Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados .....	30
Tabla 5. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico .....	31
Tabla 6. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en embalses .....	31
Tabla 7. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en lagos .....	36

## ÍNDICE FIGURAS

---

Figura 1. Gránulos necesarios para cubrir los embalses objeto de estudio en la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Mapa oficial del IGN (Ministerio de Fomento) .....	15
Figura 2. Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: ESA .....	17
Figura 3. Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A tras aplicar la corrección atmosférica, remuestreo y recorte en el embalse del Ebro .....	21
Figura 4. Punto de extracción de valores de reflectividad próxima a la presa con su zona de influencia .....	22



Figura 5. Correlación entre el segundo índice de transparencia y los valores de transparencia tomados en campo.....	23
Figura 6. Correlación entre el resultado hallado con la herramienta C2RCC y los valores de transparencia tomados en campo.....	24
Figura 7. Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo.....	25
Figura 8. Correlación entre el resultado hallado con el índice de Shafique <i>et al.</i> , y los valores de clorofila-a tomados en campo.....	26
Figura 9. 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.....	27
Figura 10. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.....	28
Figura 11. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo.....	29
Figura 12. Concentración de clorofila-a, transparencia y materia en suspensión en el embalse de Itoiz el 18 de agosto de 2021.....	35
Figura 13. Gráfico de correlación los valores obtenidos de transparencia tomados en campo y mediante el satélite.....	38
Figura 14. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo y mediante el satélite.....	38
Figura 15. Estado trófico del embalse de La Sotonera, medidas con satélite el 19 de julio de 2021.....	40
Figura 16. Estado trófico del embalse de La Sotonera, medidas con satélite el 17 de septiembre de 2021.....	41



## 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 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 aplicar una metodología que permita conseguir en tiempo casi real mapas de calidad del agua en embalses de la cuenca, utilizando 67 embalses y 8 lagos como masas de agua de referencia para este estudio (seleccionando aquellos con una superficie adecuada para el estudio en la cuenca del Ebro con disponibilidad de imágenes y datos de campo). 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 durante 2021), con las imágenes generadas por los sensores remotos.

Además, se ha realizado el seguimiento de la presencia de fitoplancton potencialmente tóxico siendo el caso de estudio el embalse de Ortigosa en otoño de 2021, cuando se observó un crecimiento importante de fitoplancton flotante.

Por último, se ha realizado el seguimiento de la presencia de la materia en suspensión en el tramo bajo del Ebro, desde el embalse de Mequinenza hasta la desembocadura en el periodo de lluvias intensas de diciembre de 2021.

## 2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

### 2.1. EMBALSES ESTUDIADOS

La zona de estudio se focaliza en los embalses más representativos de la cuenca 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 67 embalses y 8 lagos sobre los que se efectuará el seguimiento de calidad de la masa de agua. Se ha descartado algunos embalses a pesar de tener datos de campo por su tamaño inadecuado para el estudio, como los embalses de Sabiñánigo, El Cortijo y Sopeira. En cuanto a los lagos, también se han descartado muchos de ellos por su escaso tamaño y dificultad de localización. En la siguiente Tabla 1 se muestra en detalle el listado de los embalses objeto de este trabajo y en la Tabla 2 la lista de los lagos estudiados.



**Tabla 1. Listado de embalses a estudiar en la Confederación 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
2	Embalse de Urrúnaga	Villarreal de Álava (Álava)	País Vasco
4	Embalse de Irabia	Orbaitzeta (Navarra)	Navarra
5	Embalse de Albiña	Villarreal de Álava (Álava)	País Vasco
6	Embalse de Eugui	Esteribar (Navarra)	Navarra
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	Elburgo (Álava)	País Vasco
19	Embalse de Lanuza	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
22	Embalse de Sobrón	Lantarón (Álava) y Bozoo (Burgos)	País Vasco-C.León
25	Embalse de Búbal	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
27	Embalse de Alloz	Guesálaz (Navarra)	Navarra
34	Embalse de Baserca	Montanuy (Huesca)	Aragón
37	Embalse de Yesa	Yesa (Navarra) y Artieda (Zaragoza)	Navarra-Aragón
42	Embalse de Mediano	La Fueva (Huesca)	Aragón
43	Embalse de Escales	Sopeira (Huesca) y El Pont de Suert (Lleida)	Aragón-Cataluña
44	Embalse de La Peña	Las Peñas de Riglos (Huesca)	Aragón
47	Embalse de El Grado I	El Grado (Huesca)	Aragón
50	Embalse de Talarn (Trepmp o San Antonio)	Talarn (Lleida)	Cataluña
51	Embalse de Vadiello	Loporzano (Huesca)	Aragón
53	Embalse de Oliana	Coll de Nargó (Lleida)	Cataluña
54	Embalse de Montearagón	Loporzano (Huesca)	Aragón
55	Embalse de Ardisa	Ardisa (Zaragoza)	Aragón



CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	PROVINCIA	CC.AA.
56	Embalse de Barasona	Graus (Huesca)	Aragón
58	Embalse de Canelles	Estopiñán del Castillo (Huesca) y Áger (Lleida)	Aragón-Cataluña
59	Embalse de Terradets	Llimiana (Lleida)	Cataluña
61	Embalse de Mansilla	Mansilla y Vilavelayo (La Rioja)	La Rioja
62	Embalse de La Sotenera	Alcalá de Gurrea (Huesca)	Aragón
63	Embalse de Rialb	Tiurana (Lleida)	Cataluña
64	Embalse de Pajares	Lumbreras (La Rioja)	La Rioja
65	Embalse de Camarasa	Camarasa (Lleida)	Cataluña
66	Embalse de Santa Ana	Castillonroy (Huesca)	Aragón
67	Embalse de San Lorenzo	Sant Llorenç de Mongay (Lleida)	Cataluña
68	Embalse de El Val	Los Fayos (Zaragoza)	Aragón
70	Embalse de Mequinenza	Mequinenza (Zaragoza)	Aragón
71	Embalse de Mezalocha	Mezalocha (Zaragoza)	Aragón
72	Embalse de Margalef	Margalef (Tarragona)	Cataluña
73	Embalse de Ciurana	Cornudella de Montsant (Tarragona)	Cataluña
74	Embalse de Flix	Flix (Tarragona)	Cataluña
75	Embalse de las Torcas	Tosos (Zaragoza)	Aragón
76	Embalse de la Tranquera	Carenas (Zaragoza)	Aragón
77	Embalse de Moneva	Moneva (Zaragoza)	Aragón
78	Embalse de Caspe	Alcañiz (Zaragoza)	Aragón
79	Embalse de Guiamets	Els Guiamets (Tarragona)	Cataluña
80	Embalse de Cueva Foradada	Oliete (Teruel)	Aragón
82	Embalse de Calanda	Calanda (Teruel)	Aragón
85	Embalse de Santolea	Castellote (Teruel)	Aragón



CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	PROVINCIA	CC.AA.
86	Embalse de Itoiz	Lónguida (Navarra)	Navarra
87	Embalse de Lechago	Calamocha (Teruel)	Aragón
913	Embalse de Gallipué	Berge (Teruel)	Aragón
916	Embalse de Ortigosa	Ortigosa de Cameros (La Rioja)	La Rioja
949	Embalse de Ribarroja	Riba-Roja d'Ebre (Tarragona)	Cataluña
986	Embalse de Brachimaña Alto	Panticosa (Huesca)	Aragón
1002	Embalse de Tramacastilla	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
1003	Embalse de Ip	Canfranc (Huesca)	Aragón
1020	Llac Major de Colomers	Arties (Lérida)	Cataluña
1022	La Estanca de Alcañiz	Alcañiz (Zaragoza)	Aragón
1023	Embalse de Llauset	Montanuy (Huesca)	Aragón
1033	Embalse de Respomuso	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
1039	Embalse de Brazato	Panticosa (Huesca)	Aragón
1043	Estany de Cavallers	Vall de Boí (Lérida)	Cataluña
1049	Embalse de Balaguer	Camarasa (Lérida)	Cataluña
1051	Embalse de Escarra	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
1052	Embalse de Sallente	Torre de Cabdella (Lérida)	Cataluña
1679	Embalse de Utchesa Seca	Torres de Segre (Lérida)	Cataluña
1680	Embalse de La Loteta	Magallón (Zaragoza)	Aragón
1681	Embalse de Monteagudo	Monteagudo de las Vicarías (Soria)	Castilla y León
1804	Embalse de Maidevera	Pomer (Zaragoza)	Aragón
1807	Embalse de San Salvador	Binaced (Zaragoza)	Aragón



En cuanto a los lagos considerados en el estudio, se relacionan en la Tabla 2, a continuación.

**Tabla 2. Listado de lagos a estudiar en la Confederación Hidrográfica del Ebro.**

CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	PROVINCIA	CC.AA.
L5001	Lago de Urdiceto	Bielsa (Huesca)	Aragón
L5008	Estany Negre (Espot)	Espot (Lérida)	Cataluña
L5016	Laguna de Pitillas	Pitillas (Navarra)	Navarra
L5019	Lago de Arreo	Lantarón (Álava)	País vasco
L5027	Lago de Marboré	Sobrarbe (Huesca)	Aragón
L5970	Lac Redon	Viella (Lérida)	Cataluña
L5983	Ibón de Cregüña	Benasque (Huesca)	Aragón
L5990	Laguna Salada de Chiprana	Chiprana (Zaragoza)	Aragón

## 2.2. DATOS DE VARIABLES DE CAMPO

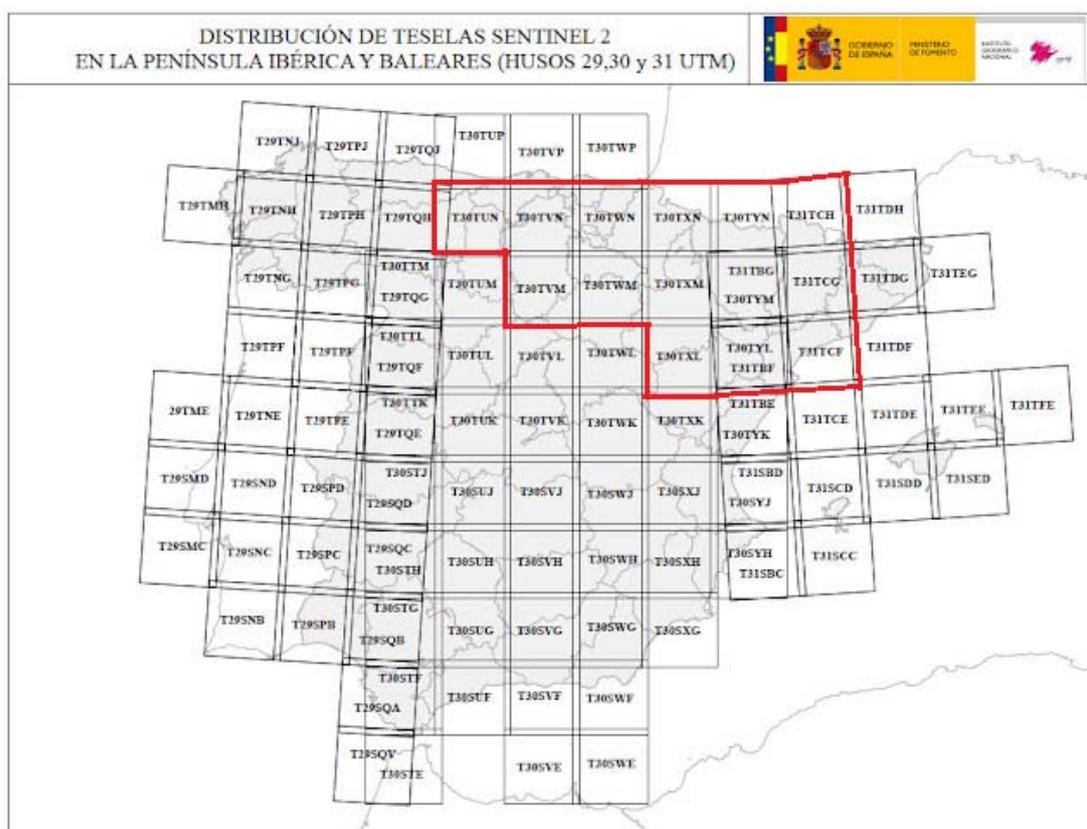
Los datos utilizados para relacionar las variables de calidad medidas en cada embalse con las mediciones obtenidas de las imágenes de satélite se han obtenido de las bases de datos de la Demarcación del Ebro de los muestreos de los diferentes trabajos de seguimiento de la calidad en embalses del año 2021. También se ha utilizado los datos de los embalses obtenidos en el estudio de 2020 para utilizar inicialmente las ecuaciones validadas y analizar las concordancias de valores obtenidos.

## 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 embalses y lagos de estudio se necesitan trece cuadrículas UTM diferentes, es decir, trece imágenes distintas.

Los gránulos utilizados son los siguientes: T30TVN, T30TWN, T30TXN, T31TBH, T31TCH, T30TVM, T30TWM, T30TXM, T31TBG, T31TCG, T30TXL, T30TBF y T30TCF.



**Figura 1. Gránulos necesarios para cubrir los embalses objeto de estudio en la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Mapa oficial del IGN (Ministerio de Fomento).**

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 C2RCC del software SNAP, utilizando la opción de aguas tipo 2 extremo llamada C2X, que son las correspondientes a aguas interiores. Este es programa informático proporcionado por 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 sobres 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. Los valores de radiación BOA son los que normalmente podemos medir con un instrumento en la superficie de la masa de agua, y verificar que el sistema de corrección utilizado funciona adecuadamente.

Además, C2RCC utiliza el algoritmo SLC (Scene Classification), el cual genera un mapa de clasificación con 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, permitiendo obtener mapas en falso color con diversas utilidades, como clasificar zonas de agua y tierra; tipos de vegetación y otras utilidades.

## 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 3).



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 2. Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: ESA**

Para determinar el estado trófico de las masas de agua, se deben estudiar diferentes variables de calidad que tengan una alta reflectividad en el agua. Para su estimación existen diferentes índices que relacionan las bandas de reflectividad con dichas variables. Aquellas que se pueden estudiar con imágenes satelitales en general 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 (CDOM).

En nuestro caso se van a estimar tres variables con interés para conocer el estado trófico: la transparencia del agua, la concentración de clorofila-a y la materia suspendida



(aunque esta última variable no se utiliza en la estimación del estado trófico, sí que tiene interés por su relación con las otras dos variables). En algunos trabajos en concreto también se utiliza la medida de concentración de ficocianina, indicador de la presencia de fitoplancton con cianobacterias.

#### **2.4.1. 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.

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

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.

#### **2.4.2. 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

---

Pereira-Sandoval *et al.*, "Calibration and Validation of Algorithms for the Estimation of Chlorophyll-A in Inland Waters with Sentinel-2," IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 2018, pp. 9276-9279, doi: 10.1109/IGARSS.2018.8517371.



(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.

#### 2.4.3. 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.

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

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.

#### 2.4.4. 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.

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

A continuación, se muestra en la tabla 3 todos los índices mencionados anteriormente para cada uno de las variables objeto de estudio.

**Tabla 3. Resumen de los índices propuestos para cada variable.**

Parámetro	Índice	Autor
Transparencia	$\frac{R(490)}{R(705)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> , 2018
	$\frac{R(490)}{R(560)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> , 2018
Sólidos en Suspensión	$R(842) - R(665)$	Carmiña, 2017
	$R(705)$ cuando $< 20 \text{ mg/L}$	ISO-11923-1997
	$\frac{R(783)}{R(490)}$ cuando $> 20 \text{ mg/L}$	
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

## 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

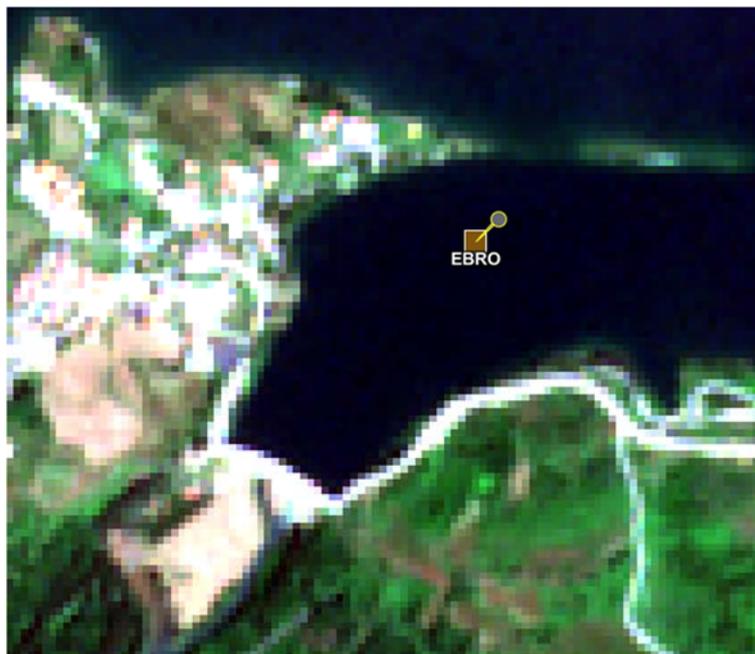


las coordenadas UTM a geográficas WGS 84 para que ubique correctamente la localización exacta. Las coordenadas se introducen a través de la ventana “*Pin Manager*”.

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 siguiente figura 3 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 4 se muestra la zona de influencia en la extracción de valores de reflectividad en las coordenadas de la toma de campo.



**Figura 3. Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A tras aplicar la corrección atmosférica, remuestreo y recorte en el embalse del Ebro.**



**Figura 4. 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 utilizaron 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.

Por medio 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 medida real obtenidos en cada masa de agua y los estimados por imágenes del satélite. 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 una de las variables estudiadas.

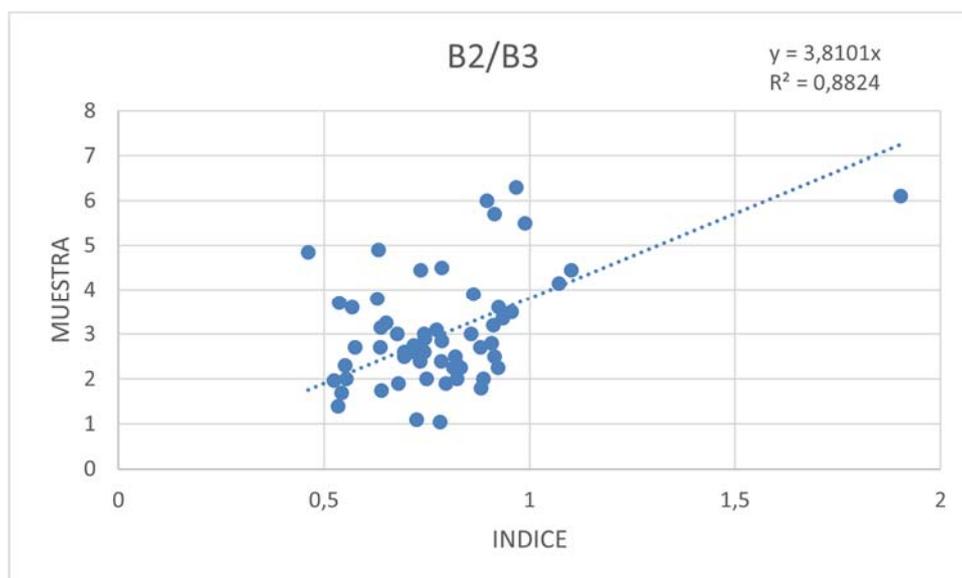
### 3.1. TRANSPARENCIA

Se ha contado con un total de 115 datos de campo de este parámetro entre todos los embalses y lagos teniendo una variación de valores entre 0,20 metros, siendo el valor mínimo en el Galacho de Juslibol, y 22,0 metros en el estany Negre de Espot, siendo éste el valor máximo. Los datos de 16 lagos y dos embalses (Sabiñánigo y El Cortijo) no se han utilizado porque su tamaño o configuración no permitían el uso de medidas de satélite.

El índice utilizado ha mostrado en 2020 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:

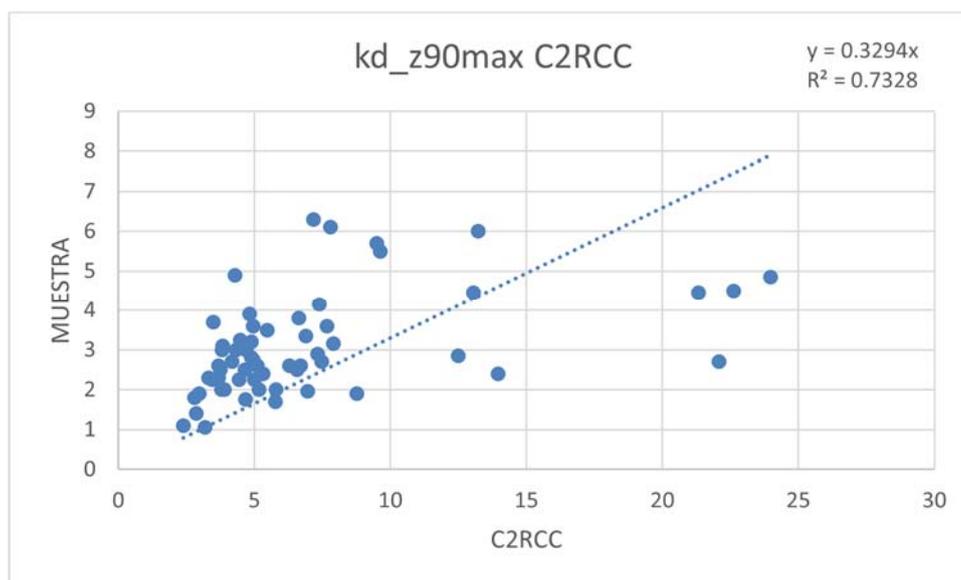
$$y = 3,8101x \left(\frac{B2}{B3}\right) \quad (11)$$

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



**Figura 5. 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 6. 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 cuenca. 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.

### 3.2. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para el estudio de esta variable no se ha utilizado los datos de campo.

De acuerdo con los trabajos de 2020, 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 fueron los mejores, con un  $R^2=0,70$  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.

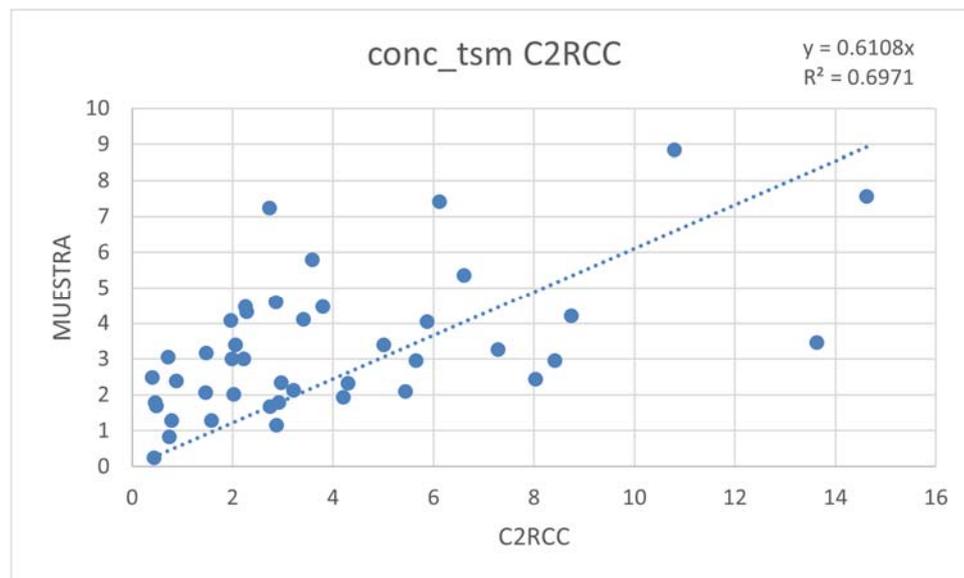


Figura 7. Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo.

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.

### 3.3. CLOROFILA-A

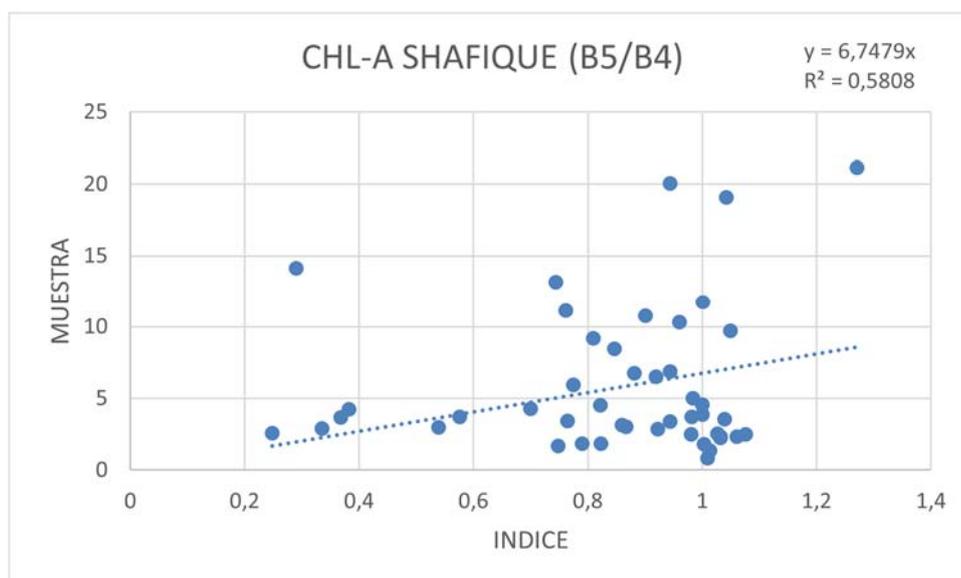
En el estudio de este parámetro se ha realizado con un total de 25 datos en embalses y dos en lagos. El rango de valores entre 0,50 y 38,90  $\mu\text{g/L}$  en los embalses de Alloz y El Val respectivamente, y un valor medio es de 4,90  $\mu\text{g/L}$ .

Se utilizaron tres métodos distintos para la calibración de la clorofila-a en 2020. 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 8. 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, además de que se utilizaba otro sistema de corrección atmosférica, por lo que no sería de aplicación en nuestro caso.

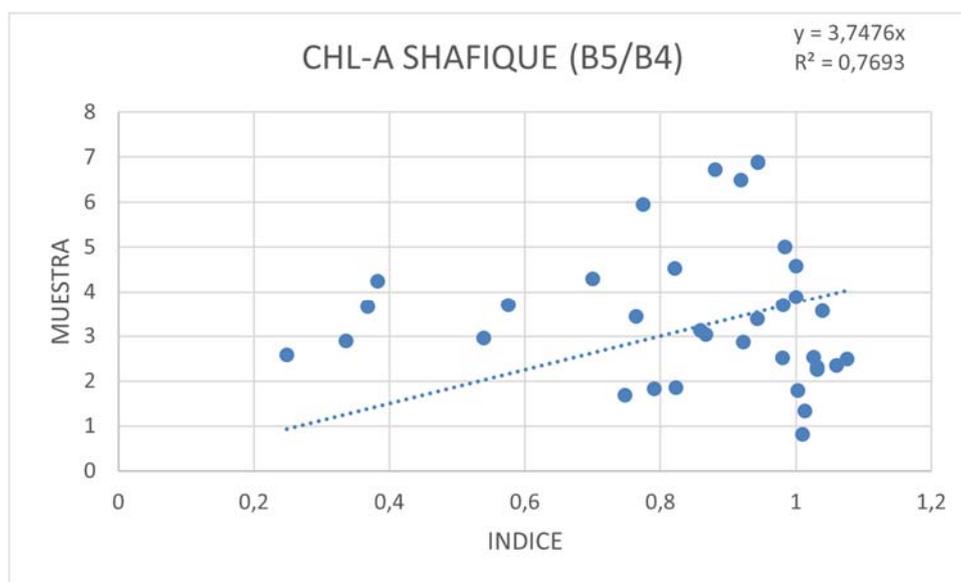
Por último, se ha utilizado al igual que los parámetros de transparencia y concentración de sólidos en suspensión, la herramienta C2RCC de SNAP. Se obtuvo una correlación de  $R^2=0,35$ , que sin ser mala sigue siendo bastante inferior al primer método utilizado.

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.

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 9. Correlación entre el resultado hallado en la recalibración para concentraciones inferiores e iguales a 7  $\mu\text{g/L}$  y los valores de clorofila-a tomados en campo.**

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.

### 3.4. FICOCIANINA

Esta variable ha sido calibrada 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  $\text{mg/m}^3$  respectivamente, siendo el valor máximo medido en el embalse de La Tranquera. El valor promedio de las medidas es de 7,5  $\text{mg/m}^3$ .

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.

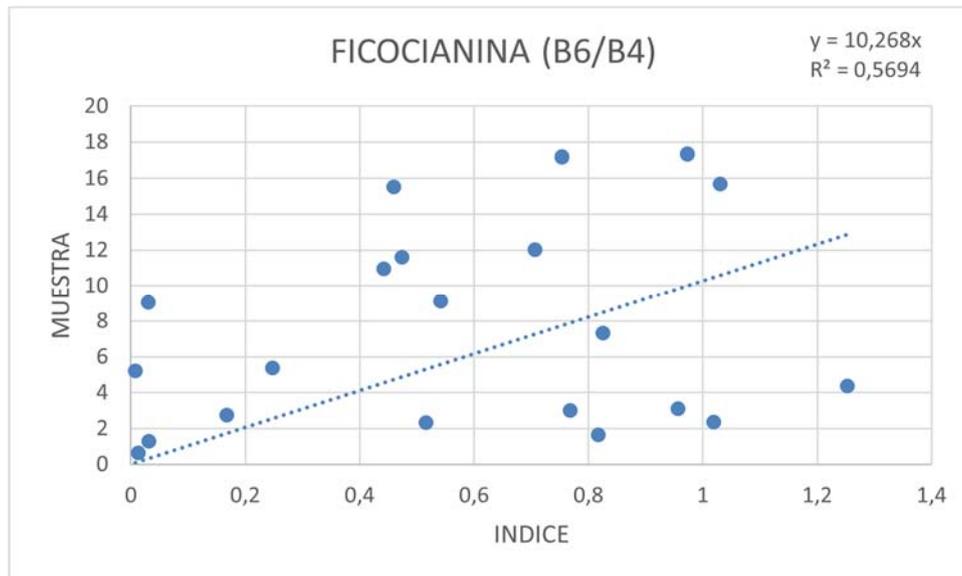


Figura 10. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.

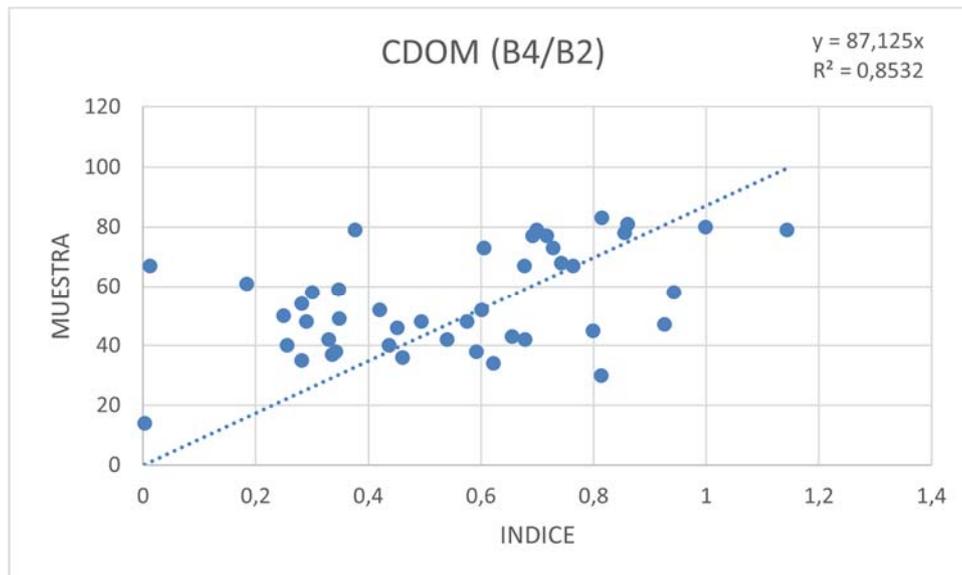
### 3.5. MATERIA ORGANICA CROMOFORICA DISUELTA

Esta variable abreviada como CDOM ha sido calibrada 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 11. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo.**

Los valores de ficocianina se utilizaron en el estudio detallado del embalse de Ortigosa (ver anexo 3). Sin embargo, en las imágenes de 2021 no se ha procesado el cálculo del CDOM.



**Tabla 4. Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados.**

Variable	Ecuación Calibrada	Correlación (R <sup>2</sup> )
Transparencia	$y = 3,81 x \left(\frac{B2}{B3}\right)$	R <sup>2</sup> =0,88
Turbidez	$y = 86,91 x \left(\frac{B5^2}{B2}\right)$	R <sup>2</sup> =0,37
Sólidos en suspensión	<i>Herramienta C2RCC</i>	R <sup>2</sup> =0,70
Clorofila-a	$y = 3,74 x \left(\frac{B5}{B4}\right)$	R <sup>2</sup> =0,77
Ficocianina	$y = 10,27 x \left(\frac{B6}{B4}\right)$	R <sup>2</sup> =0,57
CDOM	$y = 87,13 x \left(\frac{B4}{B2}\right)$	R <sup>2</sup> =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 2021.

Los resultados obtenidos en los trabajos de campo realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro durante 2021 se han tabulado a continuación, presentando a su vez los valores obtenidos mediante el estudio de teledetección; esto nos permite realizar una comparativa visual de las diferencias existentes entre ambas metodologías.

En la medida de transparencia del agua se han utilizado 86 medidas de campo; en 19 embalses no se obtuvieron medidas de campo. En el caso de la clorofila, el número de medidas ha sido de 24, en general correspondientes sólo al segundo muestreo del año realizado en el mes de septiembre; sólo el embalse de La Sotonera tuvo medida de clorofila en el mes de julio.

Mediante las imágenes del satélite se han obtenido los datos en los 105 casos considerados para el estudio, incluyendo los embalses donde no se han tomado datos de campo este año 2021, para las dos variables que se utilizan para evaluar el estado trófico.

Los rangos de calidad aplicables al estado trófico de los embalses y lagos de acuerdo con el Real Decreto son los siguientes:



**Tabla 5.** Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.

Parámetros   Estado	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Disco de Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
Clorofila a (µg/L) epilimnion	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6, donde se utilizan los colores normalizados para indicar el estado trófico.

**Tabla 6.** Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en las variables transparencia del agua medida por la profundidad de visión del disco de Secchi (en metros) y la concentración de clorofila a (en microgramos por litro). El color de la celda indica la gradación de mejor estado (azul) a peor estado (rojo).

PUNTO	NOMBRE	Fecha		Disco de Secchi		Clorofila a	
		CAMPO	SENTINEL	CAMPO	SAT	CAMPO	SAT
E4001	Embalse del Ebro	13/07/2021	10/07/2021	2,44	3,97		2,43
E4001	Embalse del Ebro	07/09/2021	29/08/2021	3,03	3,42	2,03	2,97
E4002	Embalse de Urrúnaga	14/07/2021	17/07/2021	3,34	8,57		1,11
E4002	Embalse de Urrúnaga	07/09/2021	31/08/2021	1,94	4,28	3,29	2,60
E4004	Embalse de Irabia	15/07/2021	17/07/2021	3,14	12,52		1,70
E4004	Embalse de Irabia	09/09/2021	31/08/2021	3,14	11,40	2,51	1,93
E4005	Embalse de Albiña	14/07/2021	17/07/2021	4,16	12,44		1,69
E4005	Embalse de Albiña	08/09/2021	31/08/2021	3,42	5,39	1,55	2,39
E4006	Embalse de Eugui	15/07/2021	17/07/2021	4,41	10,55		1,77
E4006	Embalse de Eugui	09/09/2021	05/09/2021	2,99	9,90	2,36	1,14
E4007	Embalse de Ullivarri-Gamboa	13/07/2021	17/07/2021	2,96	5,34		1,14
E4007	Embalse de Ullivarri-Gamboa	08/09/2021	31/08/2021	2,82	2,76	2,93	3,03
E4019	Embalse de Lanuza	21/07/2021	19/07/2021	10,00	7,76		2,13
E4019	Embalse de Lanuza	23/09/2021	17/09/2021	1,00	0,71		9,50
E4022	Embalse de Sobrón	13/07/2021	10/07/2021	1,19	3,69		3,73
E4022	Embalse de Sobrón	07/09/2021	29/08/2021	1,85	1,35	13,10	7,85
E4025	Embalse de Búbal	21/07/2021	19/07/2021	7,00	5,35		2,26
E4025	Embalse de Búbal	23/09/2021	17/09/2021	1,10	1,17		11,51
E4027	Embalse de Alloz	14/07/2021	17/07/2021	2,12	6,33		3,21
E4027	Embalse de Alloz	08/09/2021	31/08/2021	1,12	2,66	0,50	2,39
E4034	Embalse de Baserca		19/07/2021		14,86		1,08
E4037	Embalse de Yesa	16/07/2021	17/07/2021	3,24	6,64		2,96
E4037	Embalse de Yesa	15/09/2021	05/09/2021	1,57	3,60	1,93	5,23
E4042	Embalse de Mediano		19/07/2021		3,55		4,30
E4043	Embalse de Escales		19/07/2021		10,95		1,50
E4044	Embalse de La Peña	20/07/2021	17/07/2021	1,55	1,37		8,31



PUNTO	NOMBRE	Fecha		Disco de Secchi		Clorofila a	
		CAMPO	SENTINEL	CAMPO	SAT	CAMPO	SAT
E4044	Embalse de La Peña	22/09/2021	17/09/2021	0,70	1,80		9,42
E4047	Embalse de Grado		19/07/2021		8,69		2,04
E4050	Embalse de Tarn		19/07/2021		7,63		1,78
E4051	Embalse de Vadiello	20/07/2021	19/07/2021	4,73	8,57		2,55
E4051	Embalse de Vadiello	14/09/2021	17/09/2021	2,65	5,13	4,72	6,93
E4053	Embalse de Oliana	19/07/2021	19/07/2021	1,55	1,90		7,71
E4053	Embalse de Oliana	20/09/2021	19/09/2021	4,30	3,50		3,61
E4054	Embalse de Montearagón	20/07/2021	19/07/2021	1,59	1,64		9,00
E4054	Embalse de Montearagón	14/09/2021	17/09/2021	1,31	1,34	1,06	8,42
E4055	Embalse de Ardisa	20/07/2021	17/07/2021	0,57	0,70		8,12
E4055	Embalse de Ardisa	14/09/2021	17/09/2021	0,36	1,62	3,17	7,16
E4056	Embalse de Barasona		19/07/2021		4,05		4,21
E4058	Embalse de Canelles		19/07/2021		4,97		3,54
E4059	Embalse de Terradets		19/07/2021		1,84		8,04
E4061	Embalse de Mansilla	12/07/2021	22/07/2021	3,85	8,14		2,16
E4061	Embalse de Mansilla	06/09/2021	31/08/2021	2,69	5,46	1,87	2,67
E4062	Embalse de La Sotonera	20/07/2021	19/07/2021	2,04	1,83	2,28	6,77
E4062	Embalse de La Sotonera	14/09/2021	17/09/2021	1,01	0,80	1,66	4,31
E4063	Embalse de Rialb	26/07/2021	13/08/2021	2,80	2,74		2,36
E4063	Embalse de Rialb	28/09/2021	19/09/2021	3,00	1,58		6,28
E4064	Embalse de Pajares		17/07/2021		17,16		0,95
E4065	Embalse de Camarasa		19/07/2021		7,94		0,83
E4066	Embalse de Santa Ana		19/07/2021		3,91		3,47
E4067	Embalse de San Lorenzo	26/07/2021	11/08/2021	2,35	4,36		2,56
E4067	Embalse de San Lorenzo	28/09/2021	27/09/2021	1,70	2,56		3,62
E4068	Embalse de El Val	16/07/2021	22/07/2021	1,72	2,20		4,08
E4068	Embalse de El Val	10/09/2021	31/08/2021	1,53	0,53	38,90	49,21
E4070	Embalse de Mequinenza	22/07/2021	19/07/2021	5,15	2,30		2,50
E4070	Embalse de Mequinenza	28/09/2021	27/09/2021	4,30	3,51		4,09
E4071	Embalse de Mezalocha	21/07/2021	22/07/2021	1,71	2,30		2,80
E4071	Embalse de Mezalocha	13/09/2021	27/09/2021	2,12	1,54	10,60	5,18
E4072	Embalse de Margalef	20/09/2021	17/09/2021	1,60	1,74		9,21
E4073	Embalse de Ciurana		14/07/2021		6,21		2,93
E4074	Embalse de Flix	23/07/2021	24/07/2021	4,00	2,00		4,60
E4074	Embalse de Flix	29/09/2021	27/09/2021	2,60	6,02		1,36
E4075	Embalse de las Torcas		22/07/2021		4,37		4,19
E4076	Embalse de La Tranquera	19/07/2021	17/07/2021	6,63	3,90		2,30
E4076	Embalse de La Tranquera	23/09/2021	30/09/2021	2,34	6,87	3,36	1,32
E4077	Embalse de Moneva	21/07/2021	22/07/2021	2,28	1,90		2,30
E4077	Embalse de Moneva	13/09/2021	27/09/2022	1,34	2,60	4,36	5,88



PUNTO	NOMBRE	Fecha		Disco de Secchi		Clorofila a	
		CAMPO	SENTINEL	CAMPO	SAT	CAMPO	SAT
E4078	Embalse de Caspe	22/07/2021	24/07/2021	2,60	2,60		2,70
E4078	Embalse de Caspe	28/09/2021	27/09/2021	2,90	2,91		2,58
E4079	Embalse de Guiamets	23/07/2021	14/07/2021	1,45	1,90		2,90
E4079	Embalse de Guiamets	30/09/2021	17/09/2021	4,40	4,59		3,37
E4080	Embalse de Cueva Foradada	20/07/2021	17/07/2021	2,12	2,70		2,40
E4080	Embalse de Cueva Foradada	22/09/2021	27/09/2021	5,80	2,93		3,93
E4082	Embalse de Calanda	22/07/2021	24/07/2021	4,05	3,30		2,30
E4082	Embalse de Calanda	29/09/2021	27/09/2021	2,50	4,50		3,59
E4085	Embalse de Santolea-Puente		24/07/2021		3,12		5,96
E4086	Embalse de Itoiz	15/07/2021	17/07/2021	2,31	3,82		3,80
E4086	Embalse de Itoiz	09/09/2021	05/09/2021	3,90	6,72	2,03	2,27
E4087	Embalse de Lechago	22/07/2021	17/07/2021	1,48	1,10		3,70
E4087	Embalse de Lechago	13/09/2021	27/09/2022	1,64	2,37	4,25	3,84
E4679	Embalse de Utchesa-Seca	19/07/2021	19/07/2021	1,00	2,60		2,20
E4679	Embalse de Utchesa-Seca	20/09/2021	17/09/2021	0,55	0,48		45,59
E4680	Embalse de La Loteta	21/07/2021	19/07/2021	1,14	0,95		8,46
E4680	Embalse de La Loteta	17/09/2021	17/09/2021	1,32	1,09	1,13	8,30
E4681	Embalse de Monteagudo	16/07/2021	17/07/2021	1,30	2,60		2,20
E4681	Embalse de Monteagudo	10/09/2021	30/09/2021	0,86	1,31	0,50	8,49
E4823	Embalse de Maidevera	19/07/2021	22/07/2021	1,68	4,85		1,73
E4823	Embalse de Maidevera	10/09/2021	05/09/2021	2,16	3,97	4,87	2,98
E4913	Embalse de Gallipué	20/07/2021	24/07/2021	1,95	2,30		2,80
E4913	Embalse de Gallipué	21/09/2021	17/09/2021	4,70	2,79		4,89
E4916	Embalse de Ortigosa		17/07/2021		15,70		1,30
E4949	Embalse de Ribarroja	22/07/2021	24/07/2021	3,40	2,00		3,70
E4949	Embalse de Ribarroja	29/09/2021	27/09/2021	3,70	3,94		2,19
E4986	Embalse de Bachimaña alto	13/08/2021	18/08/2021	11,78	19,23		0,34
E5002	Embalse de Tramacastilla	21/07/2021	19/07/2021	4,23	11,49		1,89
E5003	Embalse de Ip	10/08/2021	18/08/2021	5,30	6,87		0,77
E5020	Lac Major de Colomers	01/09/2021	18/08/2021	11,37	17,42		0,42
E5022	La Estanca de Alcañiz	22/07/2021	24/07/2021	1,23	2,20		2,80
E5022	La Estanca de Alcañiz	29/09/2021	27/09/2021	1,20	2,18		4,46
E5023	Embalse de Llauset		19/07/2021		15,16		0,75
E5033	Embalse de Respomuso	11/08/2021	18/08/2021	17,50	22,04		0,21
E5039	Embalse de Brazato	24/08/2021	18/08/2021	11,50	15,16		0,61
E5043	Embalse de Cavallers		19/07/2021		12,17		1,89
E5051	Embalse de Escarra	12/08/2021	26/08/2021	8,61	3,86		2,46
E5052	Embalse de Sallente		19/07/2021		18,54		0,38
E5807	Embalse de San Salvador		19/07/2021		3,01		5,76



A continuación, se presenta en la siguiente figura como ejemplo el estado trófico del embalse de Itoiz el 11 de agosto de 2021 en las variables de calidad de transparencia y clorofila-a, así como la materia en suspensión.

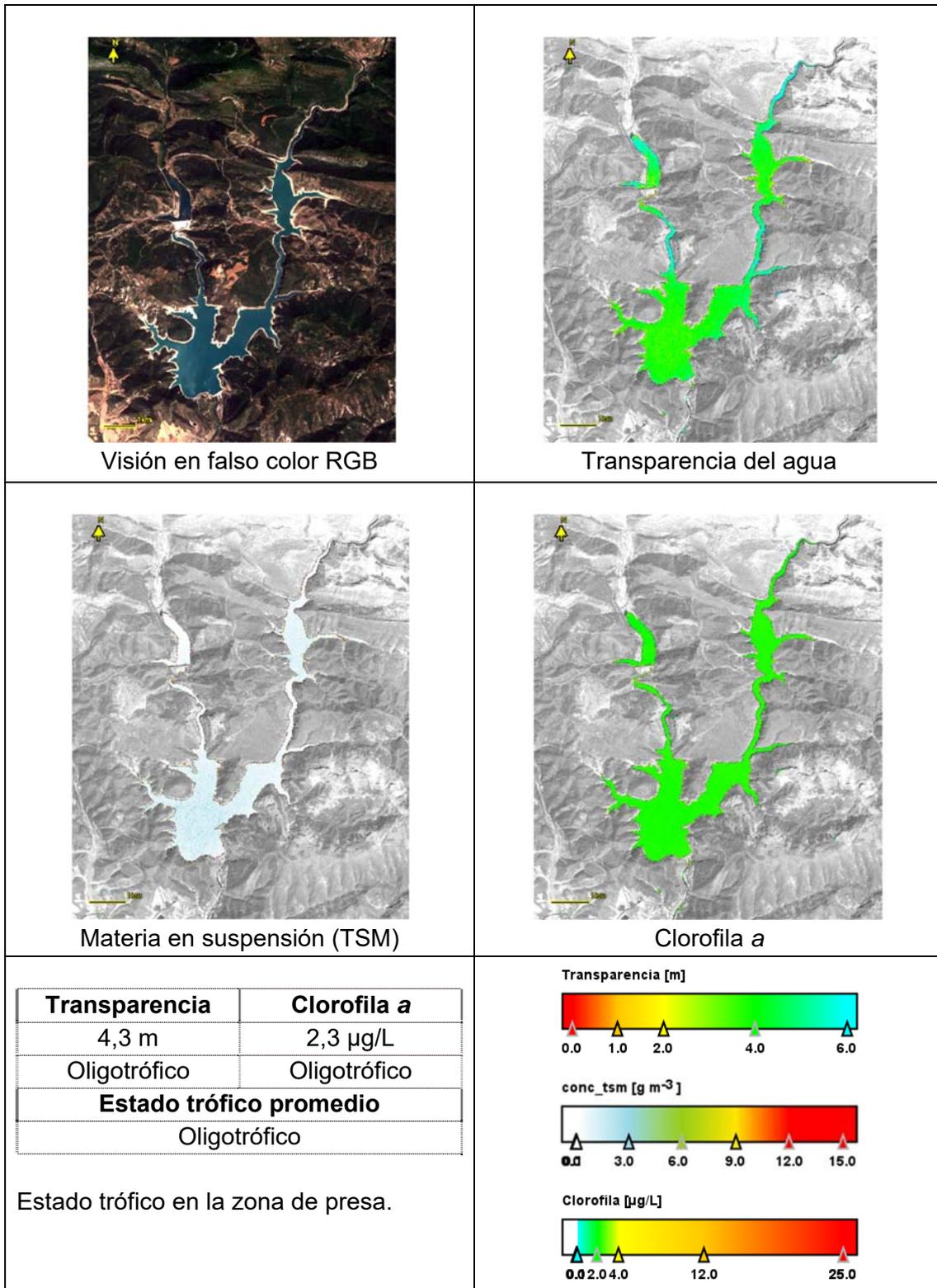


Figura 12. Concentración de clorofila-a, transparencia y materia en suspensión en el embalse de Itoiz el 18 de agosto de 2021.



Con respecto a los ocho lagos estudiados, los valores obtenidos en la comparativa de campo y satélite se han limitado a la medida de la transparencia del agua, pues no se recogieron datos de campo de la concentración de clorofila.

**Tabla 7. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en las variables transparencia del agua medida por la profundidad de visión del disco de Secchi (en metros) y la concentración de clorofila a (en microgramos por litro). El color de la celda indica la gradación de mejor estado (azul) a peor estado (rojo).**

PUNTO	NOMBRE	Fecha		Disco de Secchi		Clorofila a	
		CAMPO	SENTINEL	CAMPO	SAT	CAMPO	SAT
L5001	Lago de Urdiceto	25/08/2021	18/08/2021	11,25	20,16		0,33
L5008	Estany Negre (Espot)	03/09/2021	18/08/2021	22,00	22,04		0,17
L5016	Laguna de Pitillas	29/06/2021	17/07/2021	0,90	0,38		39,89
L5019	Lago de Arreo	30/06/2021	10/07/2021	2,40	13,31		0,95
L5027	Lago de Marboré	26/08/2021	18/08/2021	7,49	6,29		0,78
L5970	Lac Redon	31/08/2021	18/08/2021	18,32	21,19		0,26
L5983	Ibón de Cregüehña	27/08/2021	18/08/2021	16,25	18,04		0,44
L5990	Laguna Salada de Chiprana	15/07/2021	19/07/2021	1,50	1,05		12,29
L5990	Laguna Salada de Chiprana	21/09/2021	27/09/2021	2,00	1,31		26,73

Se puede observar que la coincidencia de los estados es muy buena, excepto en el caso del Lago de Arreo, que la imagen del satélite indica unos valores de transparencia fuera de la realidad. A pesar de que hay una diferencia de diez días entre las dos medidas, no es posible que el lago tenga una transparencia de 13 m. En los demás casos se observa que las diferencias son pocas. Respecto a los valores medidos de clorofila, son concordantes en estado trófico con las medidas de transparencia.



#### 4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

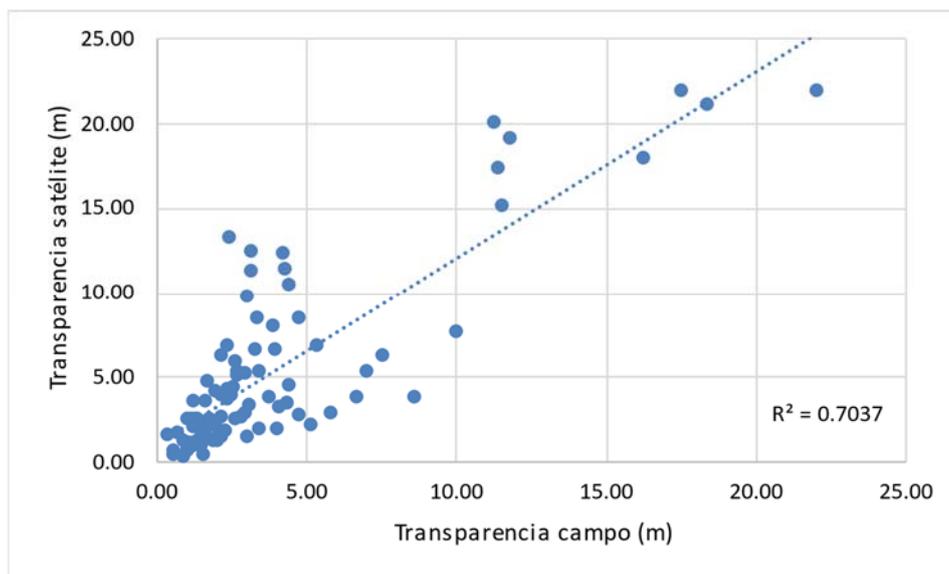
En este apartado se van a validar los resultados alcanzados en la calibración realizada en el capítulo anterior. Una vez validados los resultados se realizará la determinación del estado trófico de cada embalse tanto con medidas de campo como las calculadas con el satélite.

Para la validación se realizó con datos de campo tomados en el 2021. En este caso, se ha tenido acceso a las variables 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.

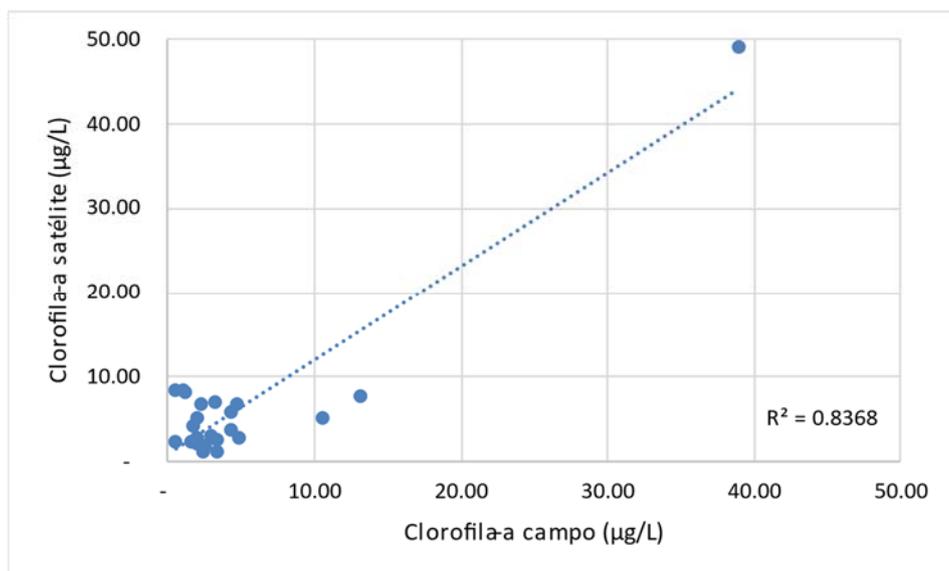
Se ha realizado la validación de la transparencia con 95 medidas, centrándose las medidas en julio y septiembre. La transparencia medida en satélite con la medida en el campo ha mostrado una correlación positiva de  $R^2=0,70$  con la siguiente recta de ajuste (figura 13).

En el caso de la clorofila-a se utilizaron los datos de campo tomados en septiembre (pues en el otro muestreo no hubo datos de esta variable). En total, la validación se ha realizado con 25 muestras y se ha obtenido una correlación positiva con un  $R^2=0,84$ , con la siguiente recta de ajuste (figura 14).

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



**Figura 13. Gráfico de correlación los valores obtenidos de transparencia tomados en campo y mediante el satélite.**



**Figura 14. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo y mediante el satélite.**

Puesto que las calibraciones han mostrado una correlación positiva en la validación, a continuación, se ha realizado la determinación del estado trófico en los diferentes embalses de estudio. Primero, se ha determinado el estado trófico en función a los datos tomados in situ (ver tabla 5), y, después se ha realizado lo mismo con los valores hallados mediante el satélite.



En las tablas 5 y 6, cada estado trófico de la masa de agua es representado con un color siguiendo los colores utilizados normalmente para presentar los estados tróficos: el estado oligotrófico en color verde; el estado mesotrófico en color amarillo; el estado eutrófico en color naranja y en rojo el peor estado.

En el estudio realizado en el pasado año 2020 con 17 embalses, mientras que en la tabla calculada a partir de los datos de campo se encontraron los cuatro estados tróficos posibles, en la medida mediante el satélite sólo se detectaron los estados tróficos intermedios: oligotrófico y mesotrófico.

Sin embargo, en este estudio de 2021, sí que se ha encontrado valores bajos y altos para las dos variables. En un caso, al considerar embalses y lagos de zonas de alta montaña, los valores obtenidos han sido concordantes con las medidas de campo, en el rango de buena calidad. En la parte opuesta, donde la calidad es baja y el estado trófico elevado, también se ha obtenido resultados en lagos y embalses (aunque hay pocos datos). En parte esto es bueno porque no existen muchas masas de agua en mal estado; pero aquellas que están así, se han podido detectar con las imágenes, como ha sido el caso de los embalses de El Val y Utchesa, y las lagunas de Pitillas y la salada de Chiprana. Para mejorar esta parte, habría que realizar mayores medidas de campo enfocándose en valores extremos ultraoligotróficos y eutróficos.

Para resumir los resultados alcanzados, se muestra en las siguientes figuras 15 y 16 como ejemplo un mapa resumen del embalse de La Sotonera en el que se representa una visualización de mapa de calidad de clorofila-a y transparencia utilizando las ecuaciones calibradas el 19 de julio y el 17 de septiembre de 2021 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.

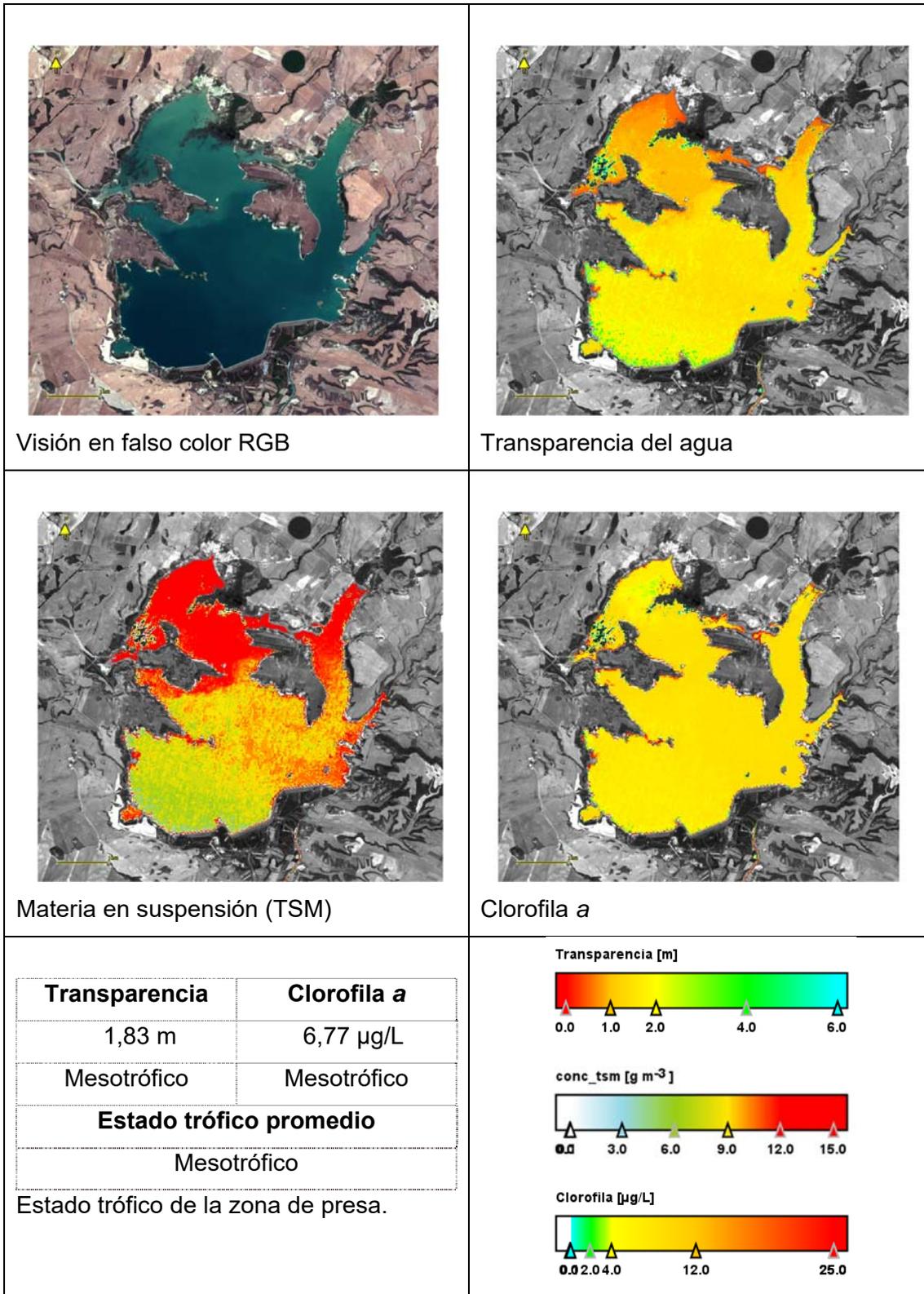


Figura 15. Estado trófico del embalse de La Sotonera, medidas con satélite el 19 de julio de 2021

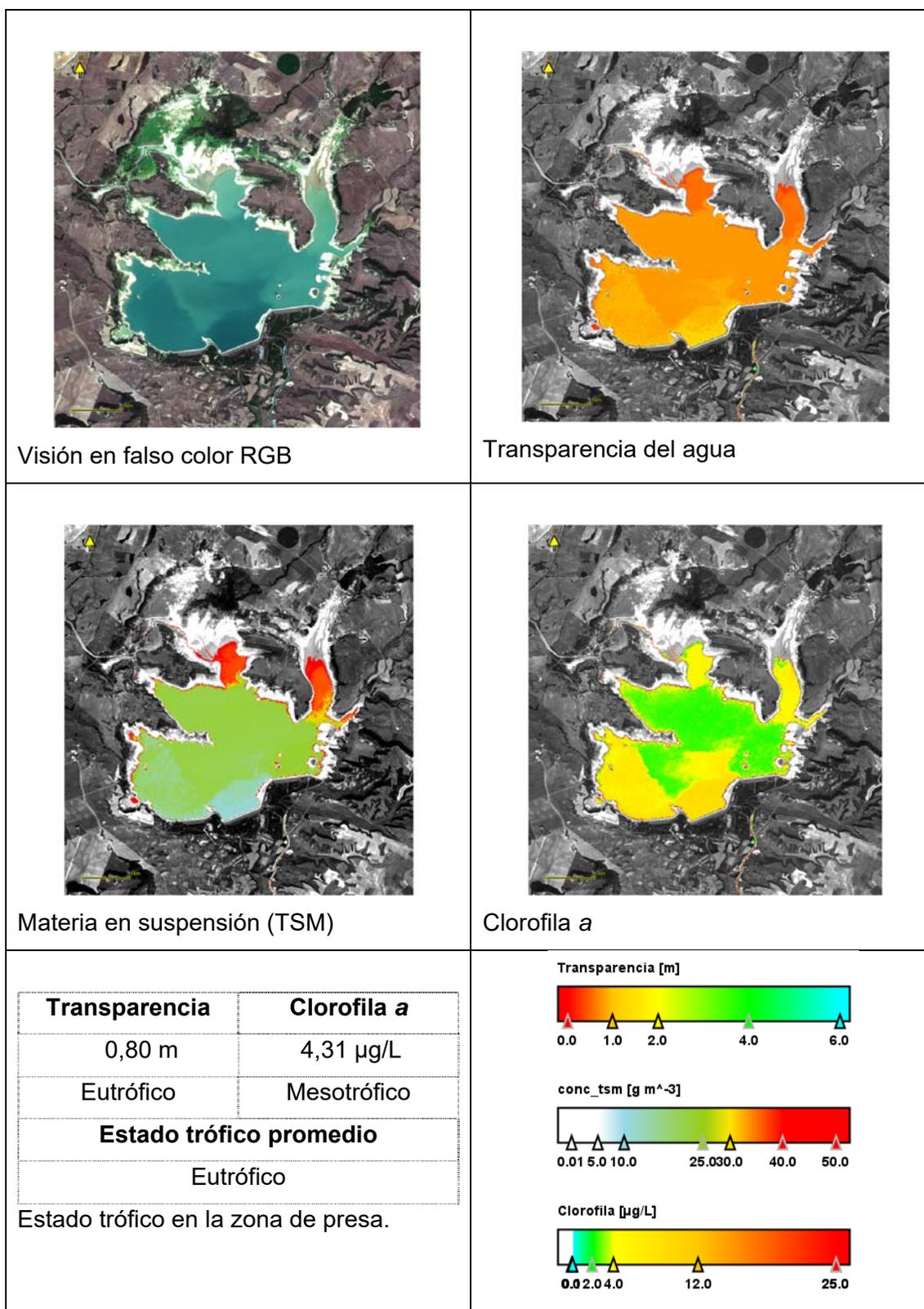


Figura 16. Estado trófico del embalse de La Sotonera, medidas con satélite el 17 de septiembre de 2021



## 5. PROPUESTAS A MEJORAR

Para futuros estudios es necesario obtener más datos de campo en embalses y lagos ultraoligotróficos, 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 en el estudio de 2020 que en algunos embalses las imágenes de invierno no son concordantes con la medida de la clorofila-a. Este problema se observa también en embalses con más turbidez de la normal donde el valor de transparencia es concordante con el campo; pero el de clorofila no concuerda y presenta un estado peor del medido en la masa de agua. 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 a lo largo del año cuando sea posible, 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 masas de agua objeto del estudio, cuyos resultados concuerdan con el estado obtenido por las medidas en el embalse y en el lago.

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.

Para la continuación de los trabajos se 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 y Landsat-9, con lo cual aumentaría la disponibilidad de imágenes.



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO





## ANEXO 1. FICHAS DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS

---

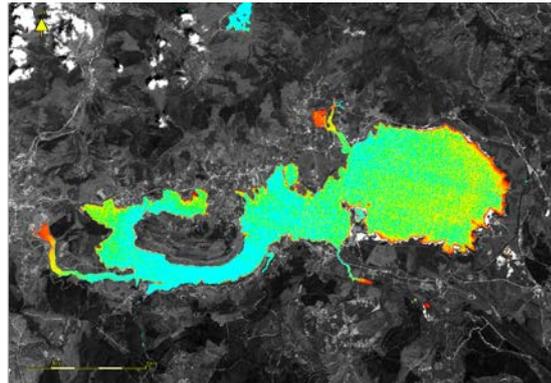


MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

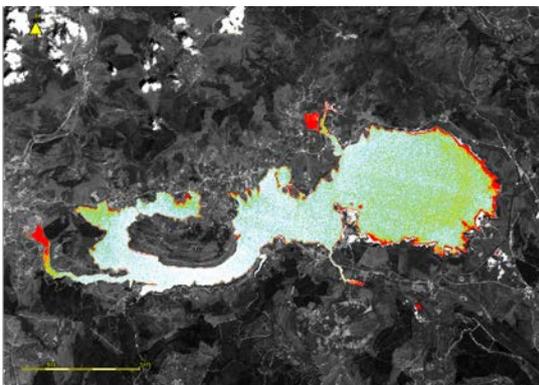




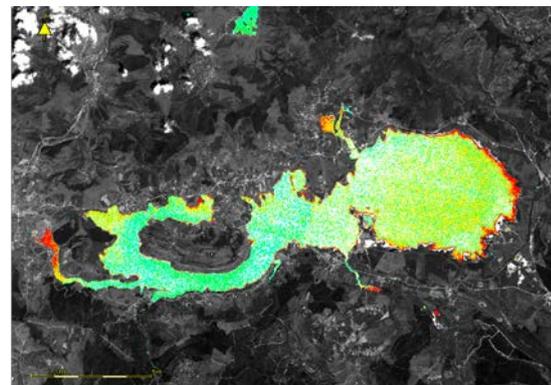
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

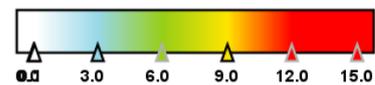
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,97 m	2,43 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico de la zona de presa.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



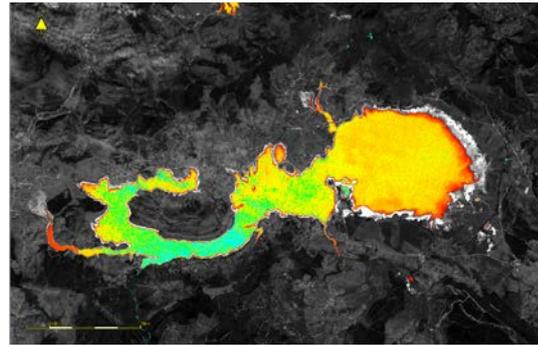
Clorofila [µg/L]



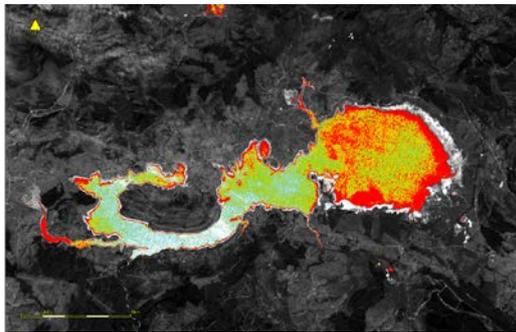
MAS 1. Embalse del Ebro. Imagen del 10 de julio de 2021



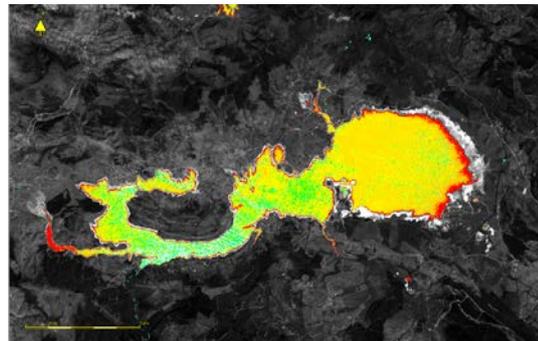
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



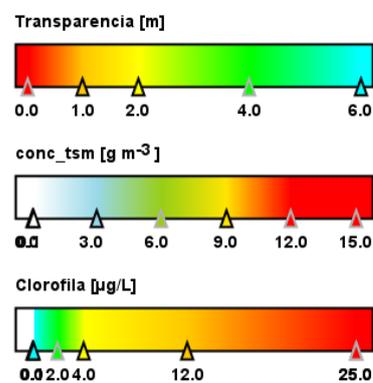
Materia en suspensión (TSM)



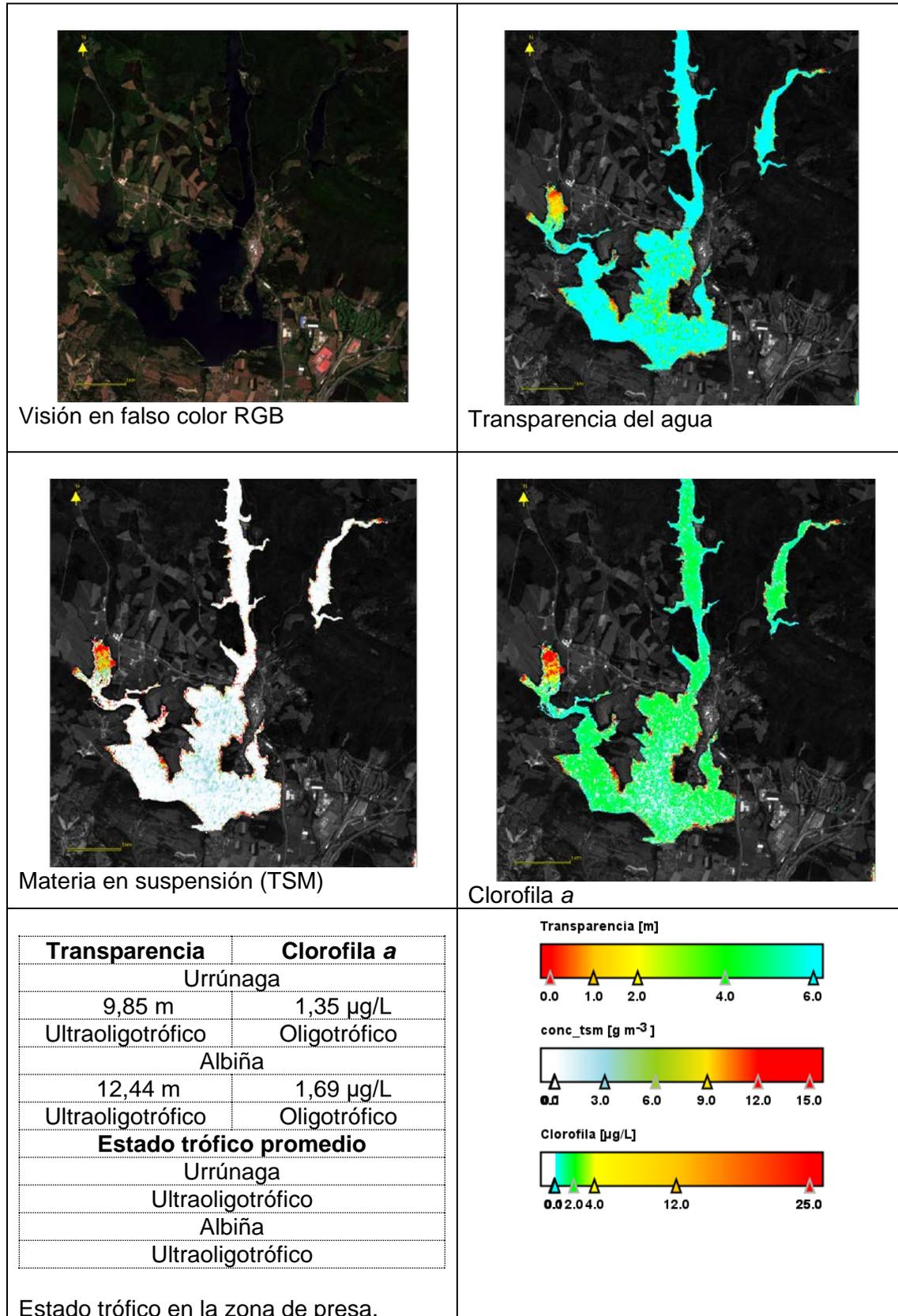
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,42 m	2,97 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

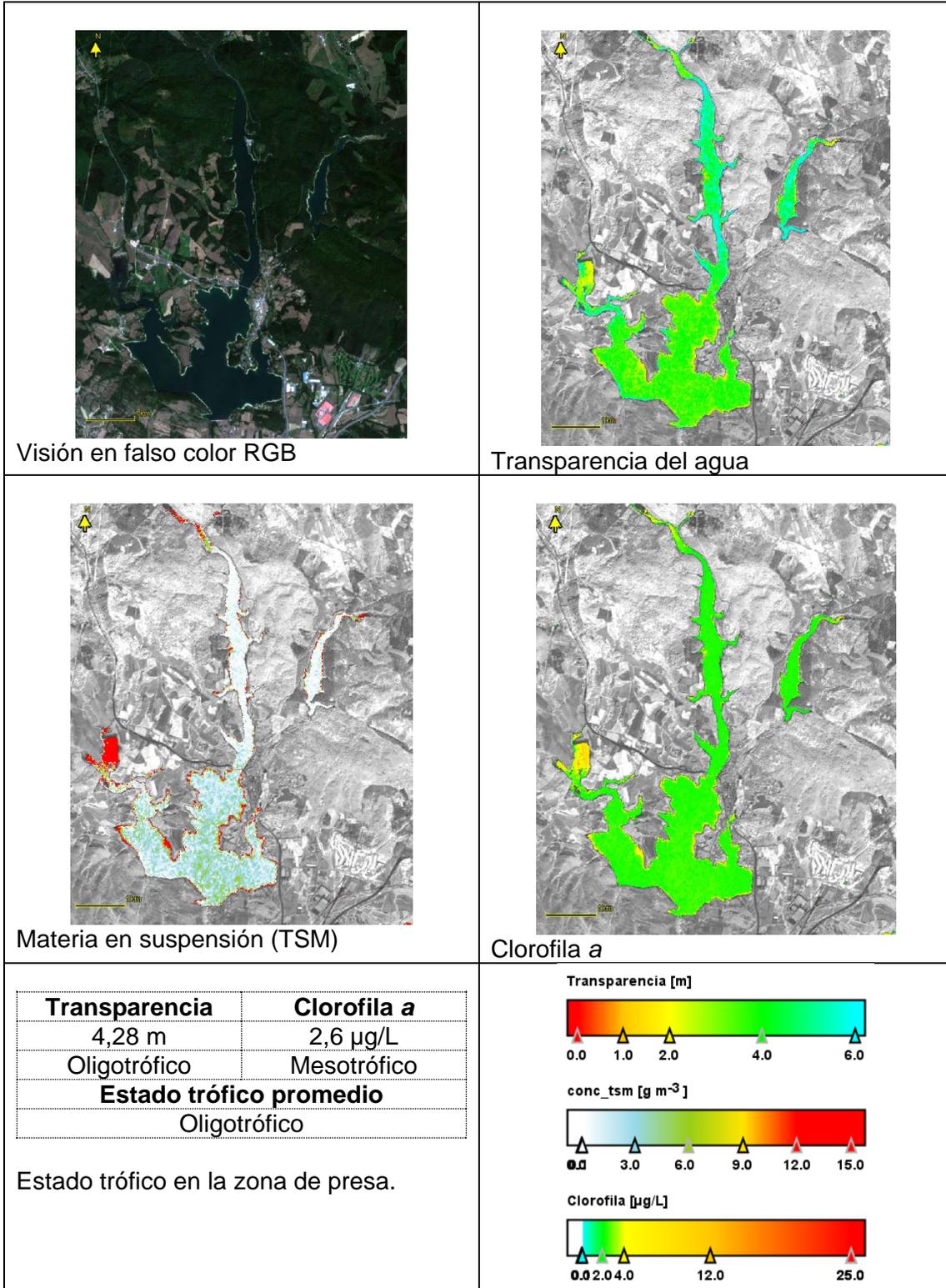
Estado trófico en la zona de presa.



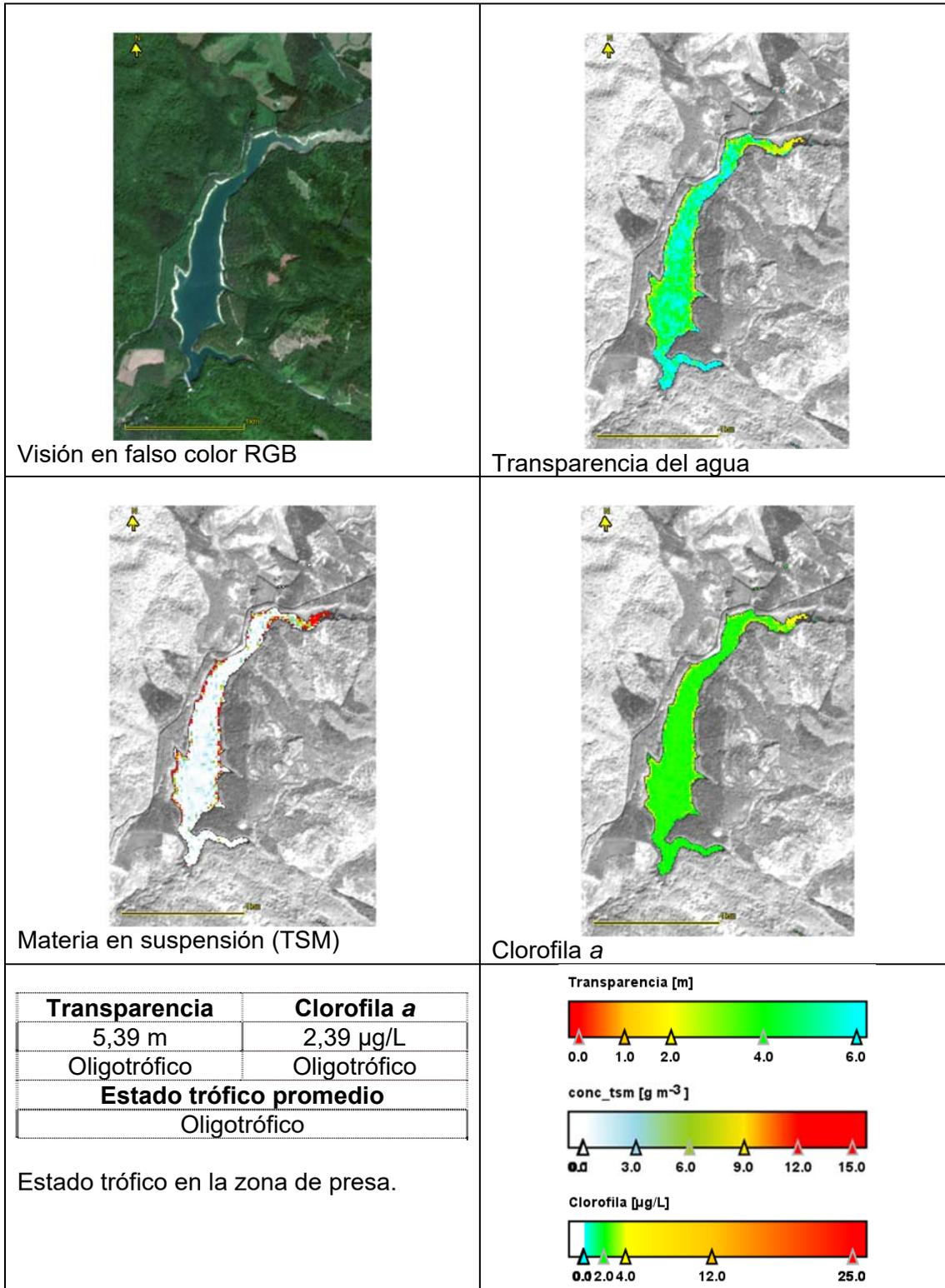
MAS 01. Embalse del Ebro. Imagen del 29 de agosto de 2021



MAS 2. Embalses de Urrúnaga y Albiña. Imagen del 17 de julio de 2021



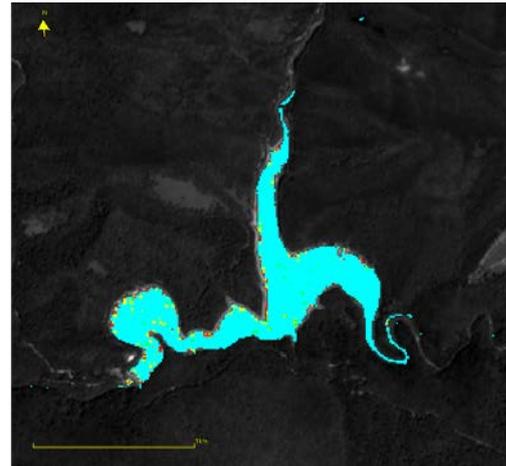
MAS 2. Embalse de Urrúnaga. Imagen del 31 de agosto de 2021.



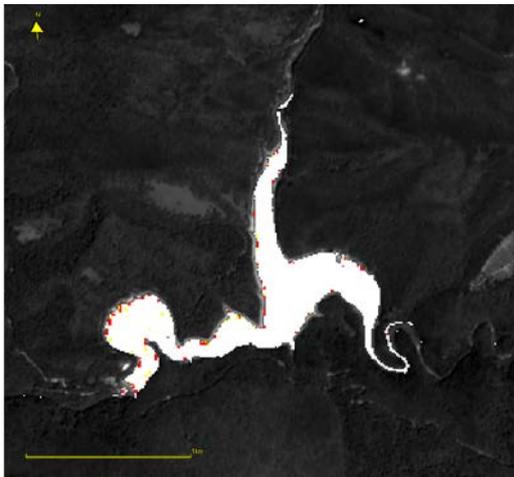
MAS 5. Embalse de Albiña. Imagen del 31 de agosto de 2021.



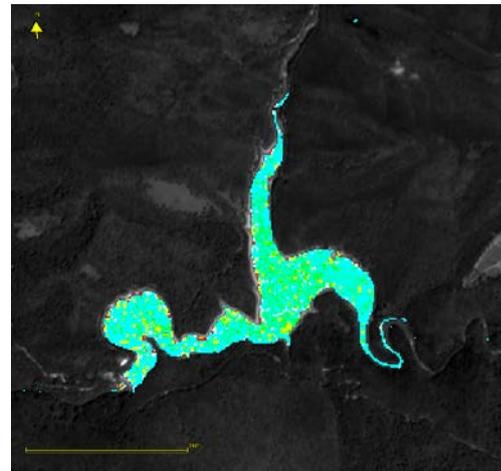
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



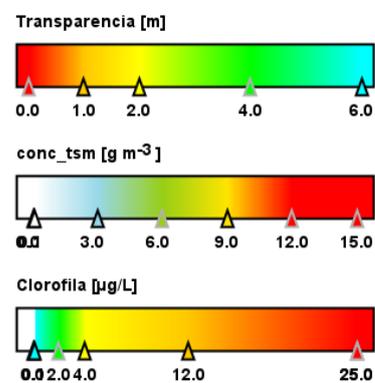
Materia en suspensión (TSM)



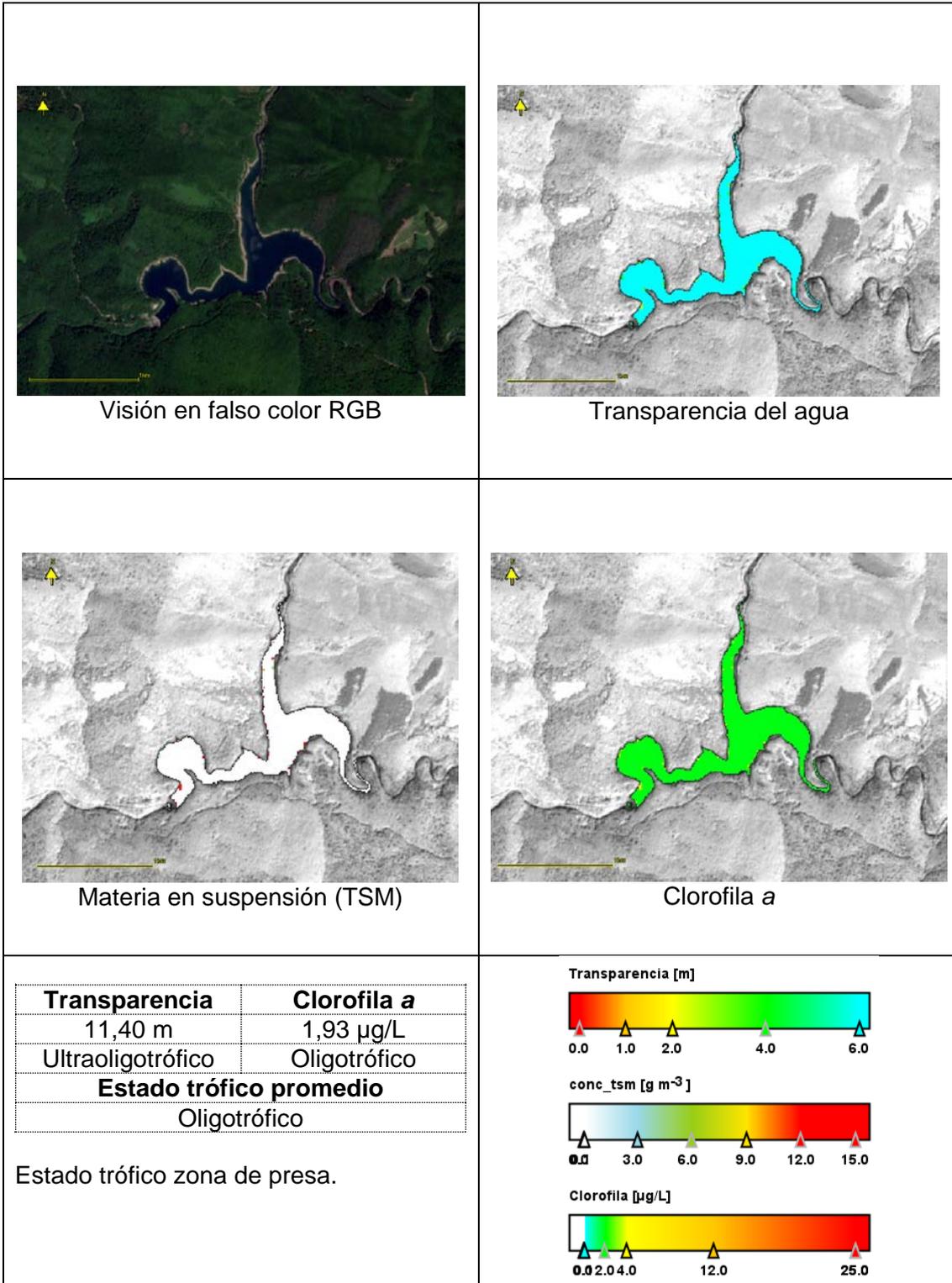
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
12,52 m	1,70 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico de la zona de presa.



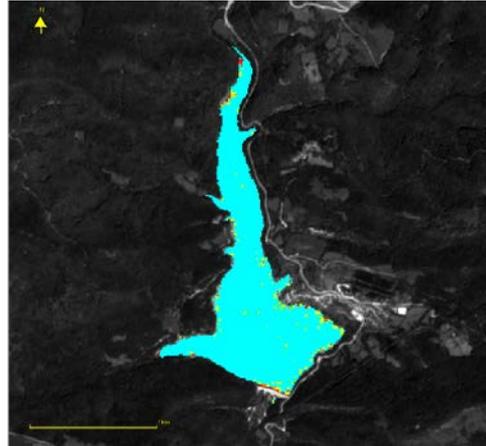
MAS 4. Embalse de Irabia. Imagen del 17 de julio de 2021



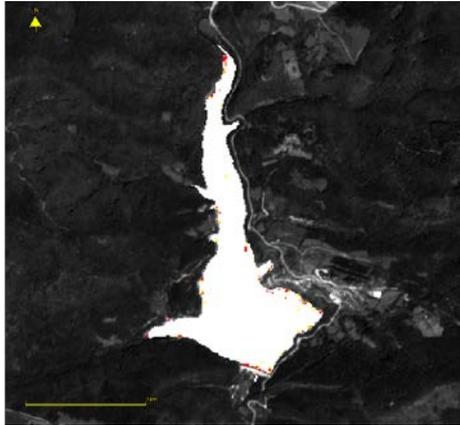
MAS 4. Embalse de Irabia. Imagen del 31 de agosto de 2021.



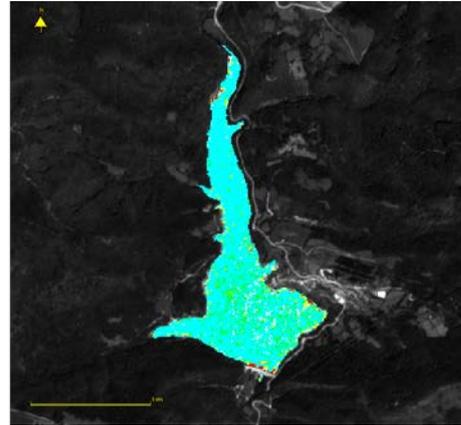
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



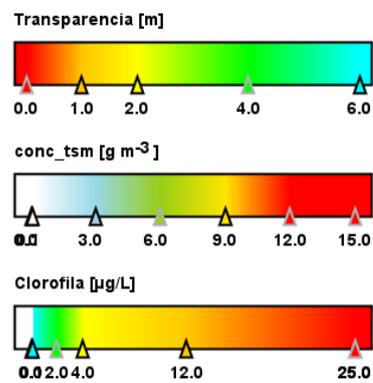
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
10,55 m	1,77 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

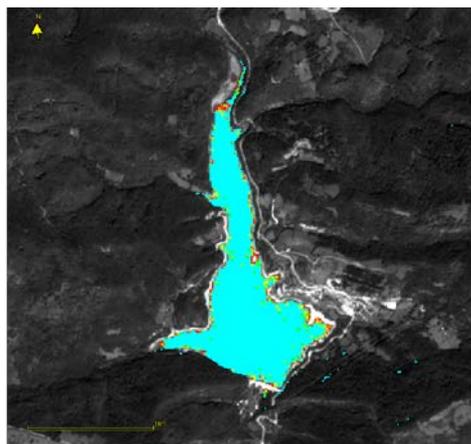
Estado trófico de la zona de presa.



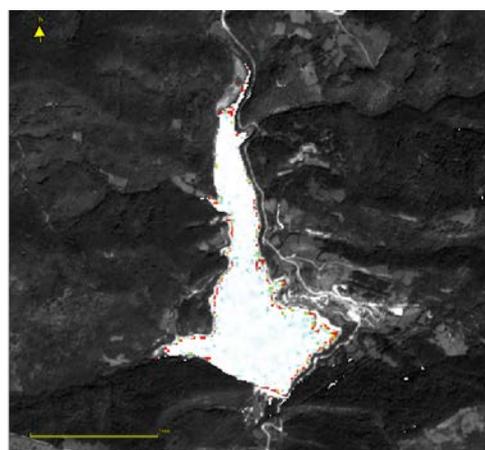
MAS 6. Embalse de Eugui. Imagen del 17 de julio de 2021



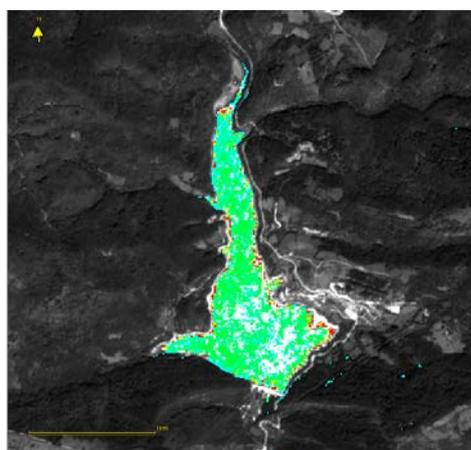
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



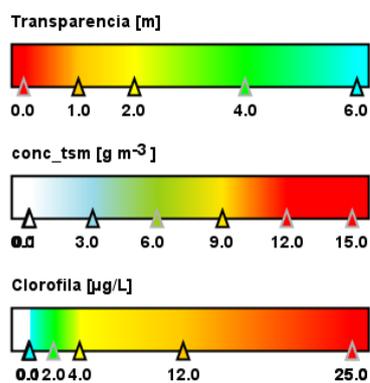
Materia en suspensión (TSM)



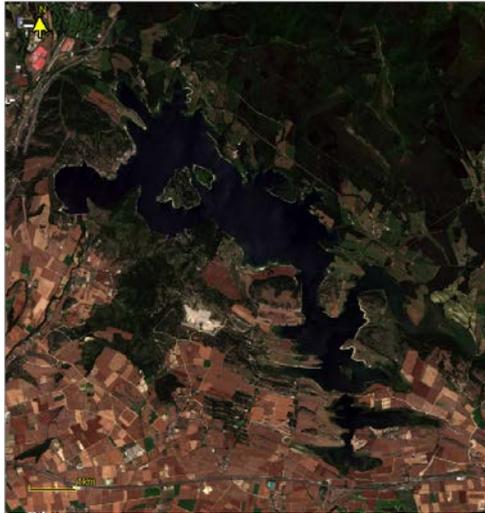
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
9,90 m	1,14 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

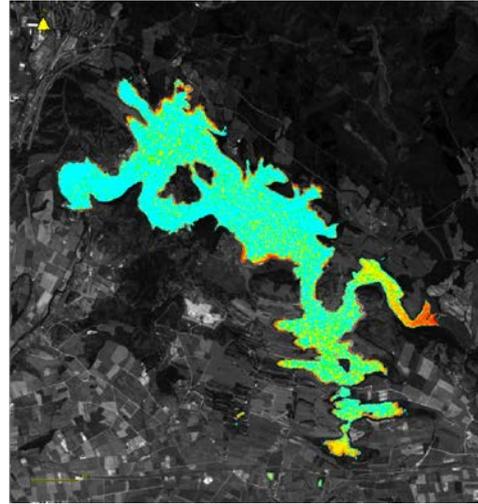
Estado trófico en la zona de presa.



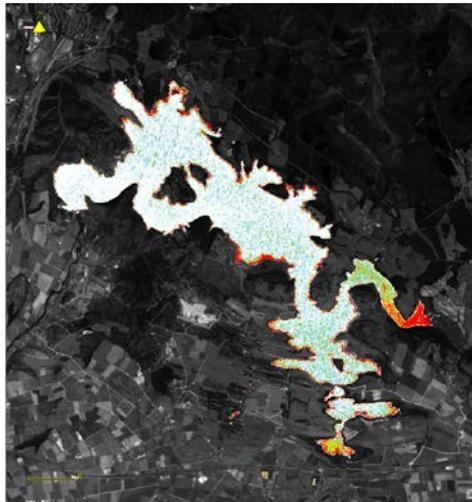
MAS 6. Embalse de Eugui. Imagen del 5 de septiembre de 2021



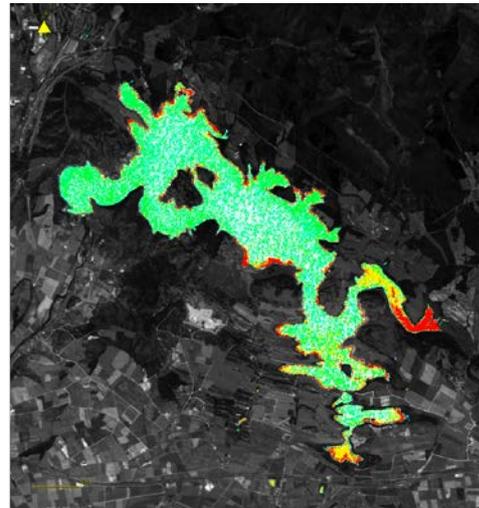
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

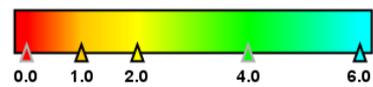


Clorofila a

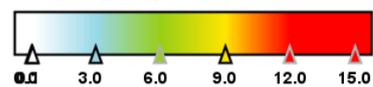
Transparencia	Clorofila a
5,34 m	1,14 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico de la zona de presa.

Transparencia [m]



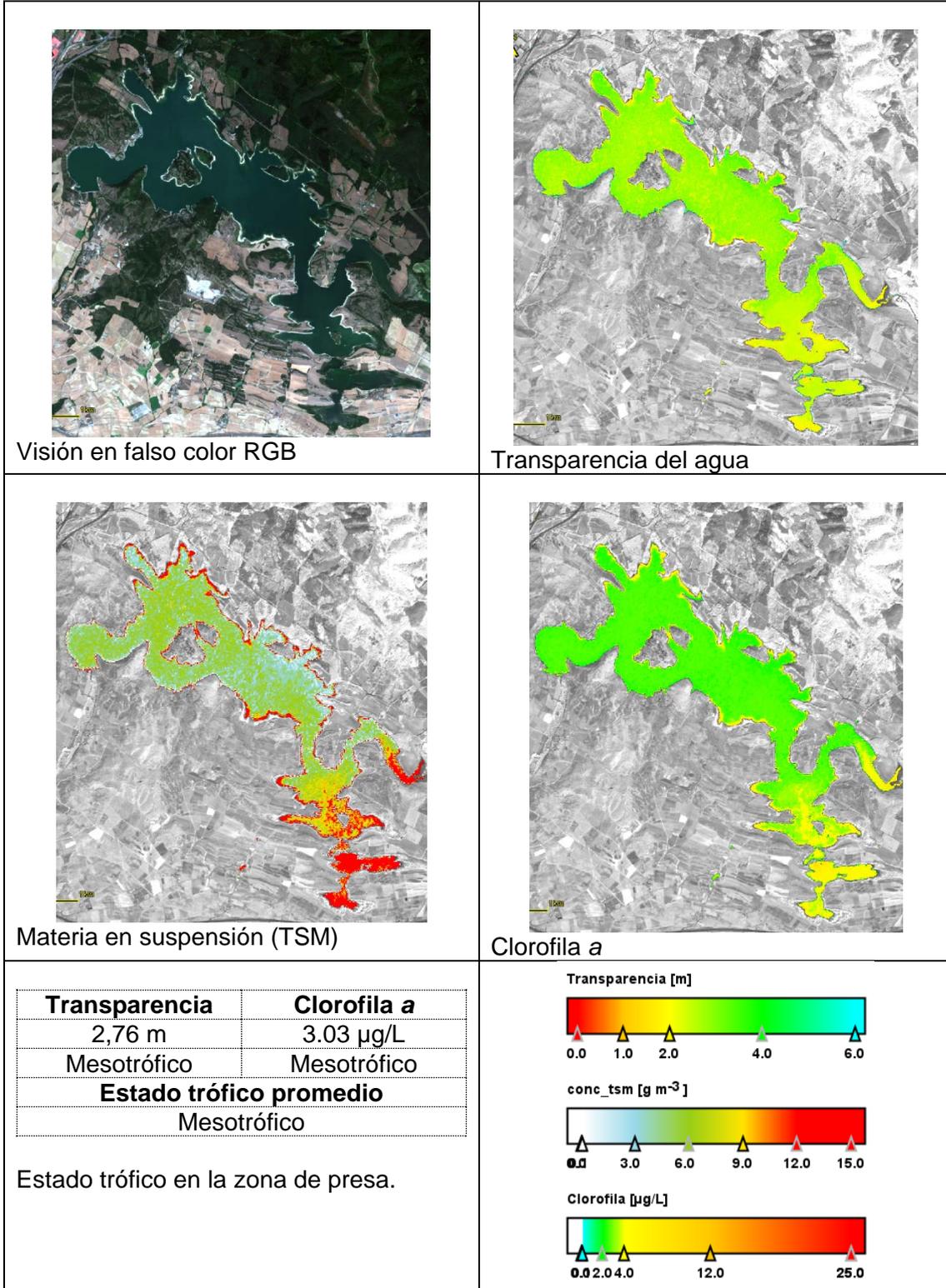
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



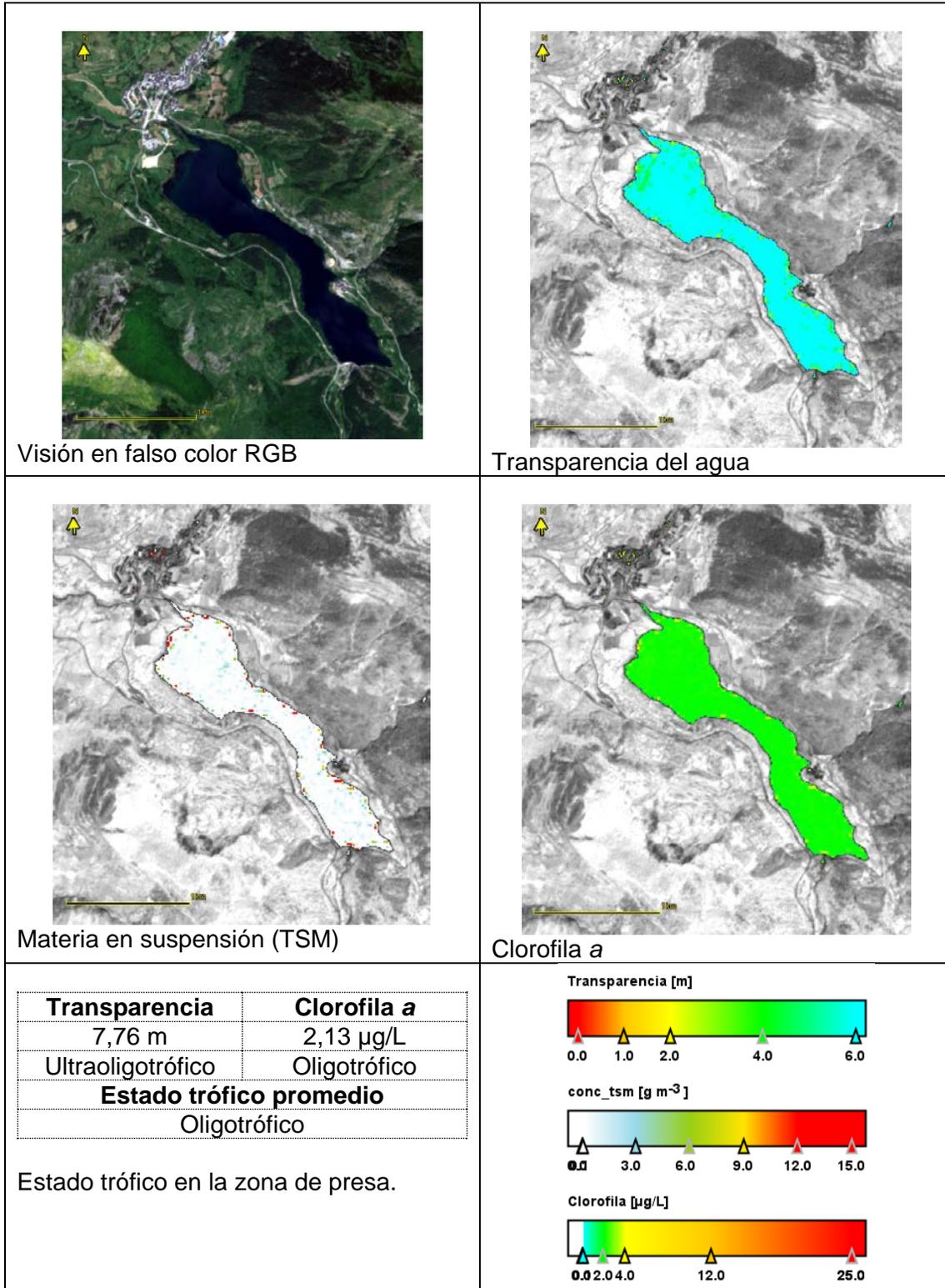
Clorofila [µg/L]



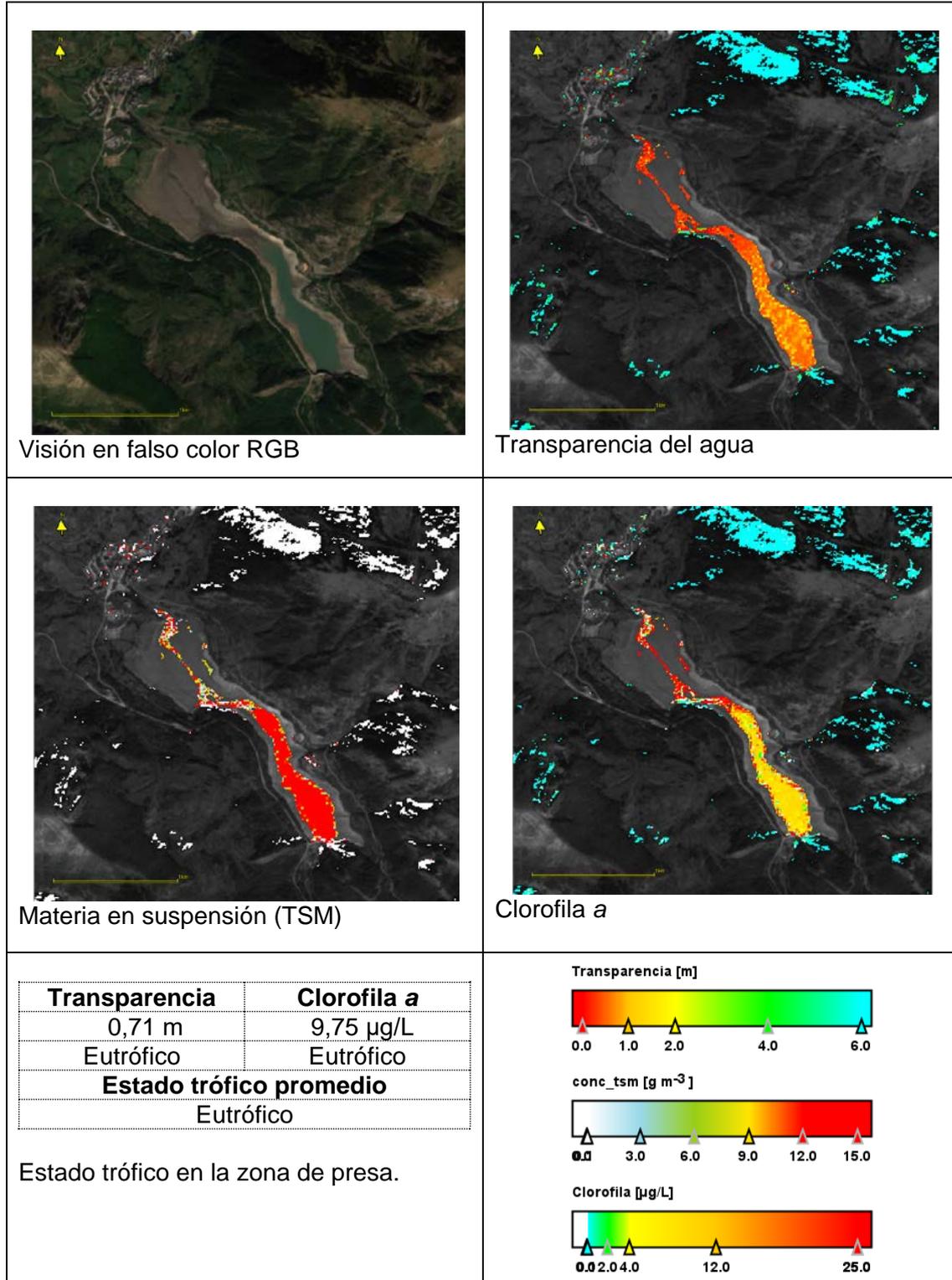
MAS 7. Embalse de Ullibarri-Gamboa. Imagen del 17 de julio de 2021



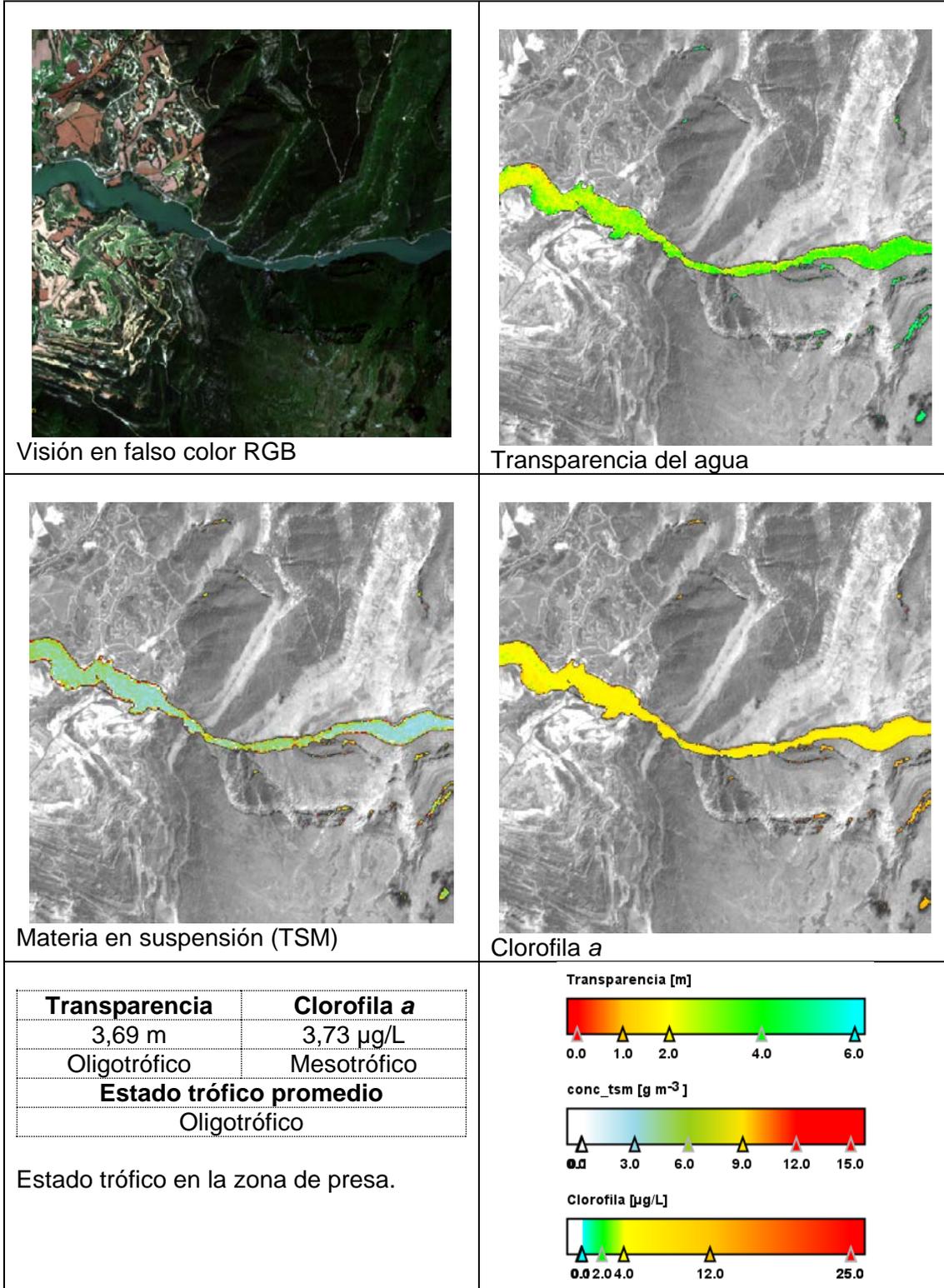
MAS 7. Embalse de Ullivarri-Gamboa. Imagen del 31 de agosto de 2021.



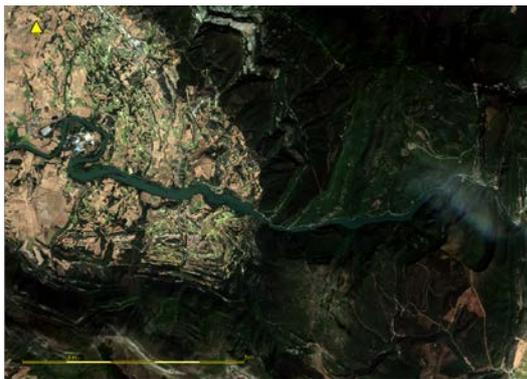
MAS 19. Embalse de Lanuza. Imagen del 19 de julio de 2021.



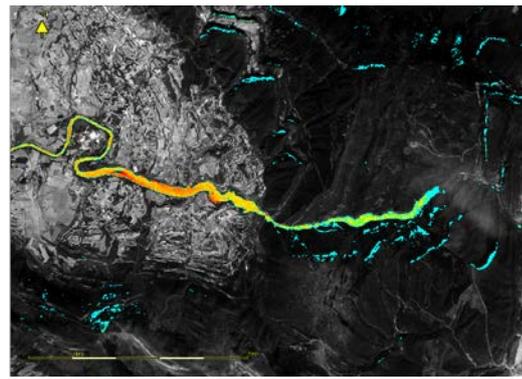
MAS 19. Embalse de Lanuza. Imagen del 17 de septiembre de 2021



MAS 22. Embalse de Sobrón. Imagen del 10 de julio de 2021.



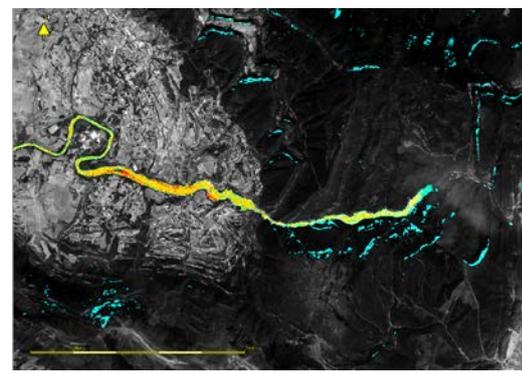
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



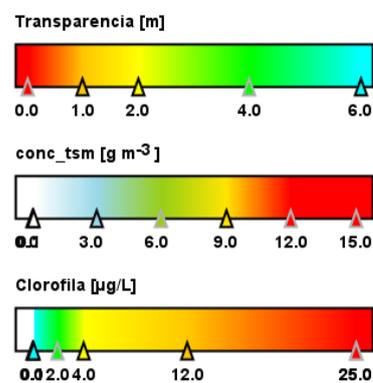
Materia en suspensión (TSM)



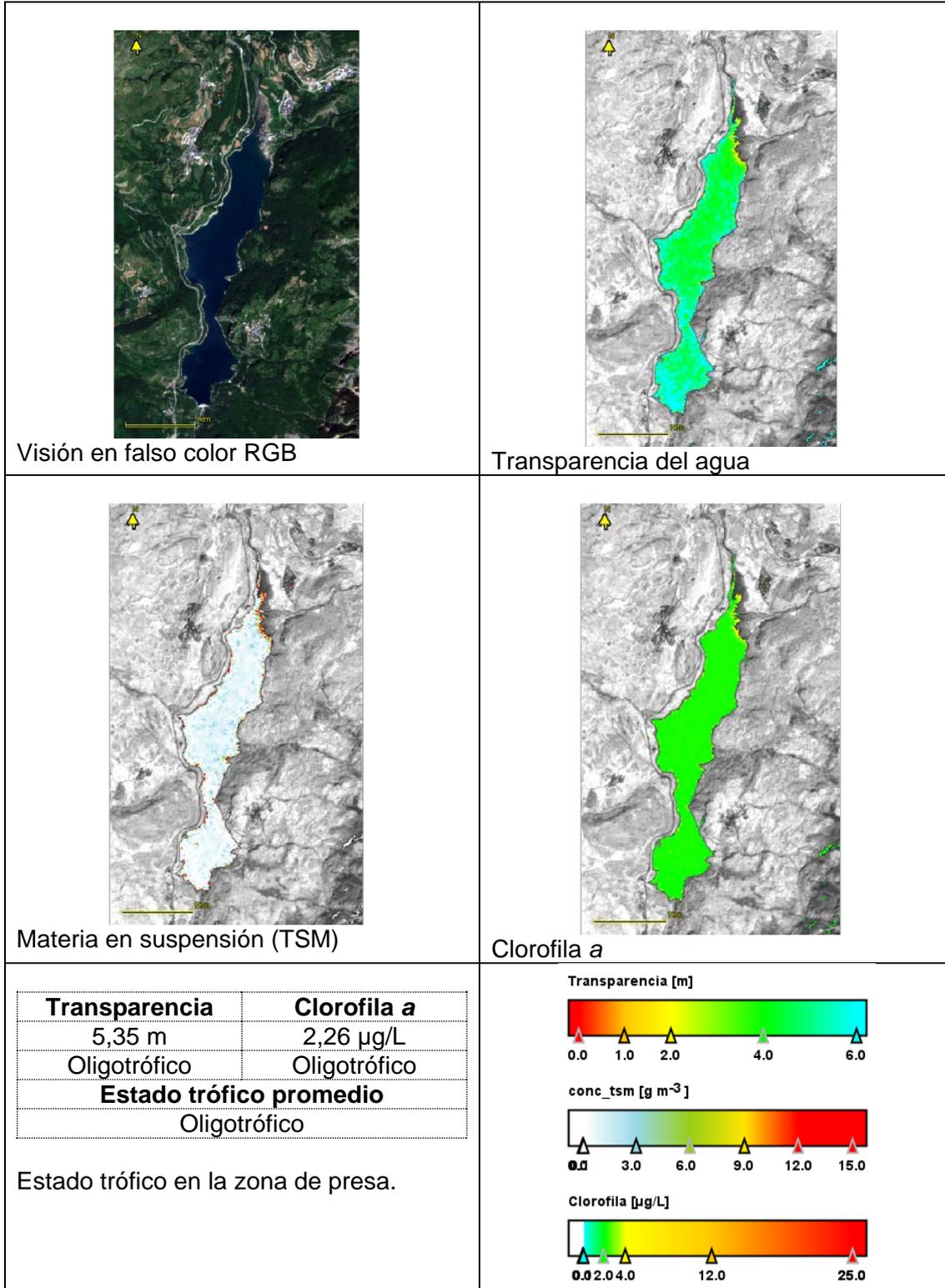
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,35 m	7,85 µg/L
Eutrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

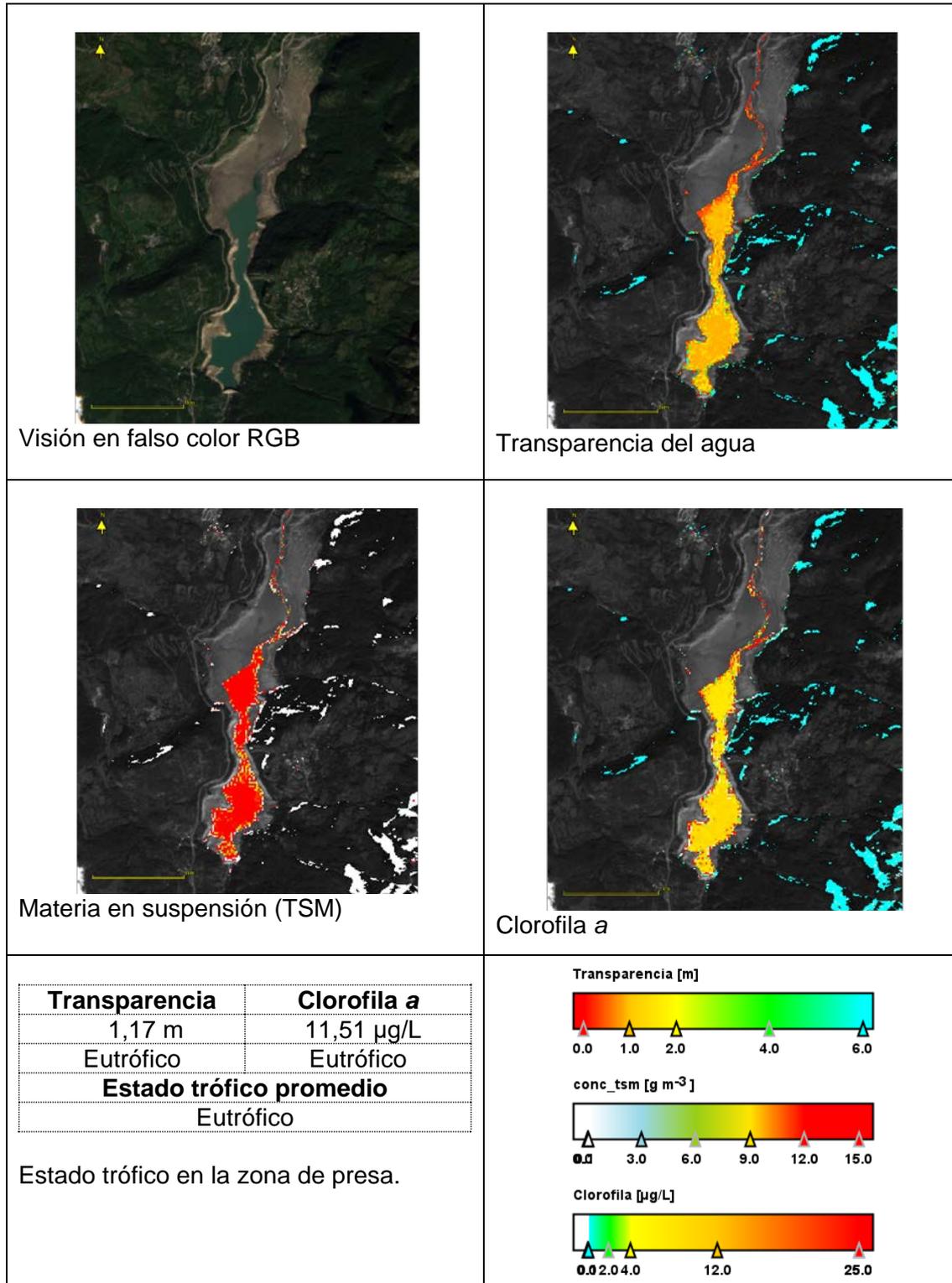
Estado trófico en la zona de presa.



MAS 22. Embalse de Sobrón. Imagen del 29 de agosto de 2021



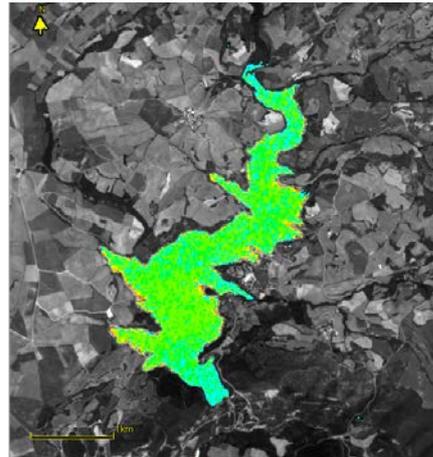
MAS 25. Embalse de Búbal. Imagen del 19 de julio de 2021.



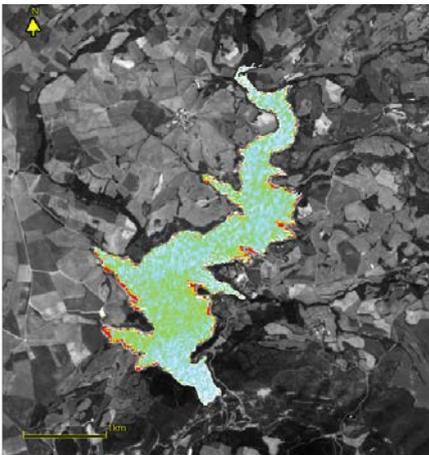
MAS 25 Embalse de Búbal. Imagen del 17 de septiembre de 2021



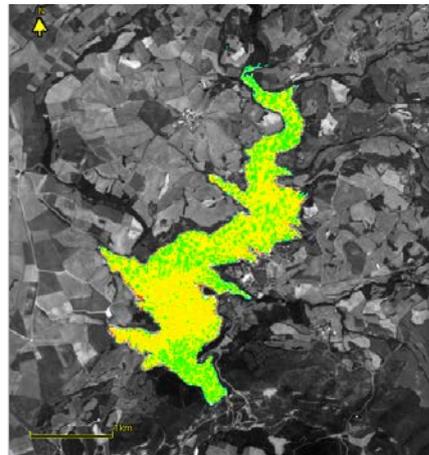
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

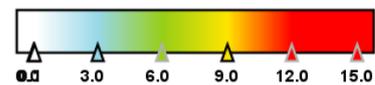
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,33 m	3,21 µg/L
Ultraoligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



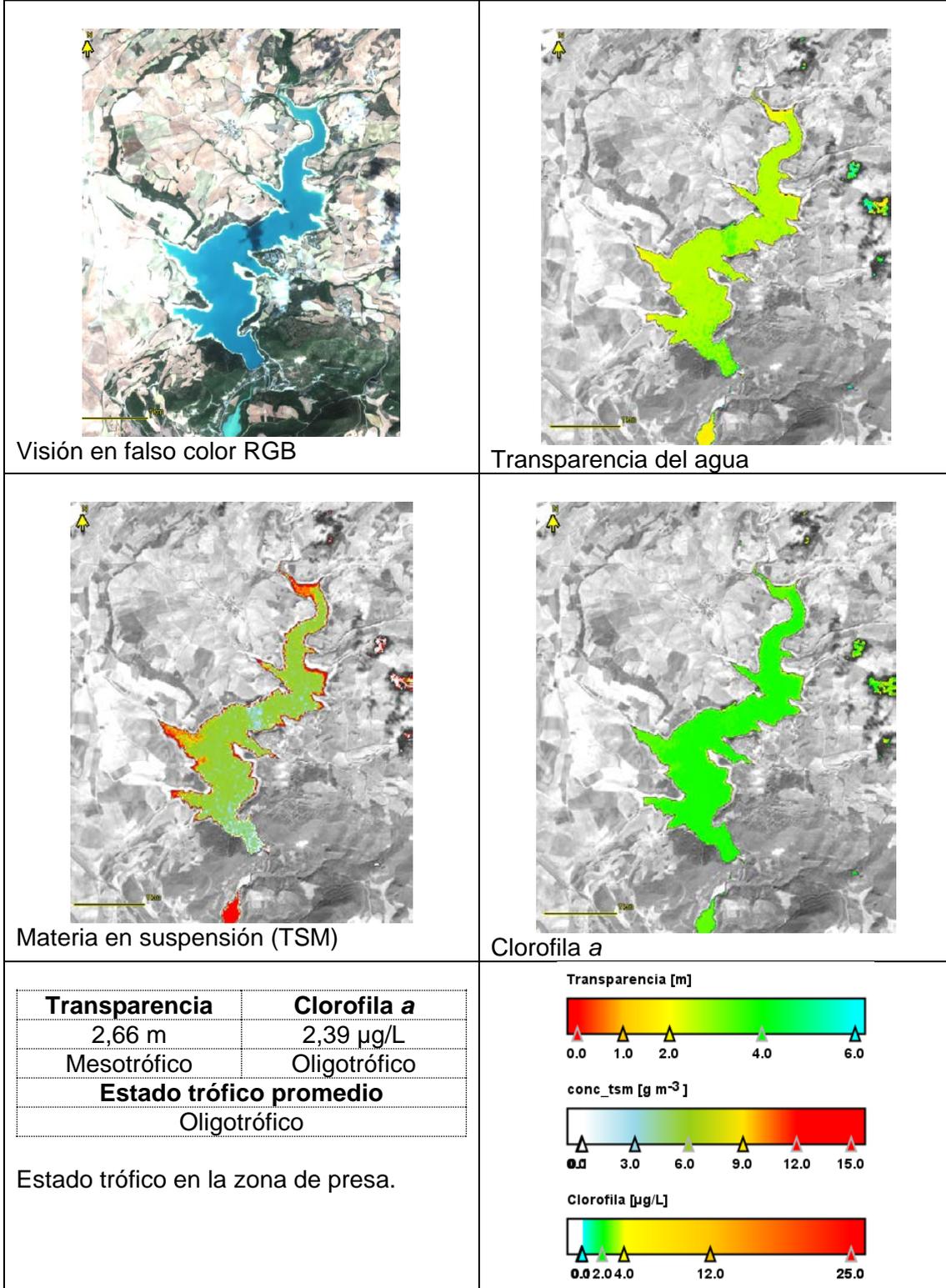
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



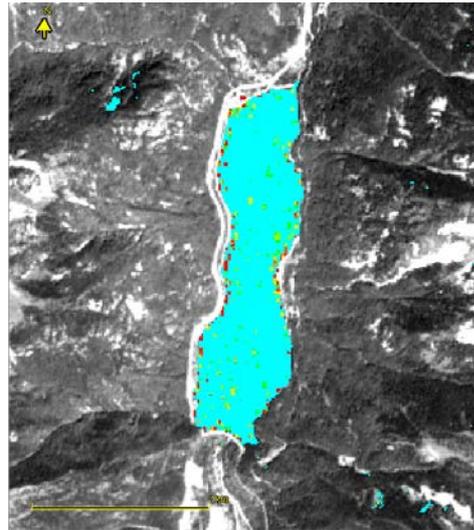
MAS 27. Embalse de Allos. Imagen del 17 de julio de 2021



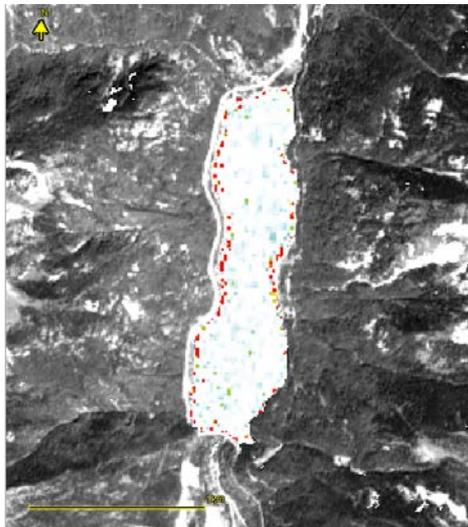
MAS 27. Embalse de Allos. Imagen del 31 de agosto de 2021.



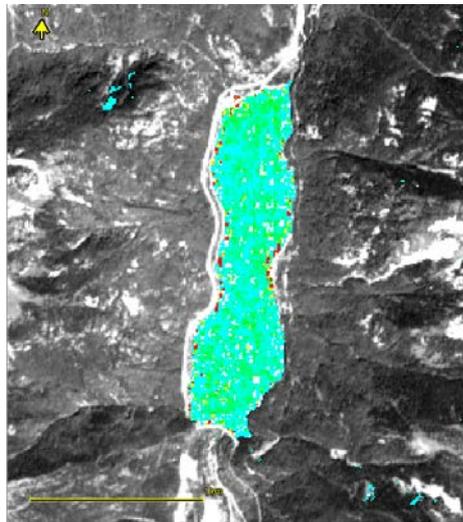
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



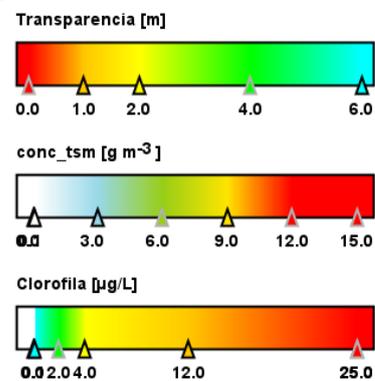
Materia en suspensión (TSM)



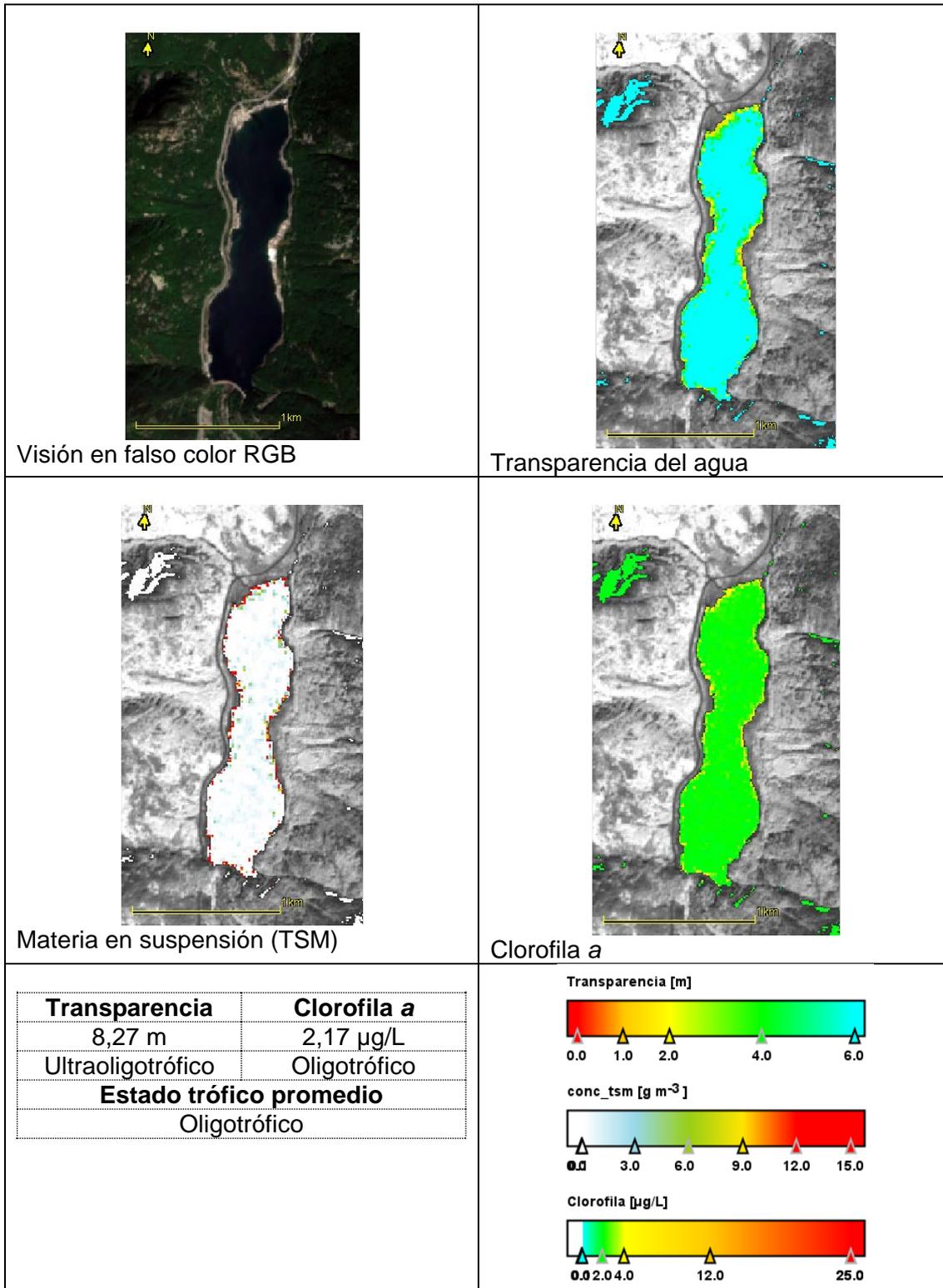
Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
14,86 m	1,08 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



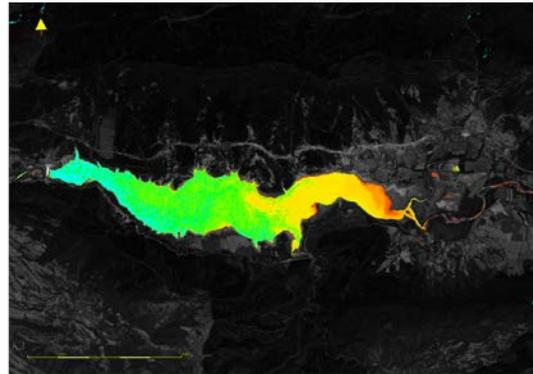
MAS 34. Embalse de Baserca. Imagen del 19 de julio de 2021



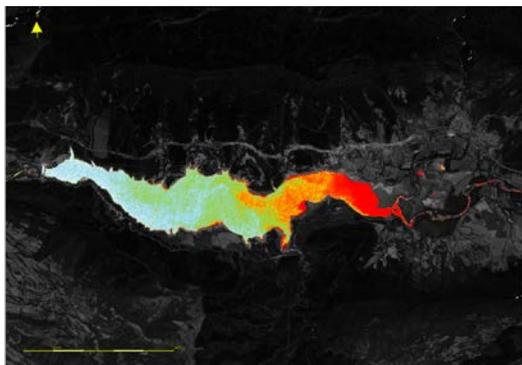
MAS 34. Embalse de Baserca. Imagen del 28 de agosto de 2021.



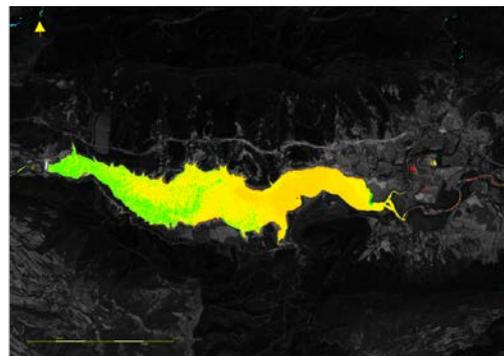
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



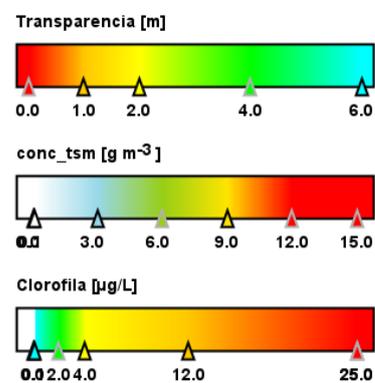
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,64 m	2,96 µg/L
Ultraoligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

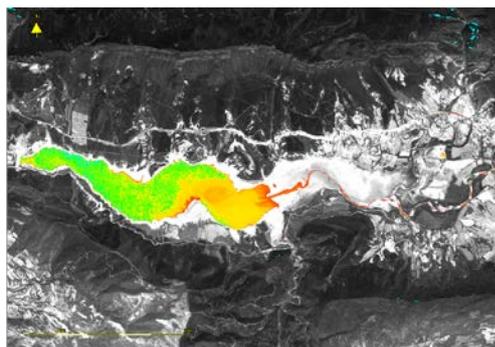
Estado trófico de la zona de presa.



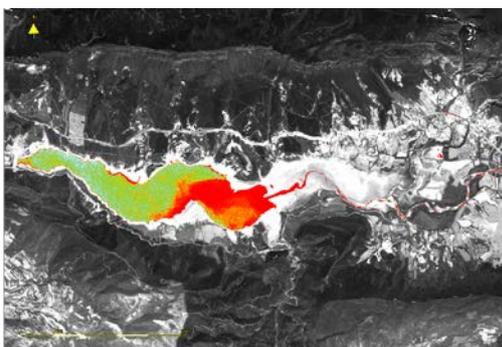
MAS 37. Embalse de Yesa. Imagen del 17 de julio de 2021



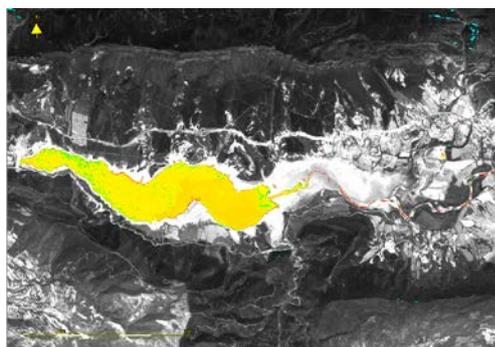
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



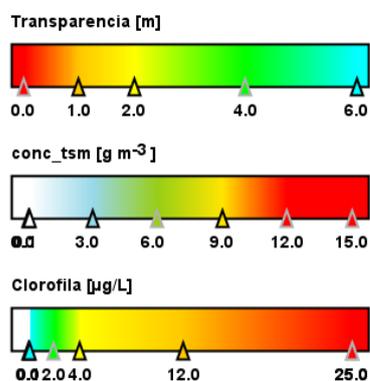
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,60 m	5,23 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

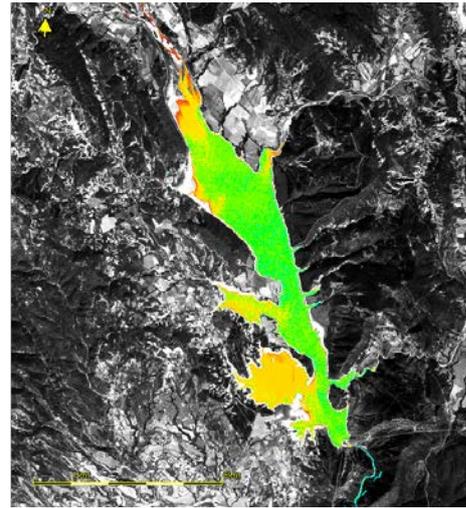
Estado trófico en la zona de presa.



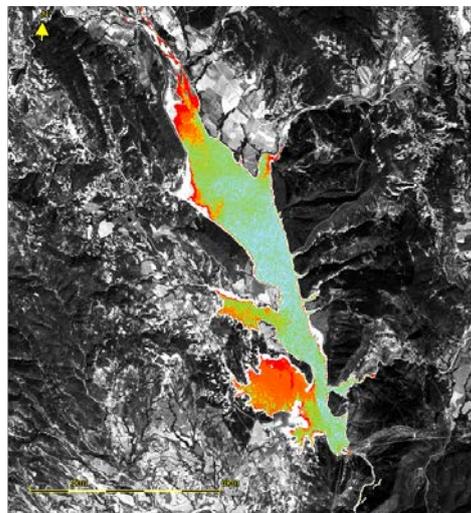
MAS 37. Embalse de Yesa. Imagen del 5 de septiembre de 2021



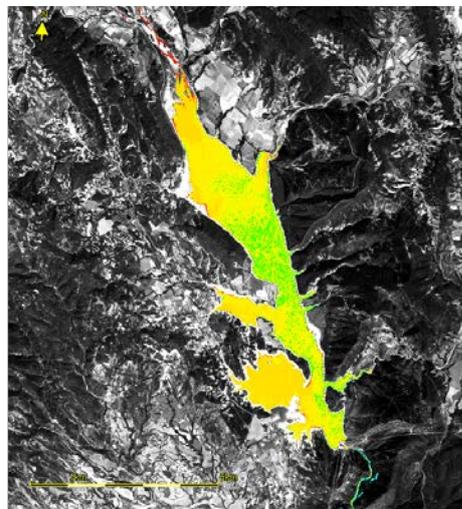
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



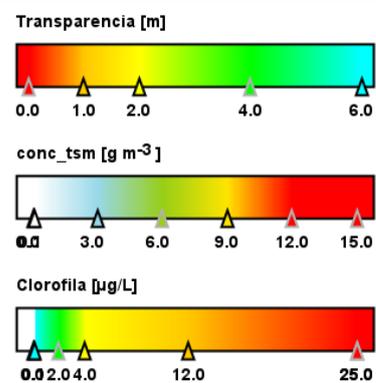
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
3,55 m	4,30 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

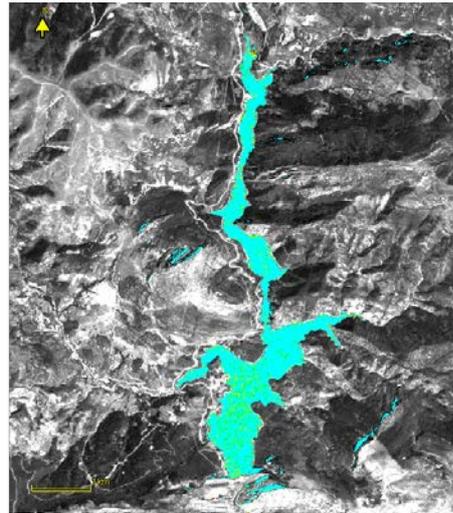
Estado trófico en la zona de presa.



MAS 42. Embalse de Mediano. Imagen del 19 de julio de 2021



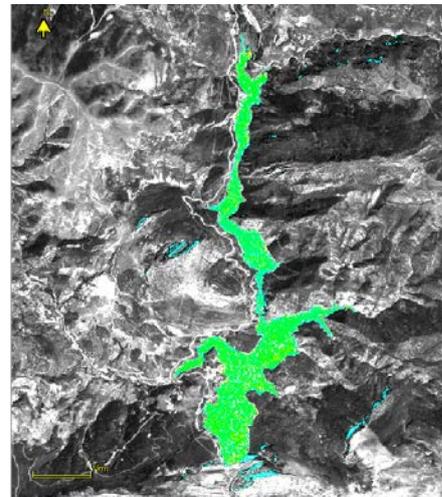
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



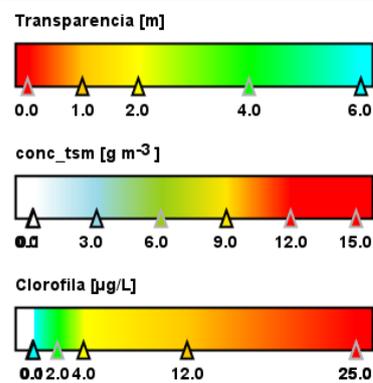
Materia en suspensión (TSM)



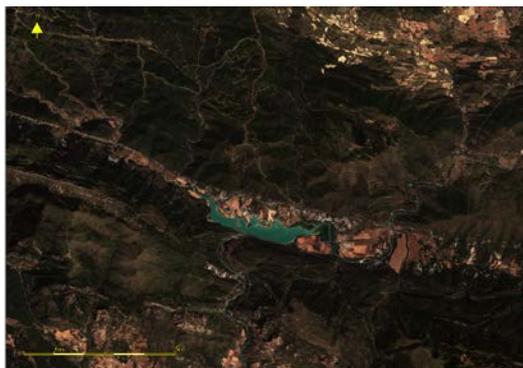
Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
10,95 m	1,50 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

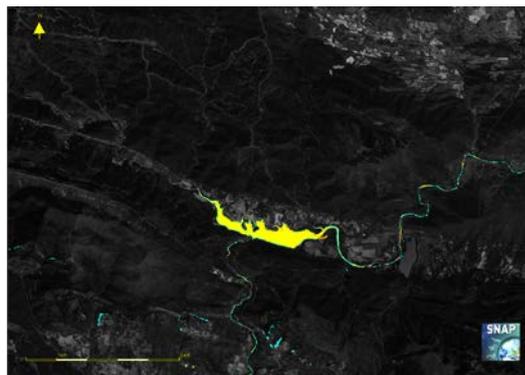
Estado trófico en la zona de presa.



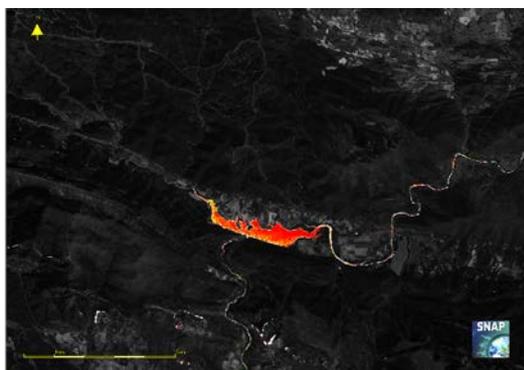
MAS 43. Embalse de Escales. Imagen del 19 de julio de 2021



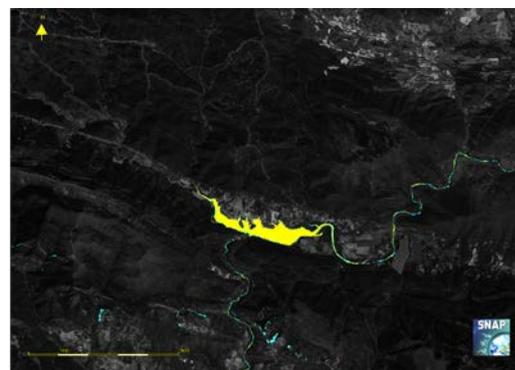
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



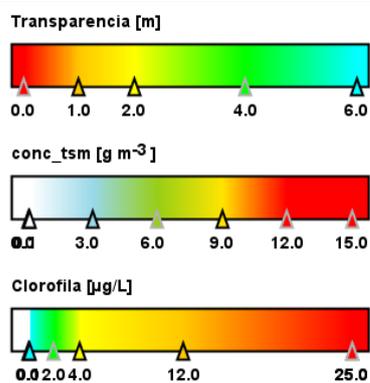
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
1,37 m	8,31 $\mu\text{g/L}$
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

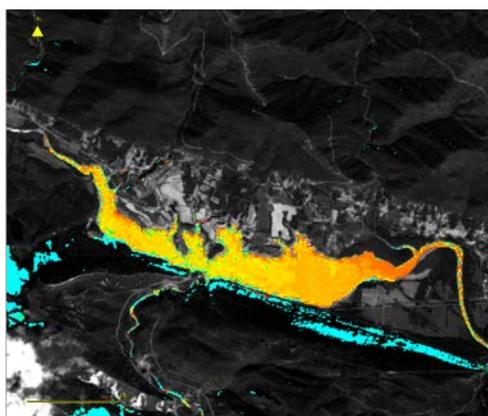
Estado trófico de la zona de presa.



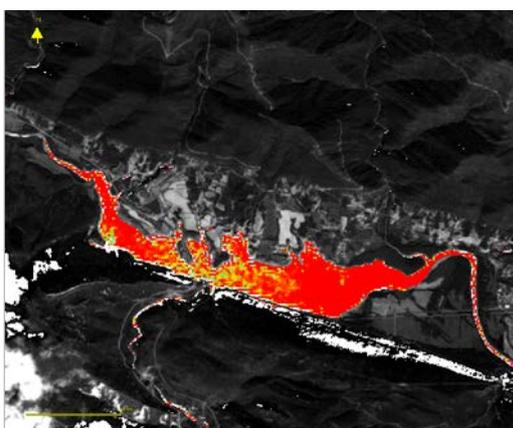
MAS 44. Embalse de La Peña. Imagen del 17 de julio de 2021



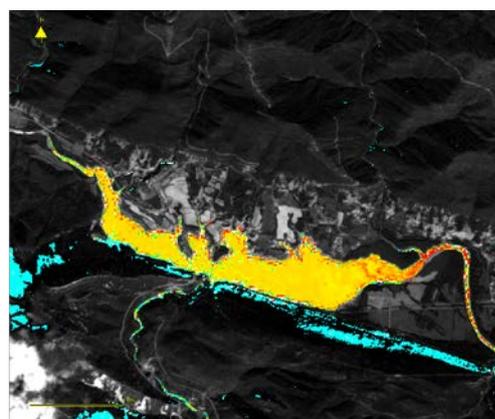
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

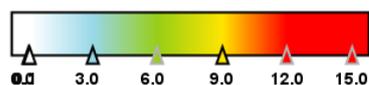
Transparencia	Clorofila a
1,80 m	9,42 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

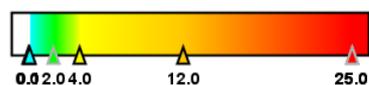
Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



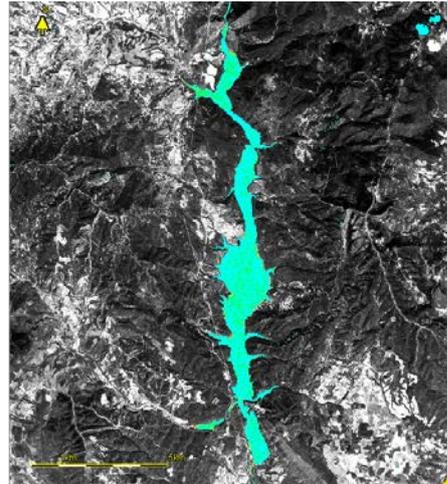
Clorofila [µg/L]



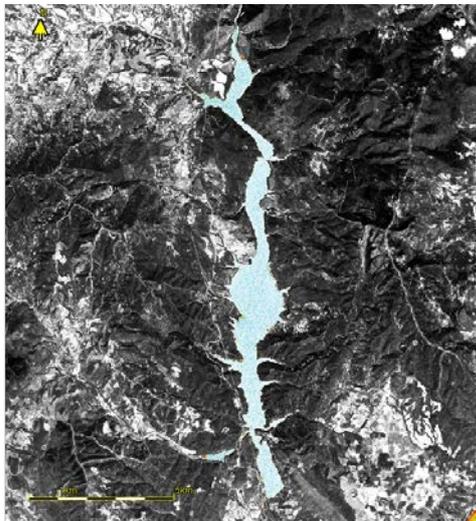
MAS 44 Embalse de La Peña. Imagen del 17 de septiembre de 2021



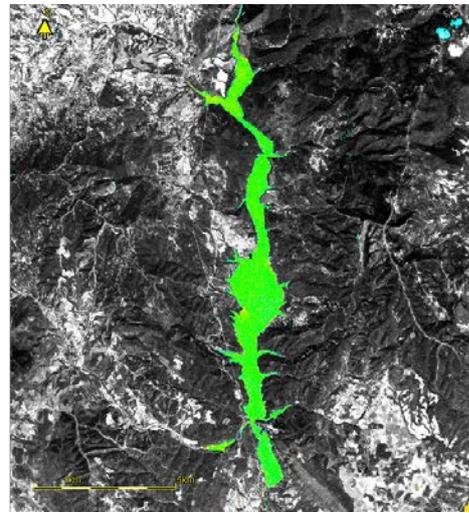
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



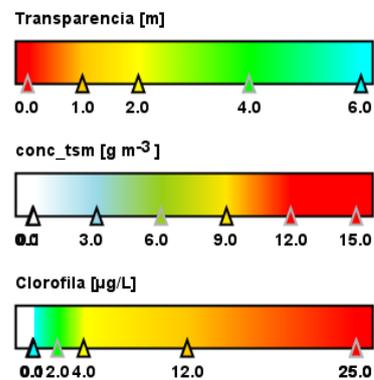
Materia en suspensión (TSM)



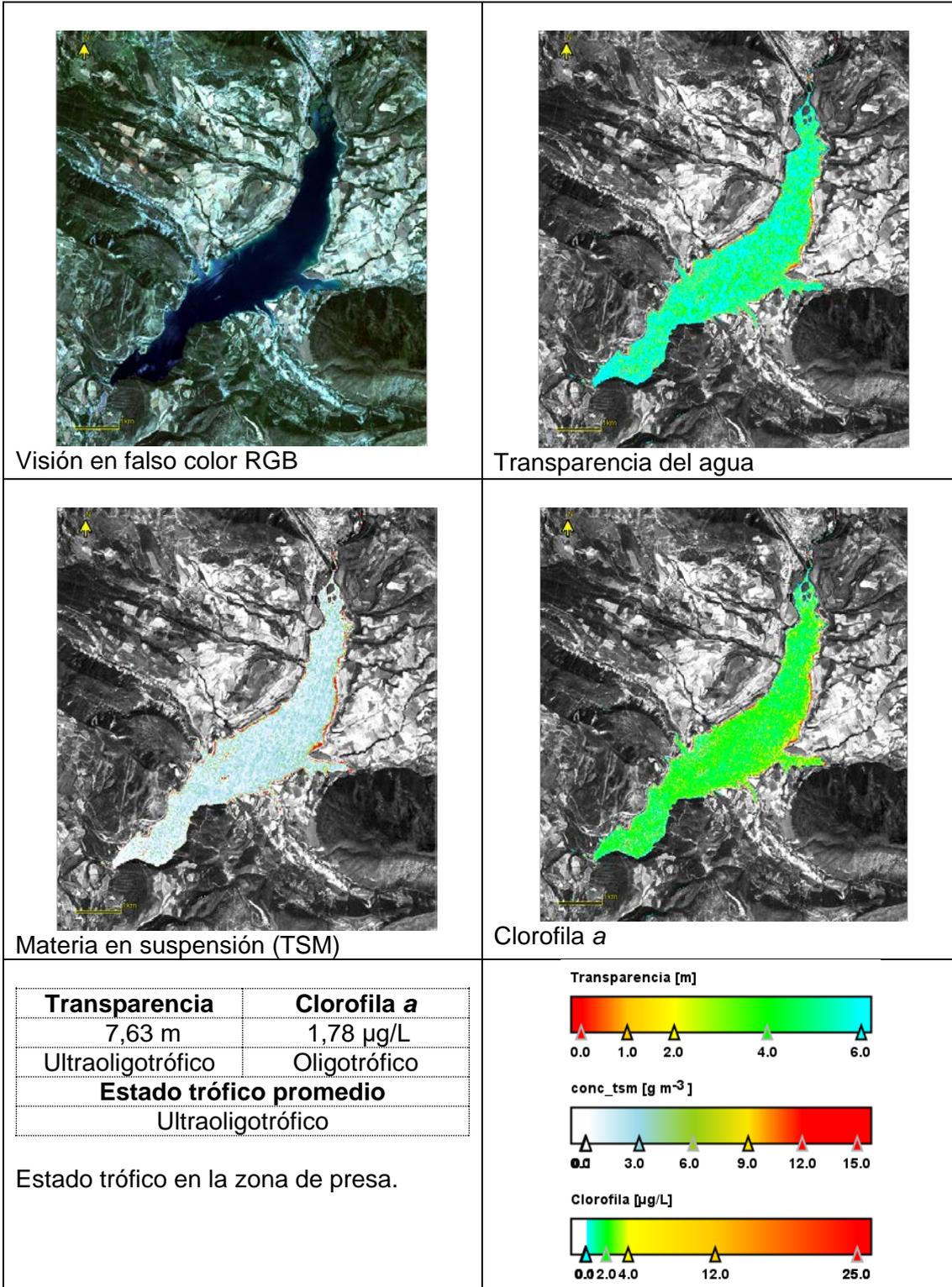
Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
8,69 m	2,04 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

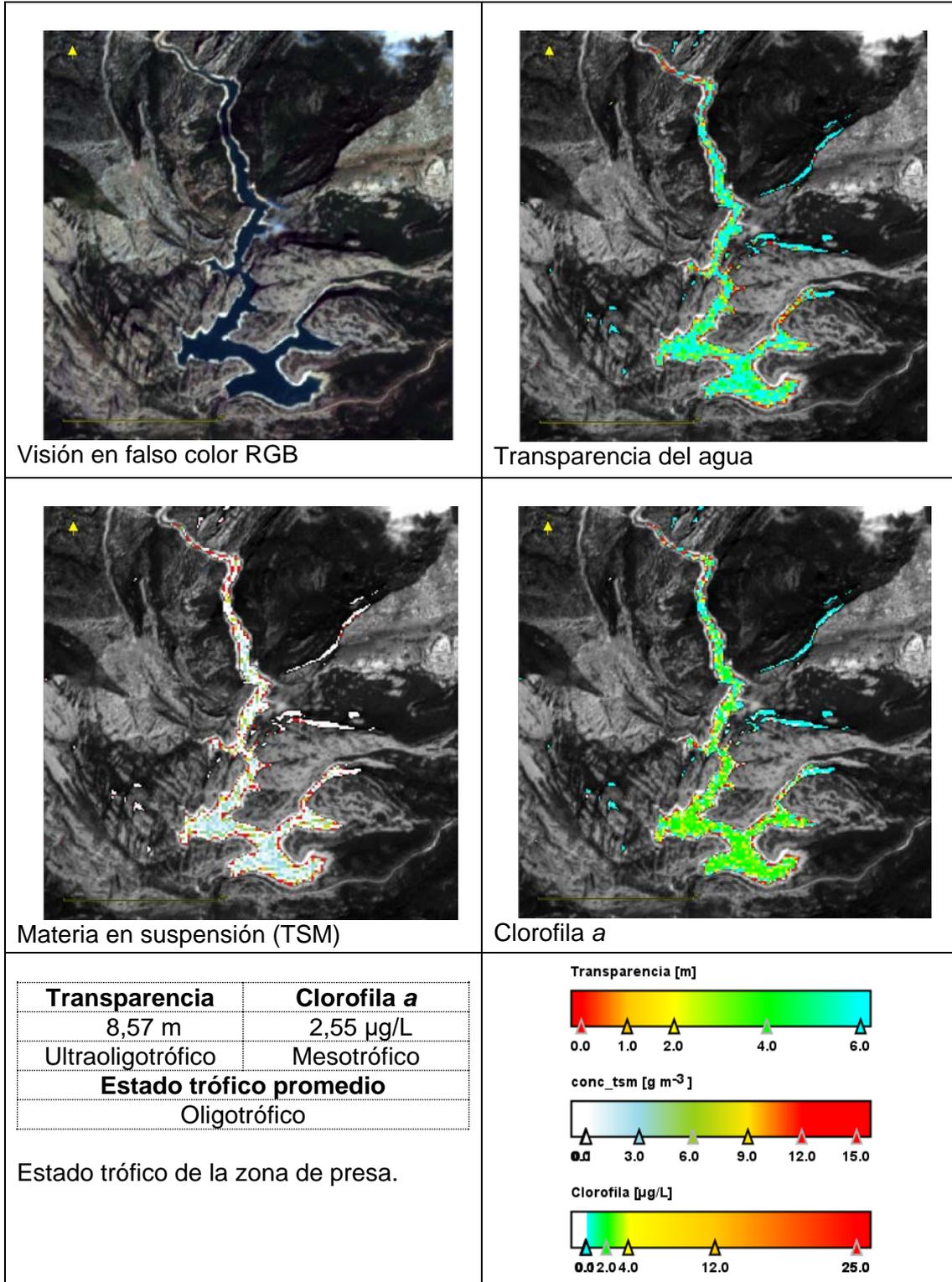
Estado trófico en la zona de presa.



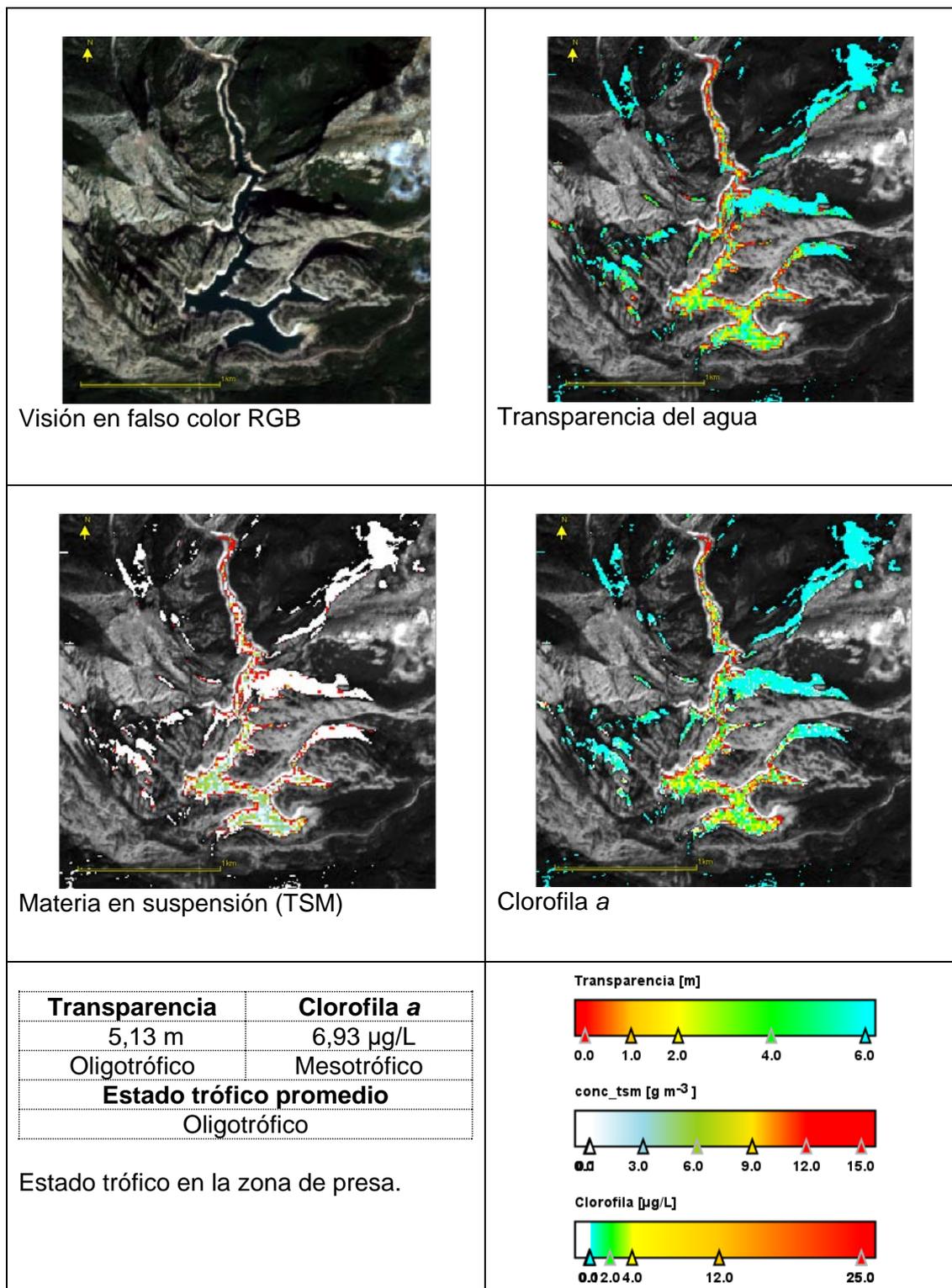
MAS 7. Embalse de El Grado. Imagen del 19 de julio de 2021



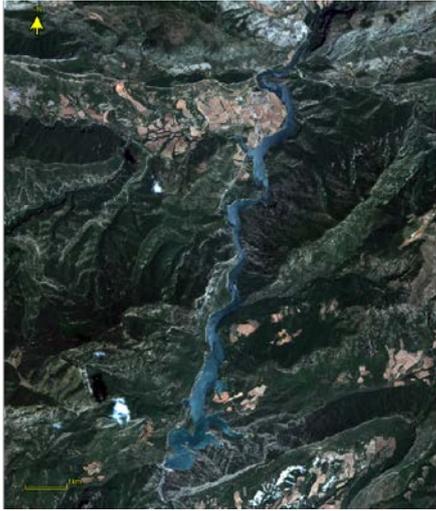
MAS 50. Embalse de Talarn. Imagen del 19 de julio de 2021



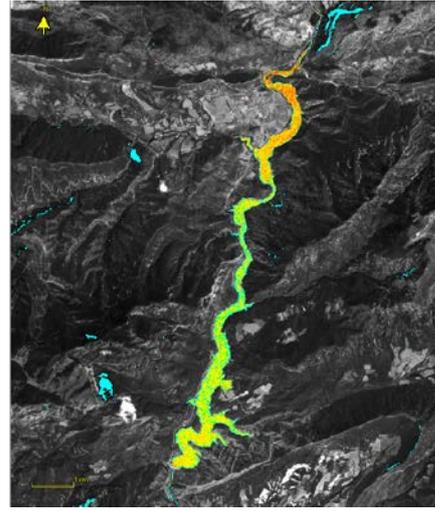
MAS 51. Embalse de Vadiello. Imagen del 19 de julio de 2021



MAS 51. Embalse de Vadiello. Imagen del 17 de septiembre de 2021



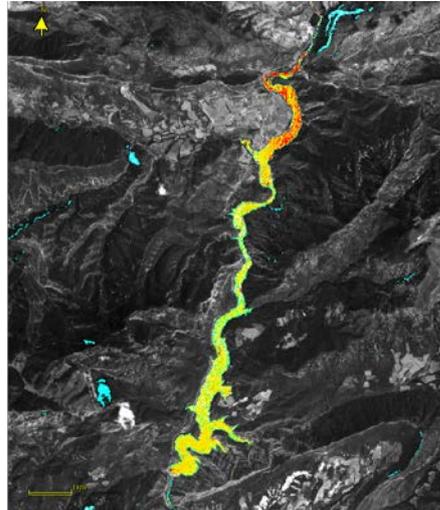
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

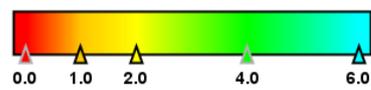


Clorofila a

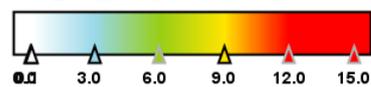
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,90 m	7,71 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

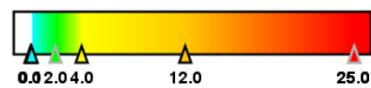
Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



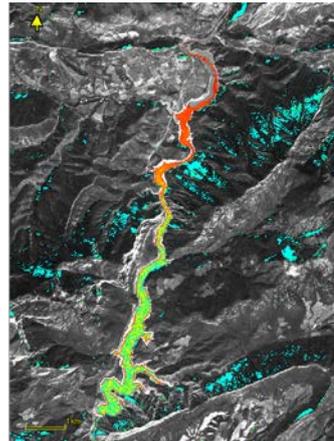
Clorofila [µg/L]



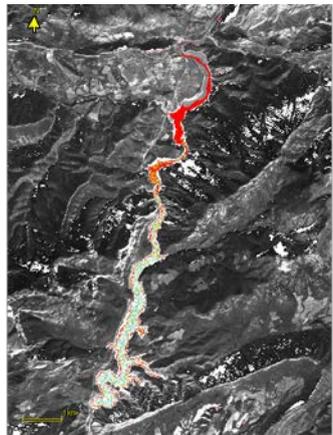
MAS 53. Embalse de Oliana. Imagen del 19 de julio de 2021



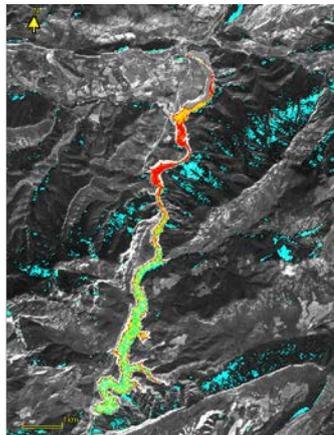
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



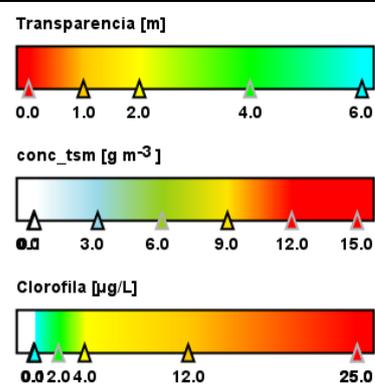
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,5 m	3,61 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

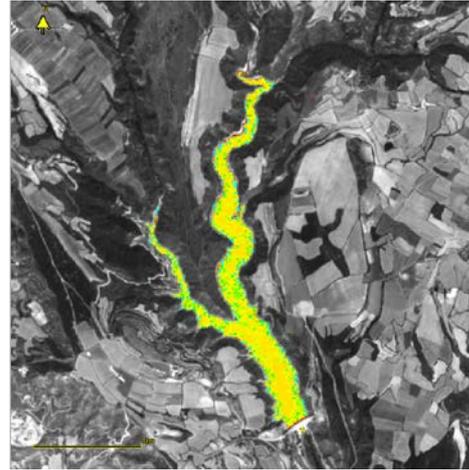
Estado trófico en la zona de presa.



MAS 53. Embalse de Oliana. Imagen del 19 de septiembre de 2021



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



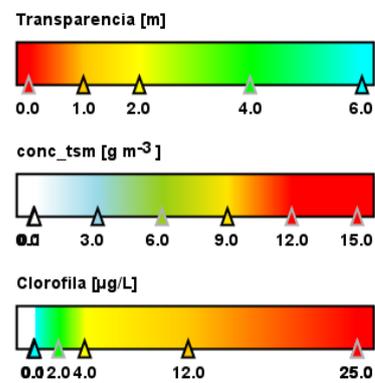
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
1,64 m	9,0 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

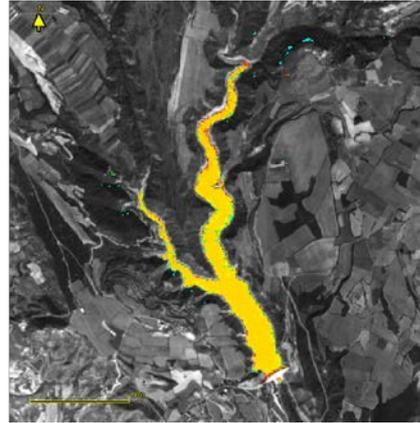
Estado trófico de la zona de presa.



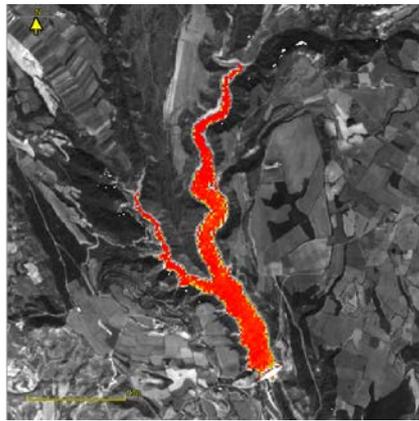
MAS 54. Embalse de Montearagón. Imagen del 19 de julio de 2021



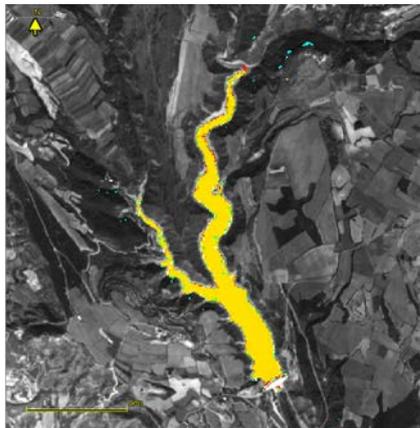
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



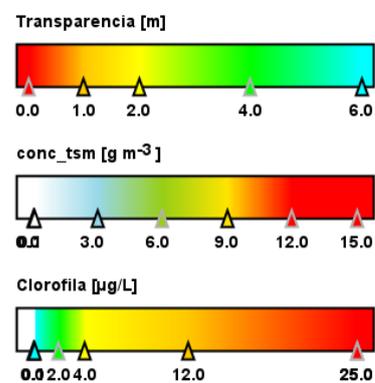
Materia en suspensión (TSM)



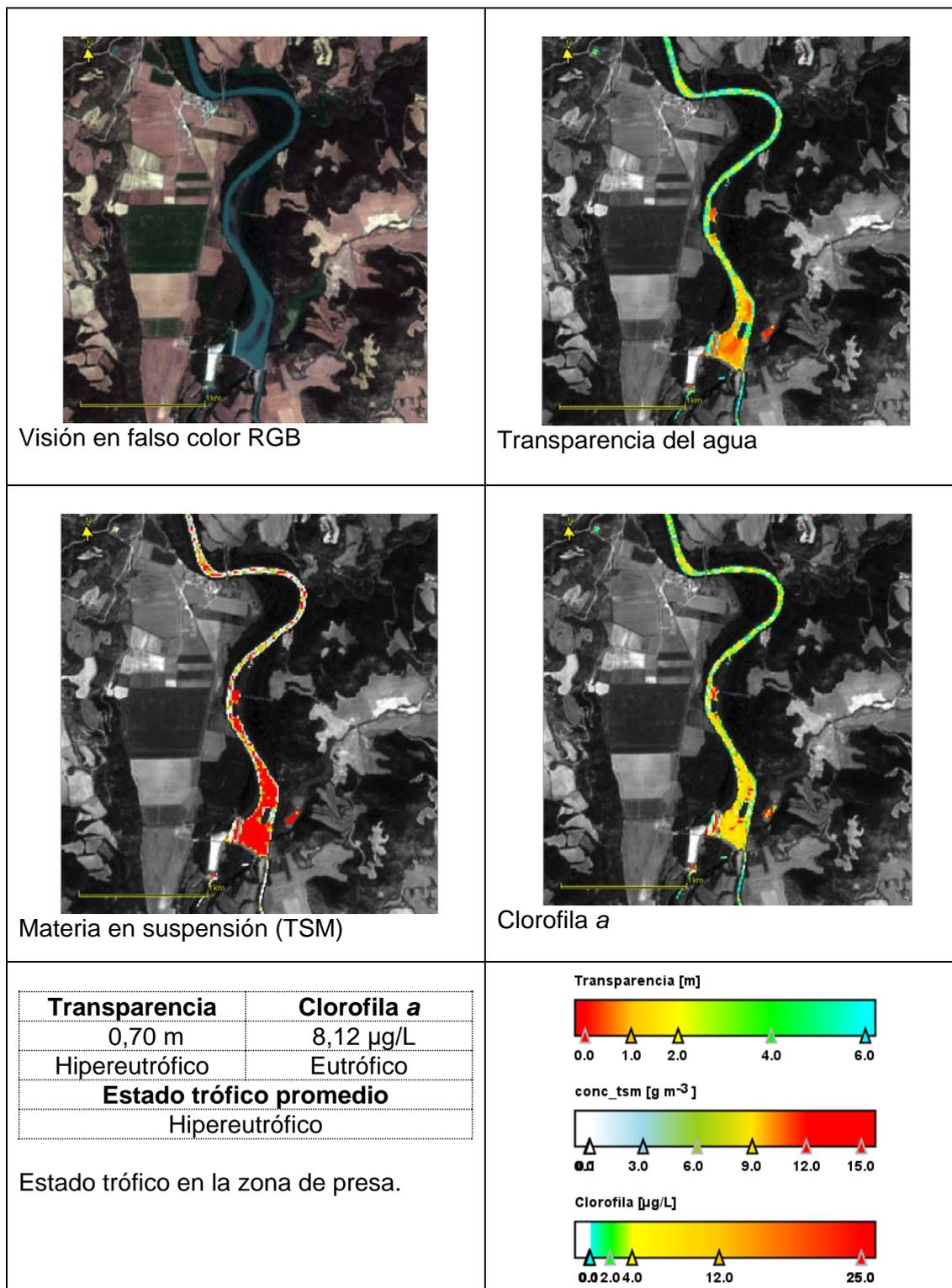
Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
1,34 m	8,42 µg/L
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



MAS 54. Embalse de Montearagon. Imagen del 17 de septiembre de 2021



MAS 55. Embalse de Ardisa. Imagen del 17 de julio de 2021



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

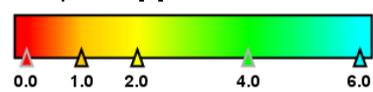


Clorofila a

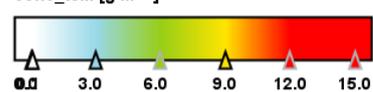
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,62	7,16 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



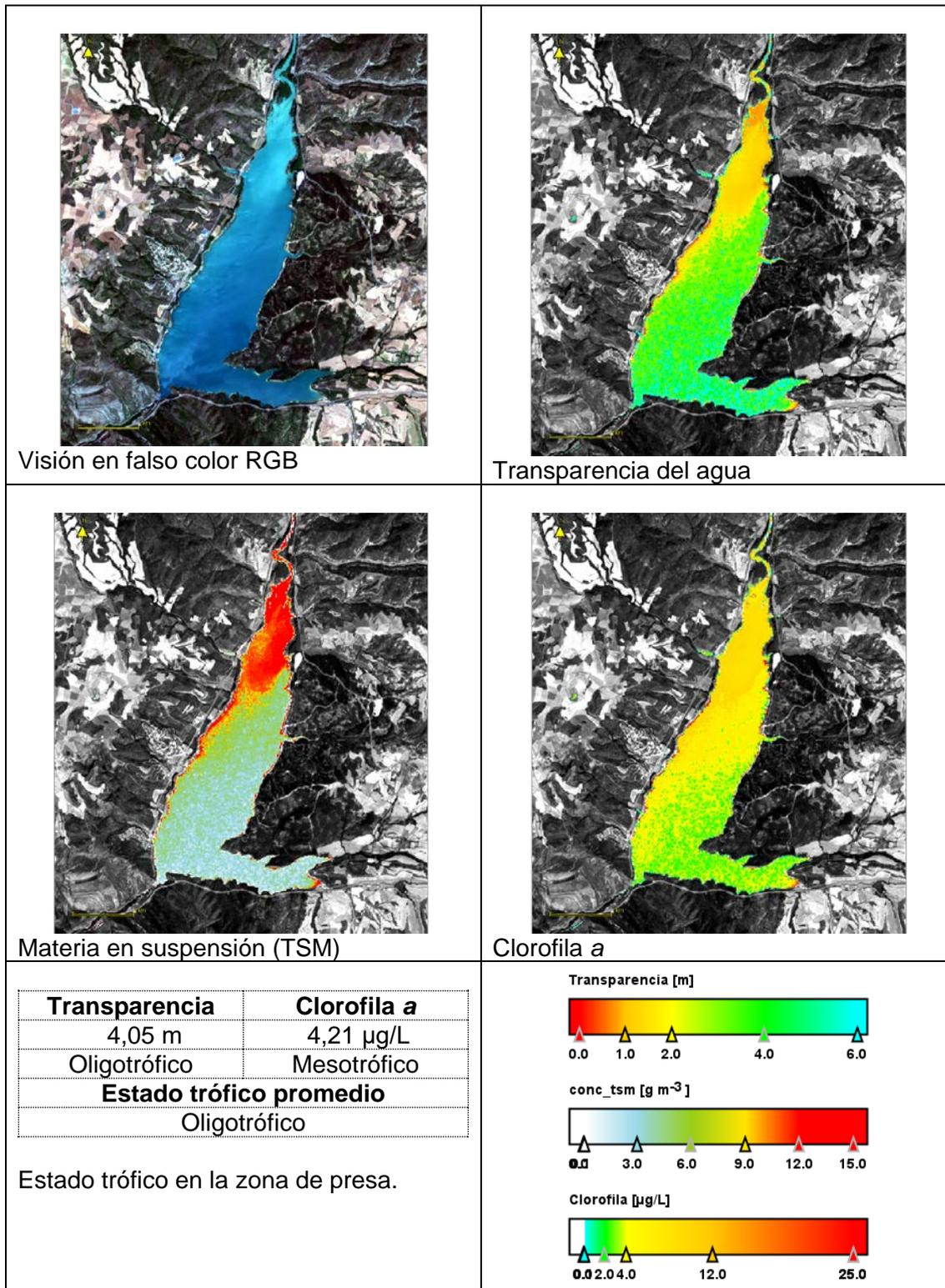
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



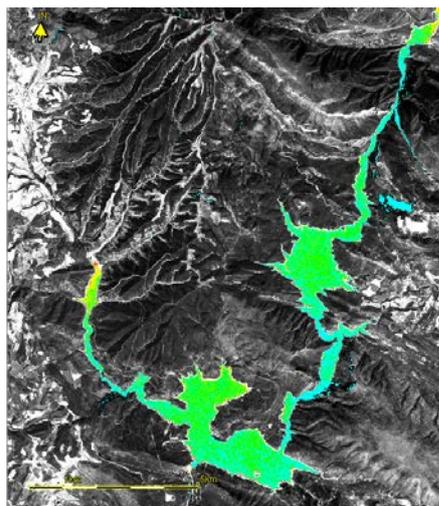
MAS 55. Embalse de Ardisa. Imagen del 17 de septiembre de 2021



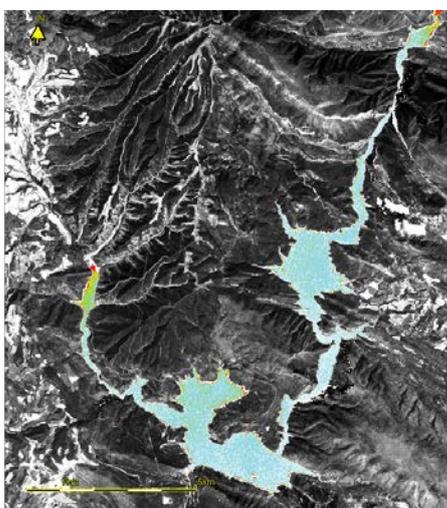
MAS 56. Embalse de Barasona. Imagen del 19 de julio de 2021



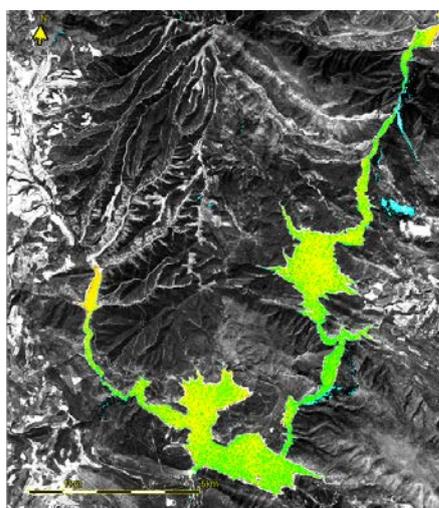
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



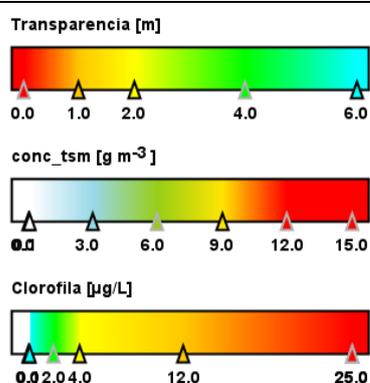
Materia en suspensión (TSM)



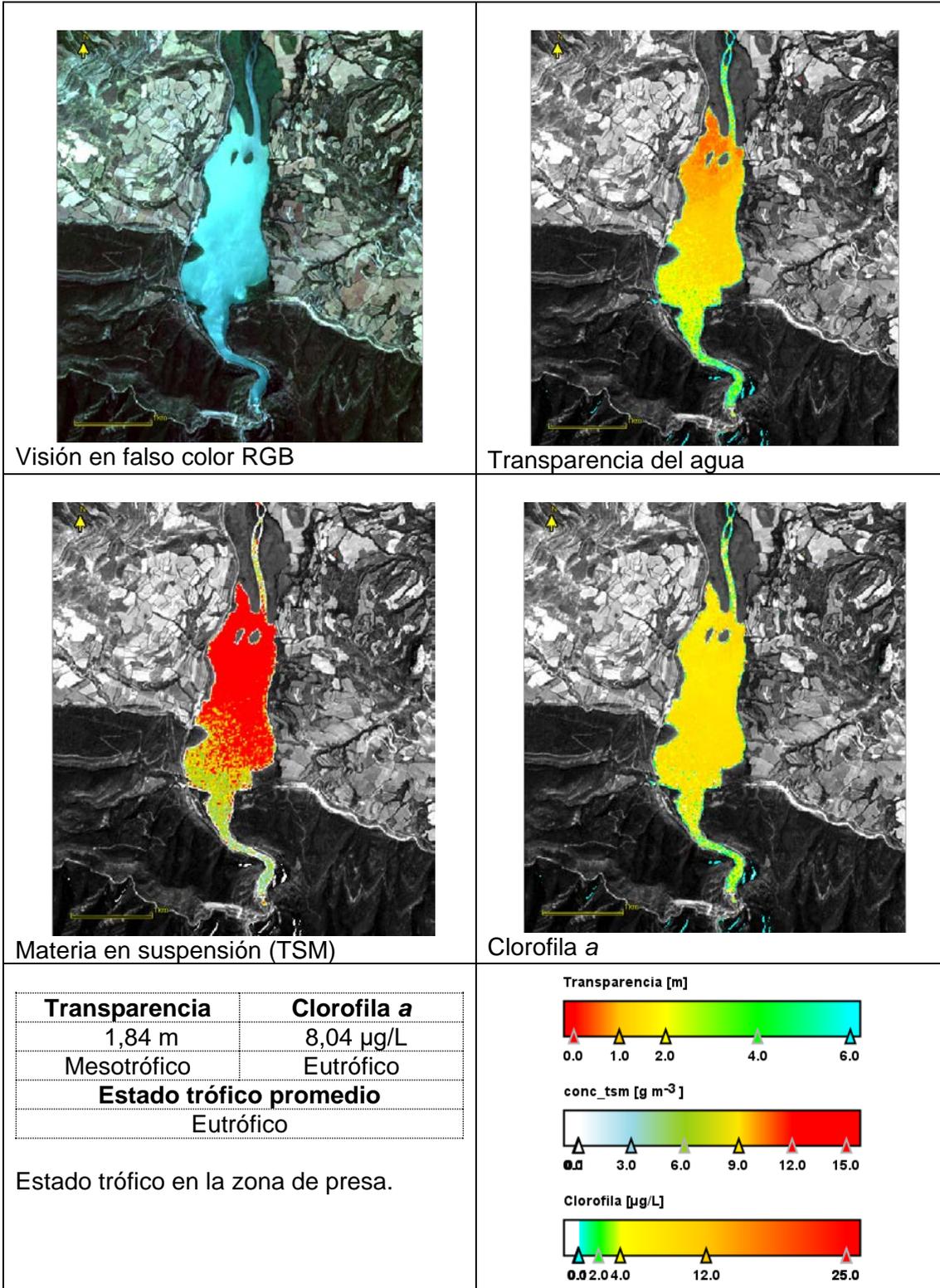
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
4,97 m	3,54 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



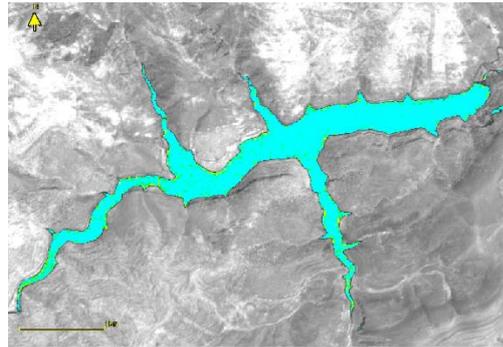
MAS 58. Embalse de Canelles. Imagen del 19 de julio de 2021



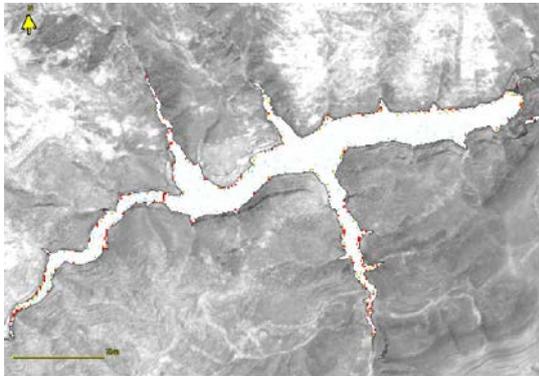
MAS 59. Embalse de Terradets. Imagen del 19 de julio de 2021



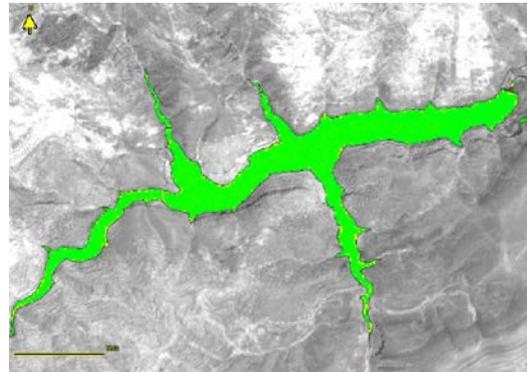
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

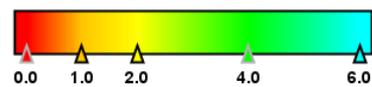


Clorofila a

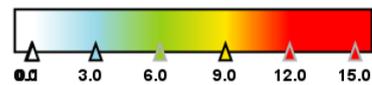
Transparencia	Clorofila a
8,14 m	2,16 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



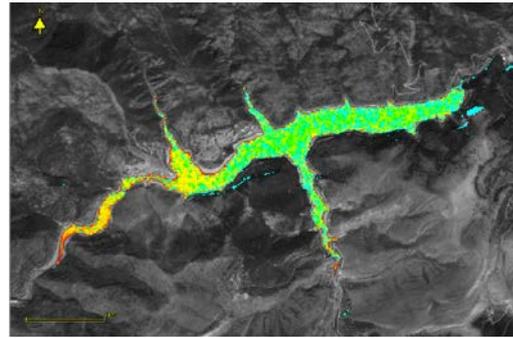
Clorofila [µg/L]



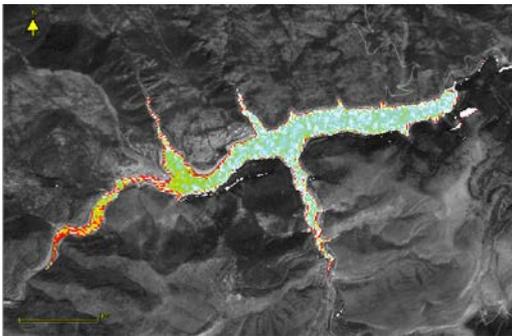
MAS 61. Embalse de Mansilla. Imagen del 22 de julio de 2021.



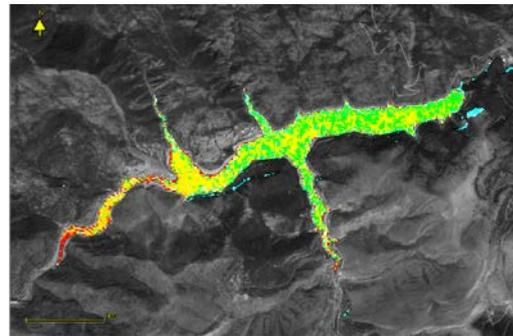
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



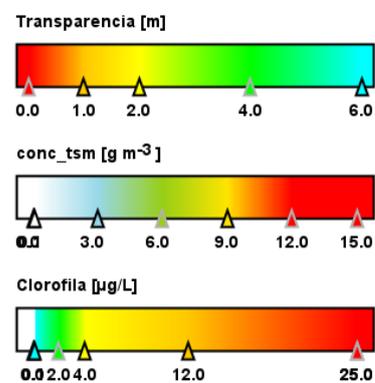
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
5,46 m	2,67 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

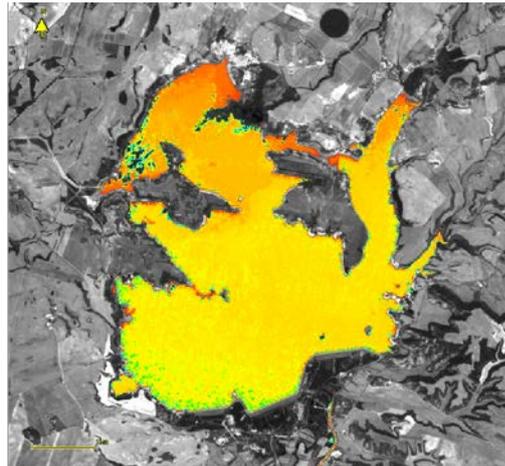
Estado trófico en la zona de presa.



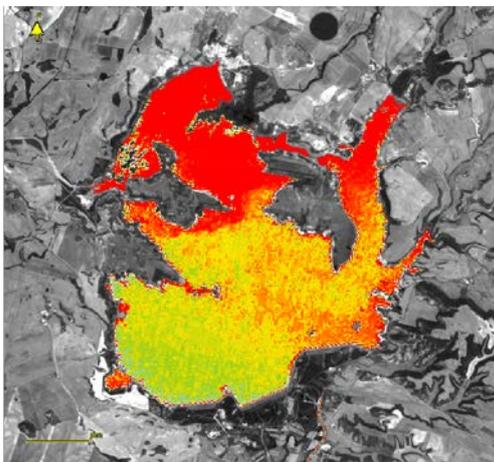
MAS 61. Embalse de Mansilla. Imagen del 31 de agosto de 2021



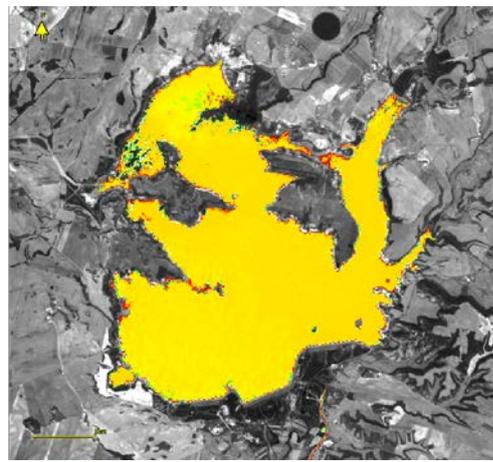
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



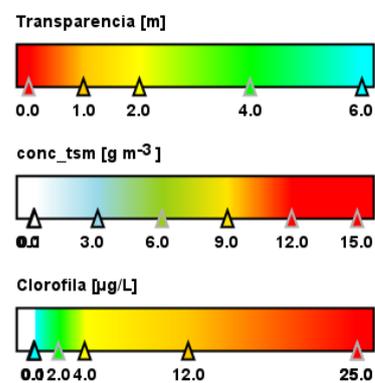
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,83 m	6,77 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

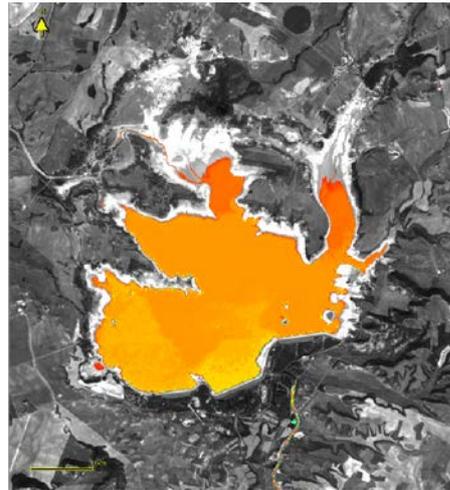
Estado trófico de la zona de presa.



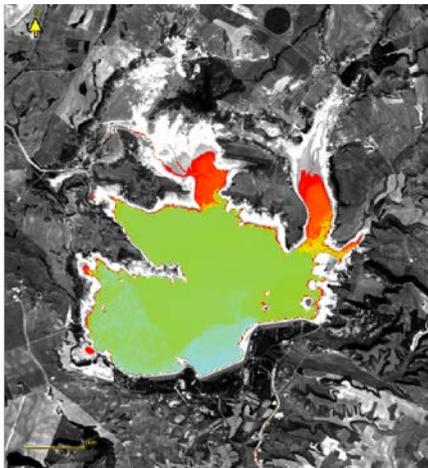
MAS 62. Embalse de La Sotonera. Imagen del 19 de julio de 2021



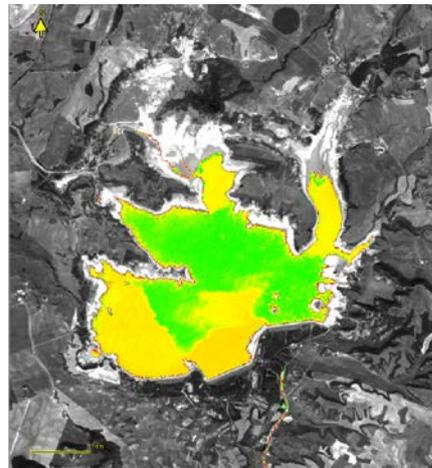
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



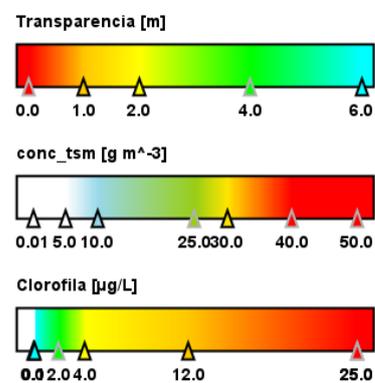
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
0,80 m	4,31 µg/L
Eutrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

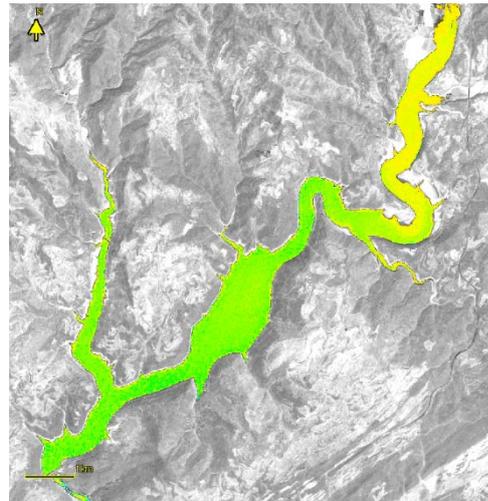
Estado trófico en la zona de presa.



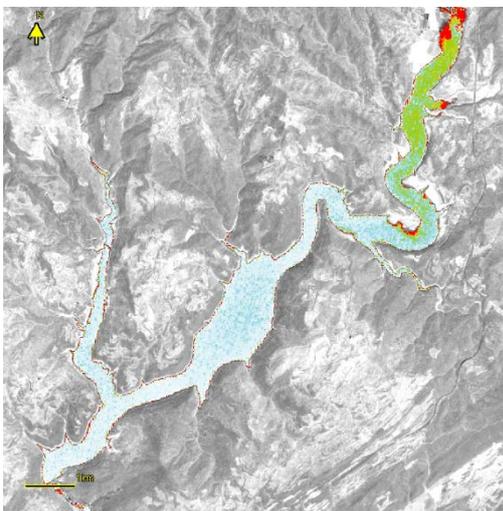
MAS 62. Embalse de La Sotonera. Imagen del 17 de septiembre de 2021



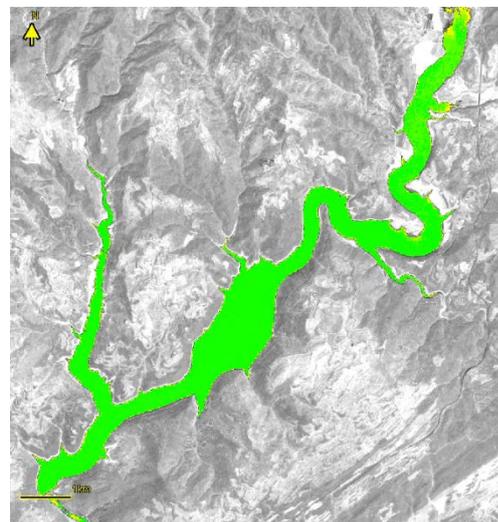
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



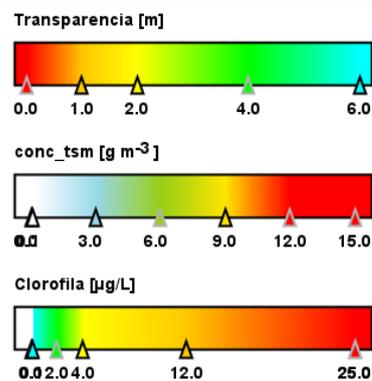
Materia en suspensión (TSM)



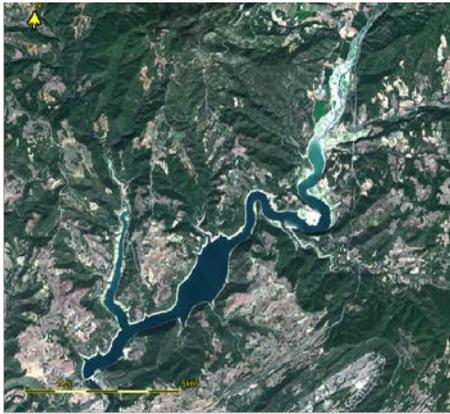
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,74 m	2,36 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

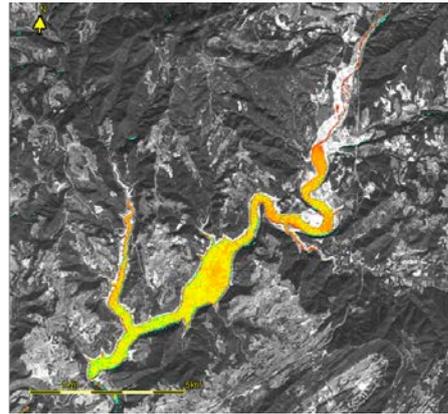
Estado trófico en la zona de presa.



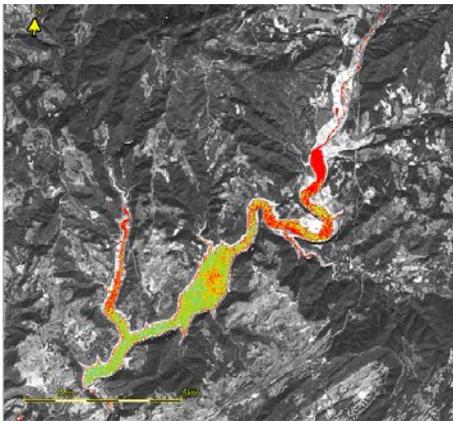
MAS 63. Embalse de Rialb. Imagen del 13 de agosto de 2021.



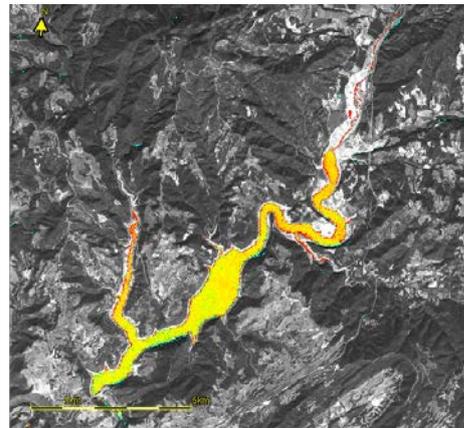
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



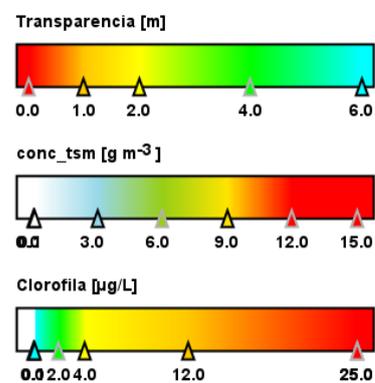
Materia en suspensión (TSM)



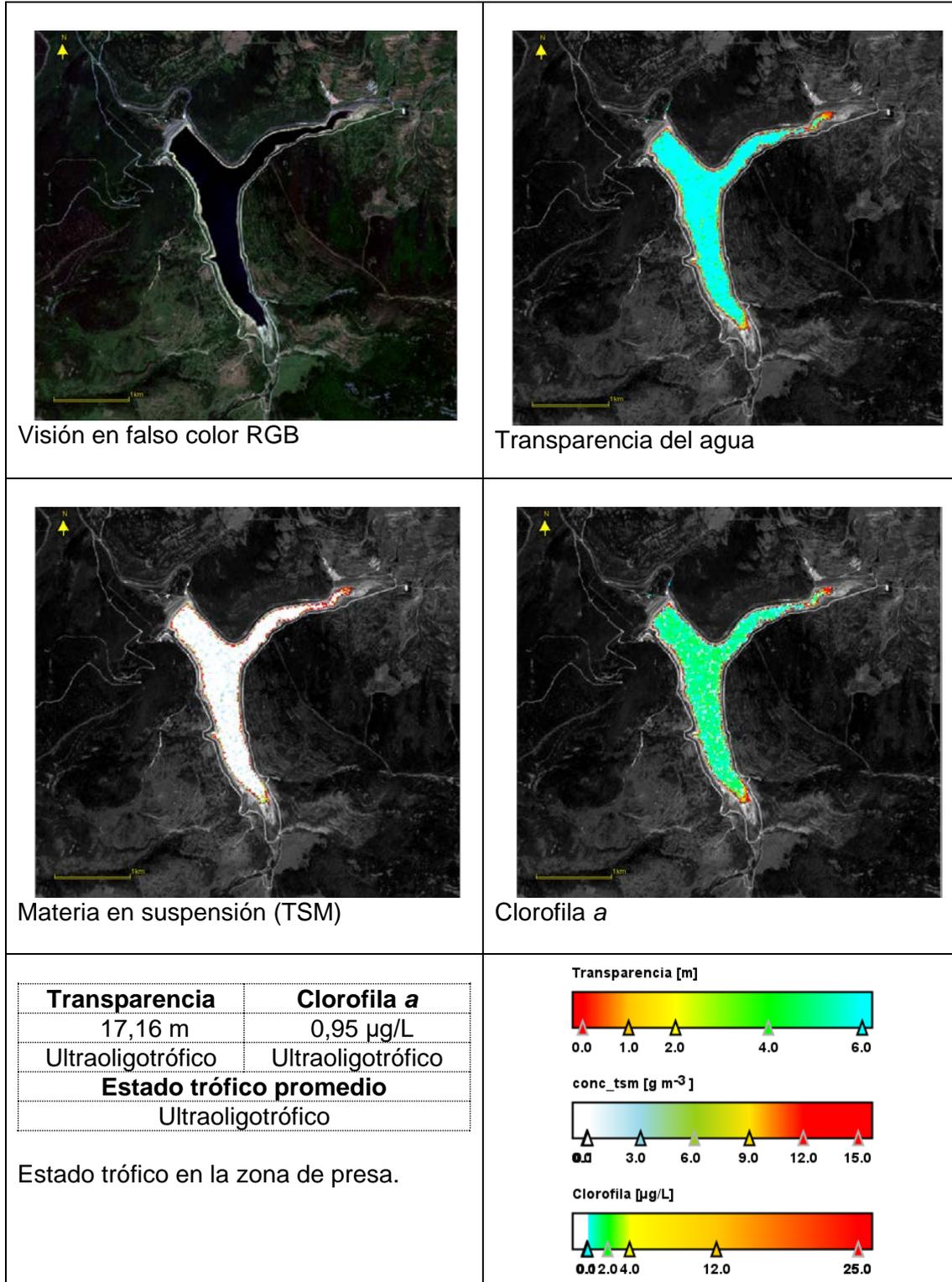
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,58 m	6,28 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



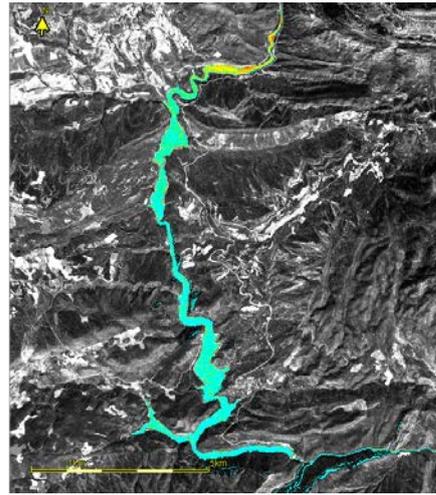
MAS 63. Embalse de Rialb. Imagen del 19 de septiembre de 2021



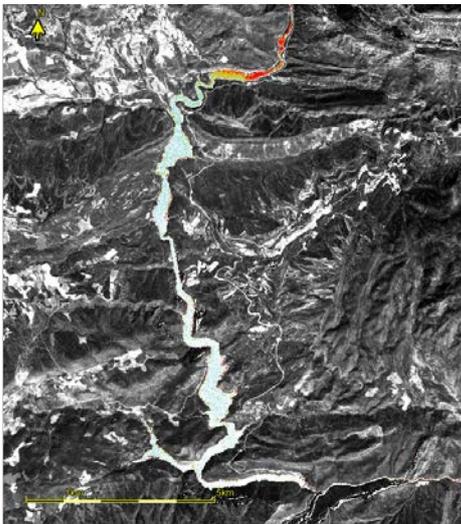
MAS 64. Embalse de Pajares. Imagen del 17 de julio de 2021



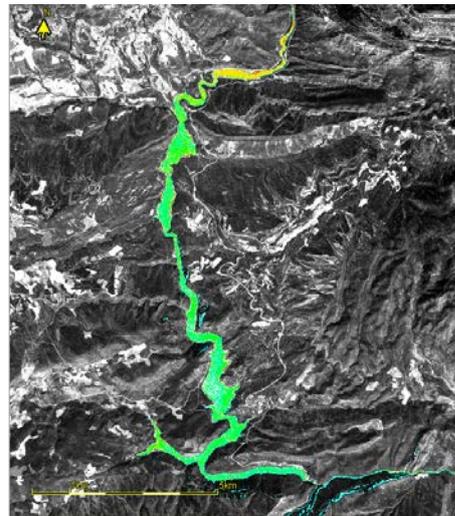
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

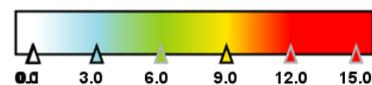
Transparencia	Clorofila a
7,94 m	0,83 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



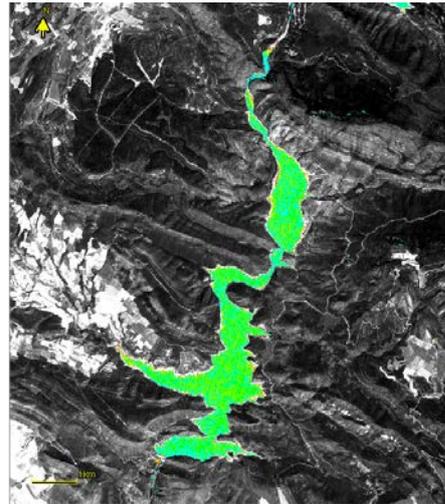
Clorofila [µg/L]



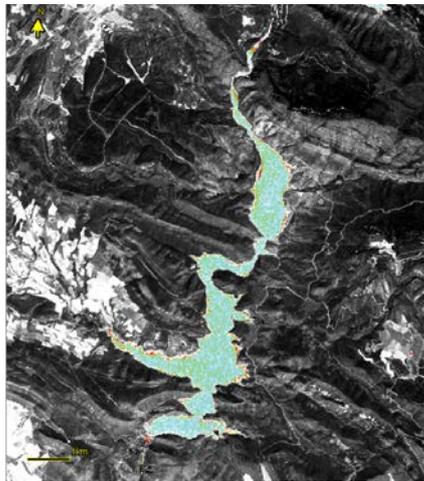
MAS 65. Embalse de Camarasa. Imagen del 19 de julio de 2021



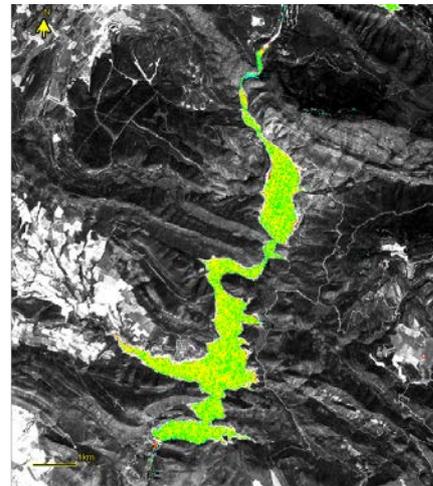
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

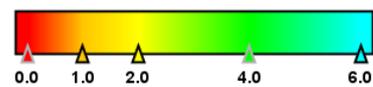


Clorofila a

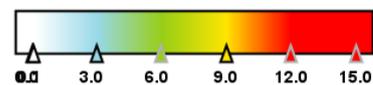
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,91 m	3,47 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



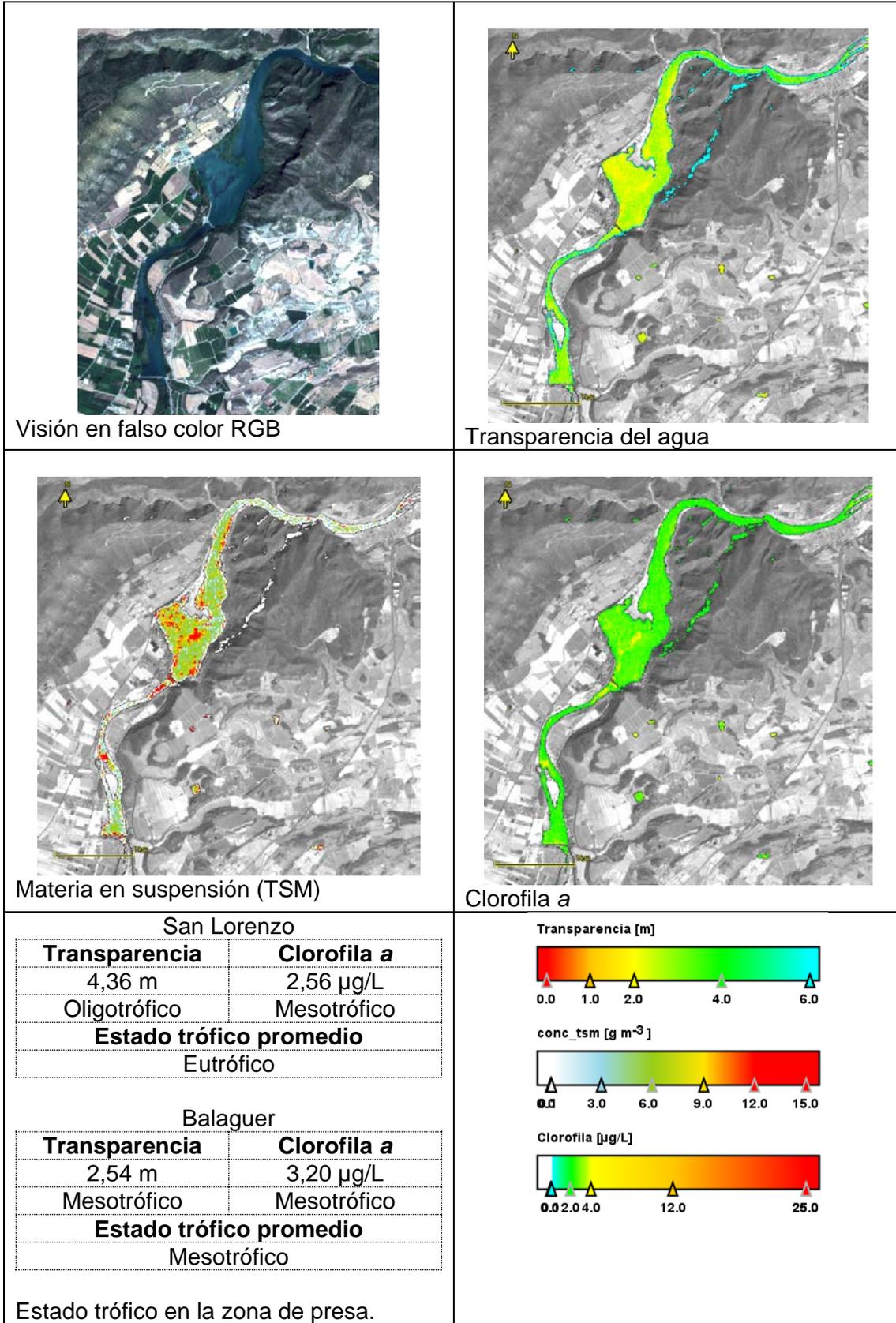
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



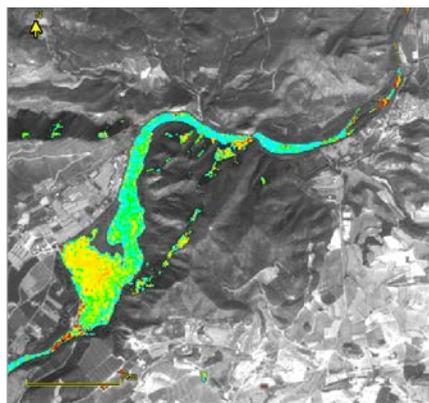
MAS 66. Embalse de Santa Ana. Imagen del 19 de julio de 2021



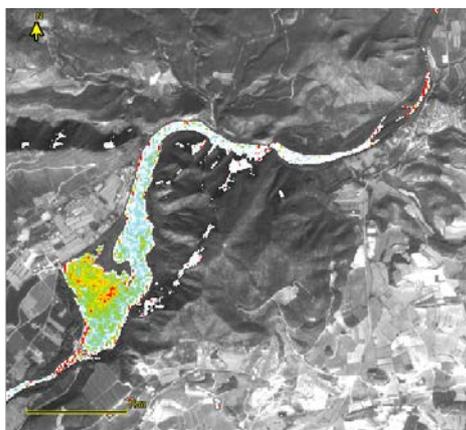
MAS 67 / MAS 1049. Embalse de San Lorenzo (superior) y Embalse de Balaguer (inferior). Imagen del 11 de agosto de 2021.



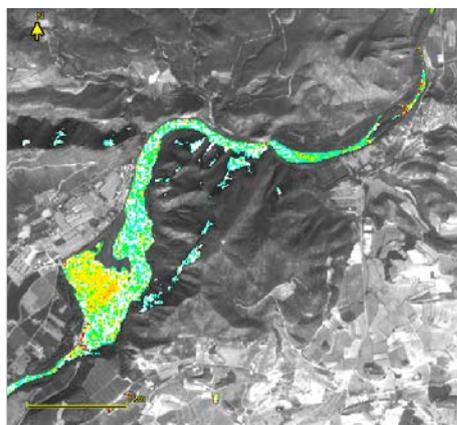
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



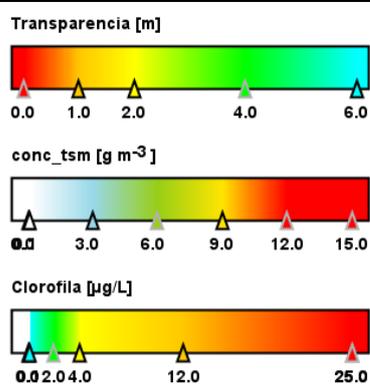
Materia en suspensión (TSM)



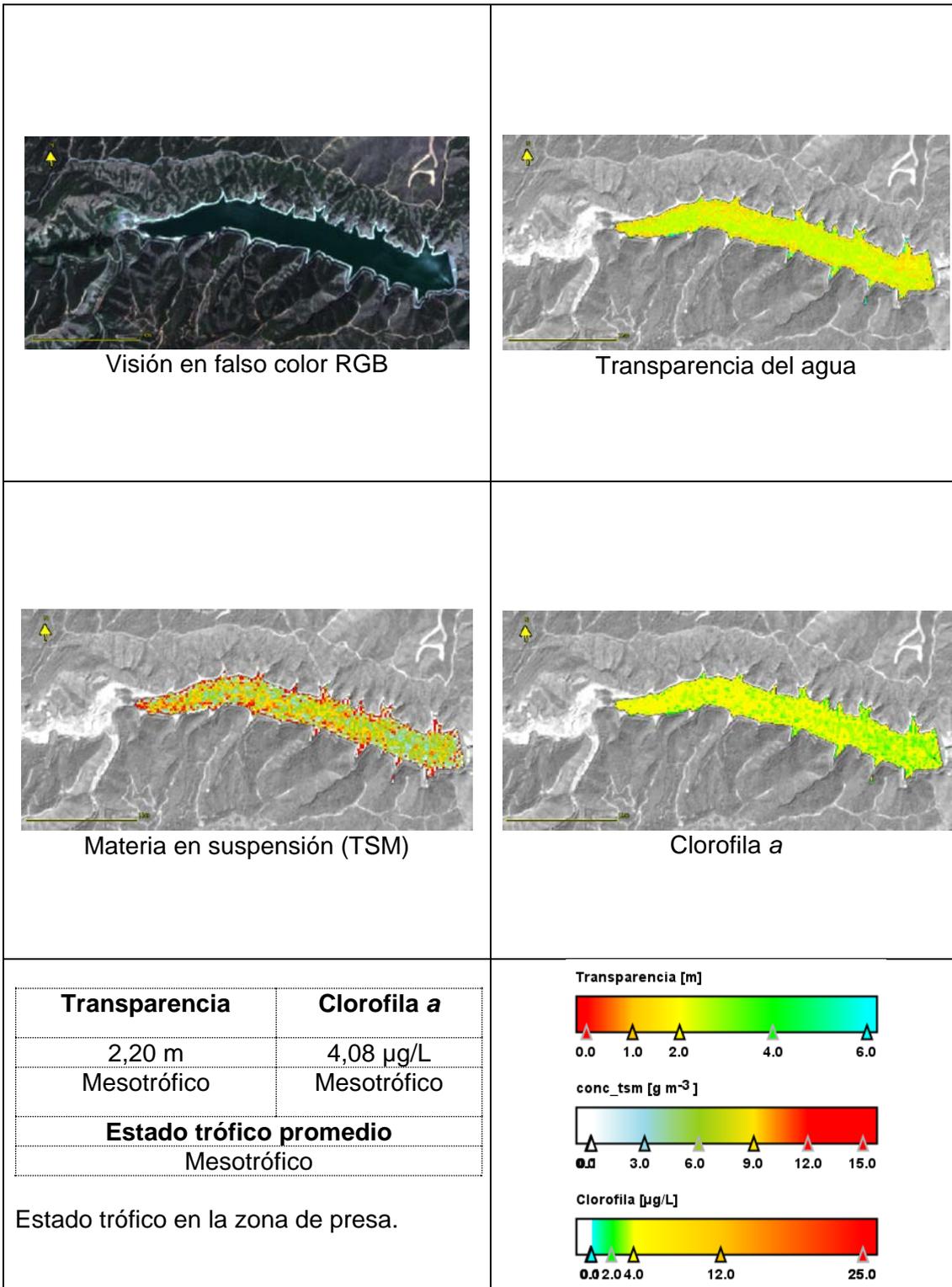
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,56 m	3,62 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



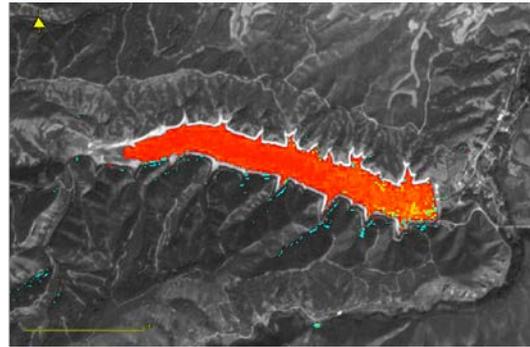
MAS 67. Embalse de San Lorenzo. Imagen del 27 de septiembre de 2021



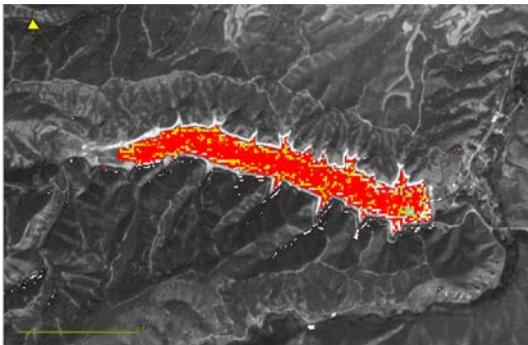
MAS 68. Embalse de El Val. Imagen del 22 de julio de 2021.



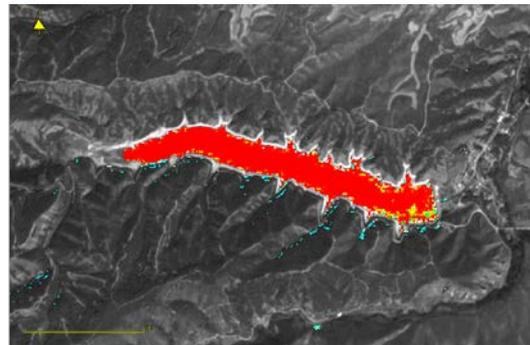
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



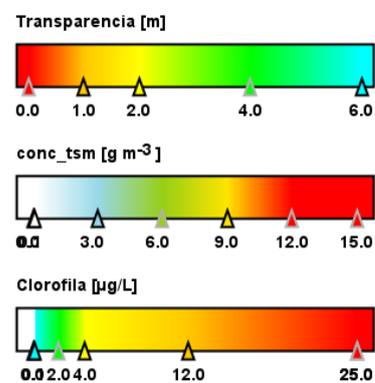
Materia en suspensión (TSM)



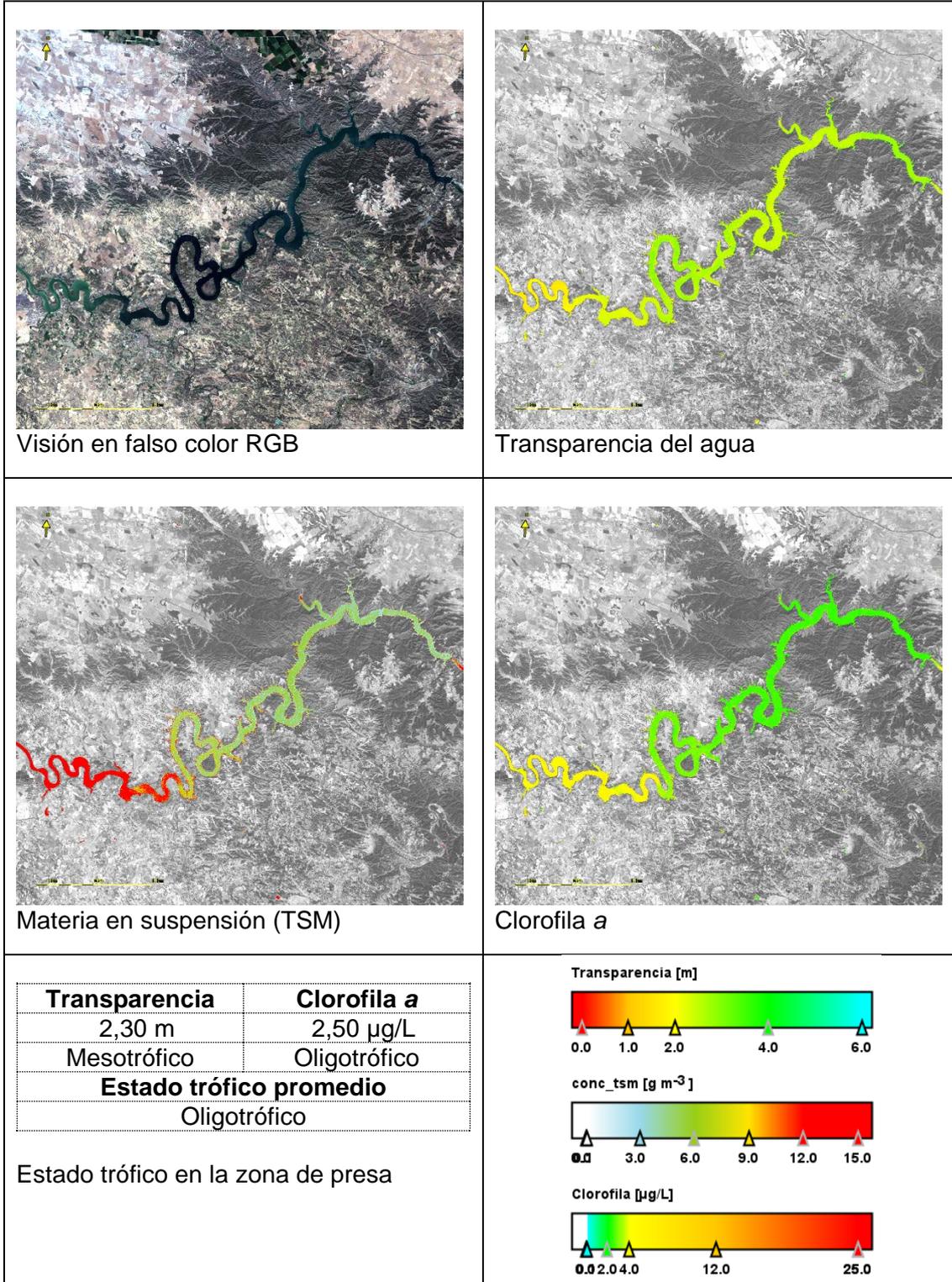
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
0,53 m	49,21 µg/L
Hipereutrófico	Hipereutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Hipereutrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



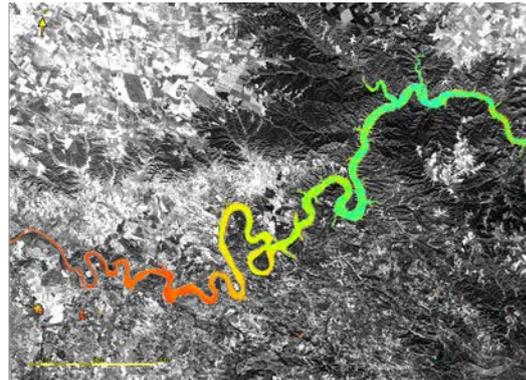
MAS 68. Embalse de El Val. Imagen de 31 de agosto de 2021



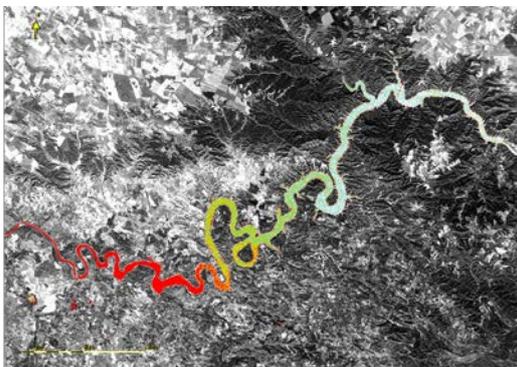
MAS 70. Embalse de Mequinzenza. Imagen del 19 de julio de 2021.



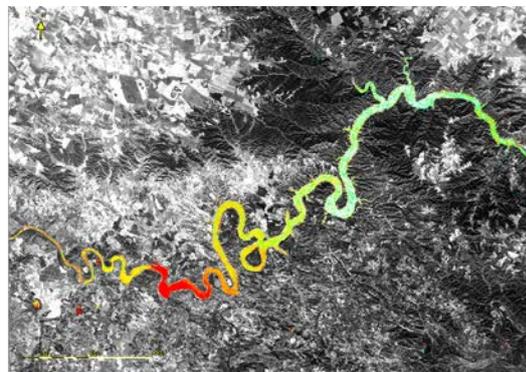
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



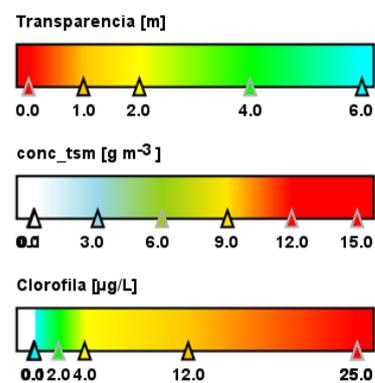
Materia en suspensión (TSM)



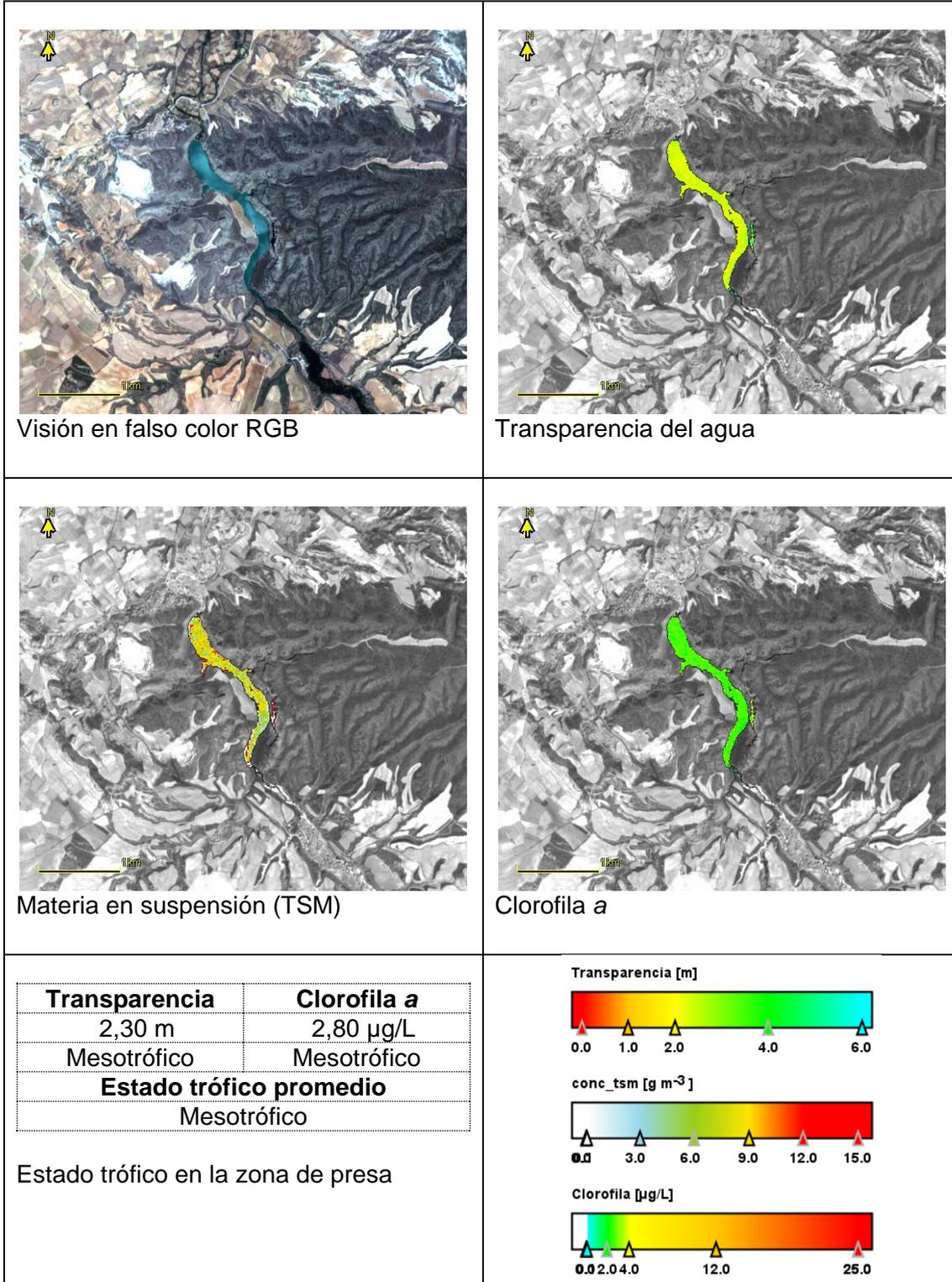
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,51 m	4,09 $\mu\text{g/L}$
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



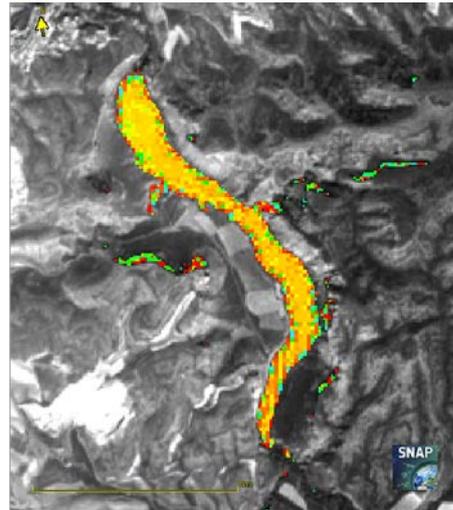
MAS 70. Embalse de Mequinenza. Imagen del 27 de septiembre de 2021



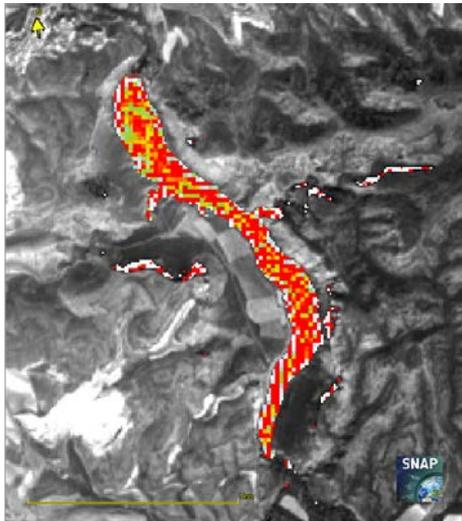
MAS 71. Embalse de Mezalocha. Imagen del 22 de julio de 2021.



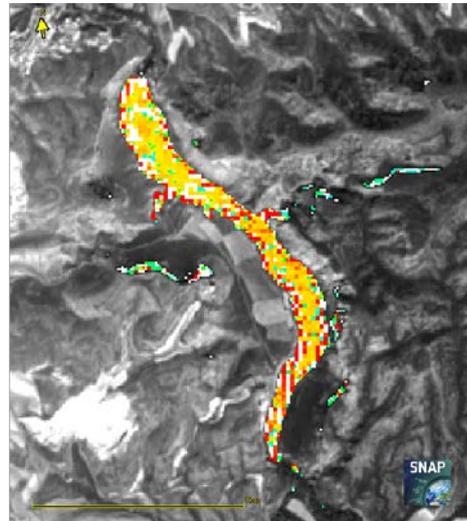
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

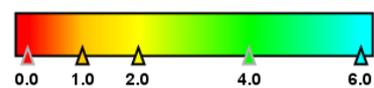


Clorofila a

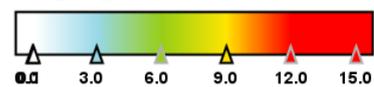
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,54 m	5,18 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



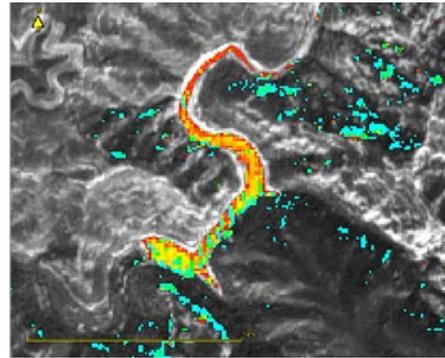
Clorofila [µg/L]



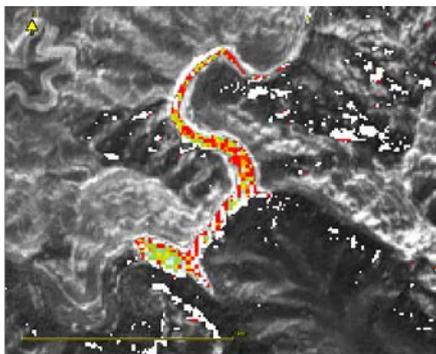
MAS 71. Embalse de Mezalocha. Imagen del 27 de septiembre de 2021



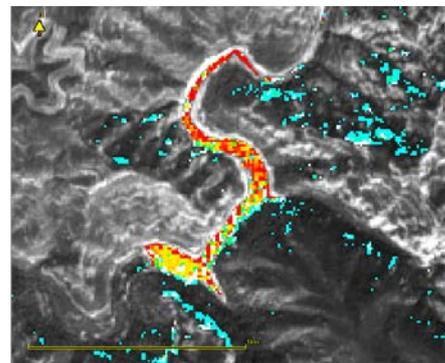
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



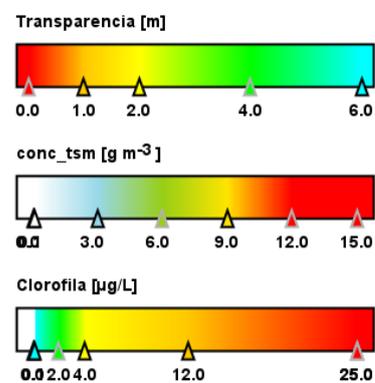
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,74 m	9,21 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

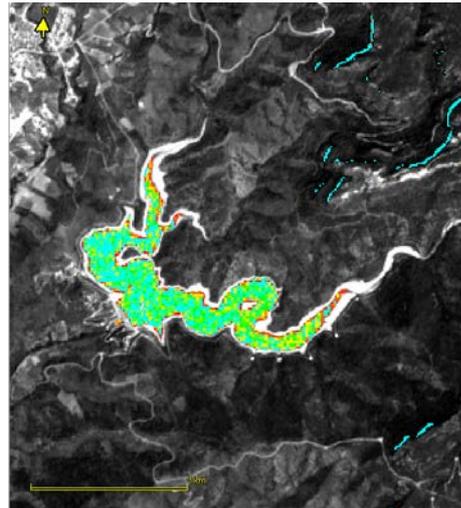
Estado trófico en la zona de presa.



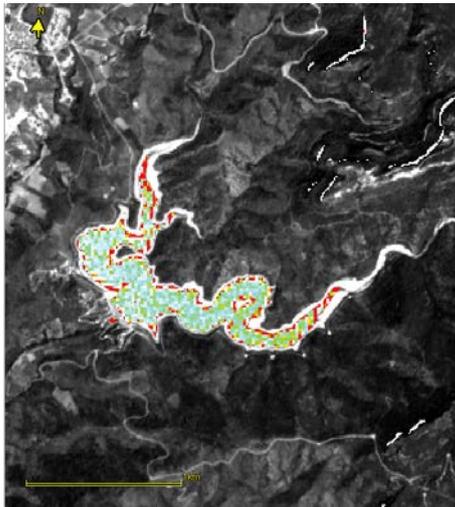
MAS 72. Reserva de Margalef. Imagen del 17 de septiembre de 2021



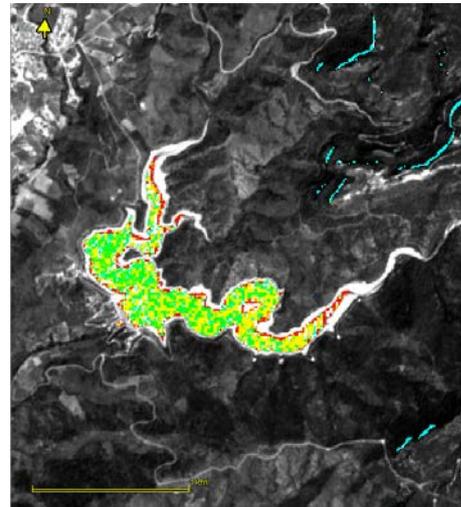
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

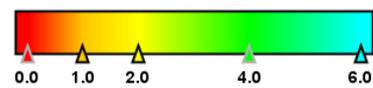


Clorofila a

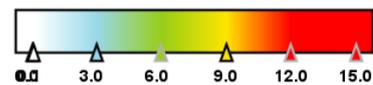
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,21 m	2,93 µg/L
Ultraoligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico de la zona de presa.

Transparencia [m]



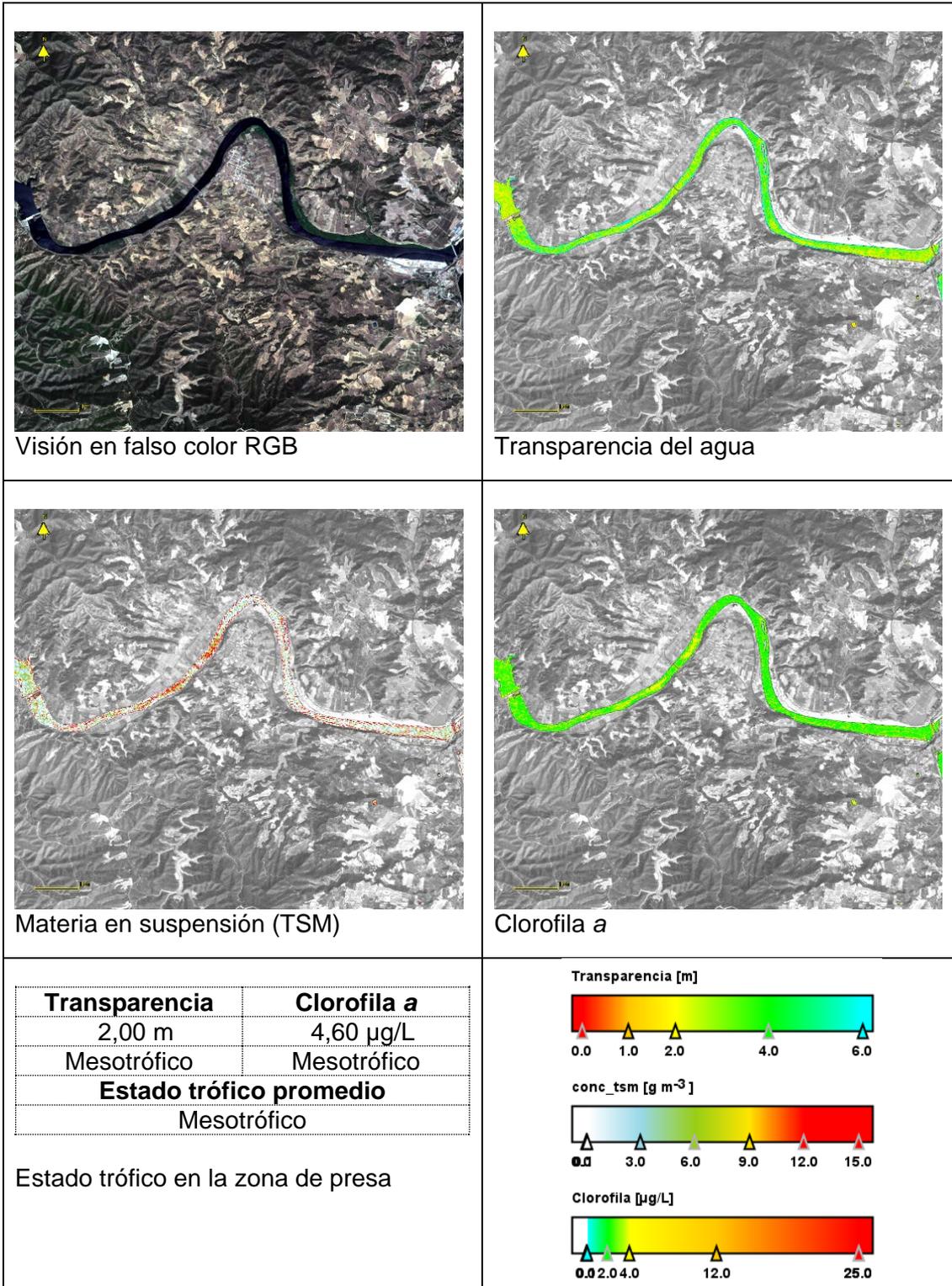
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



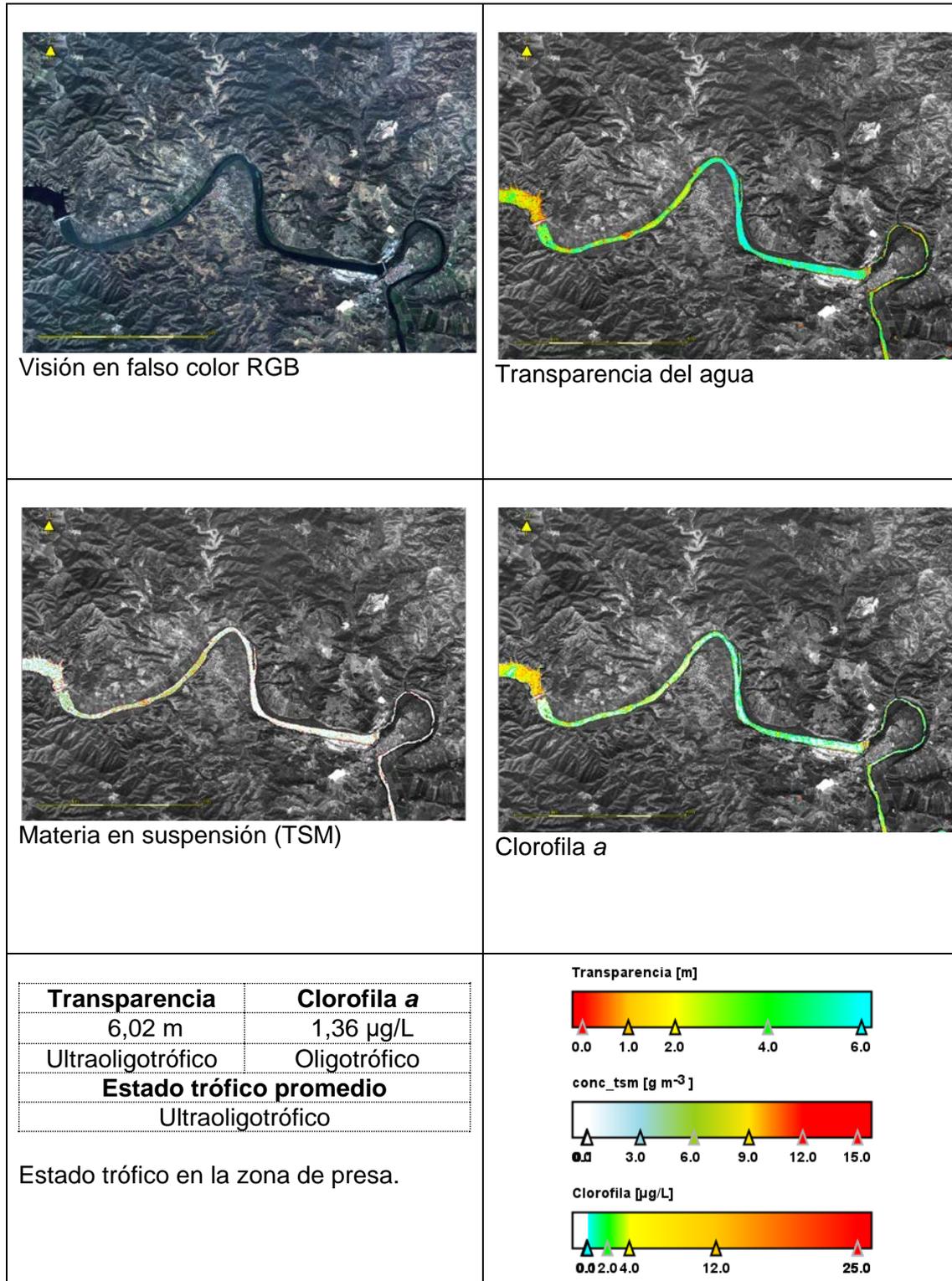
Clorofila [µg/L]



MAS 73. Embalse de Ciurana. Imagen del 14 de julio de 2021



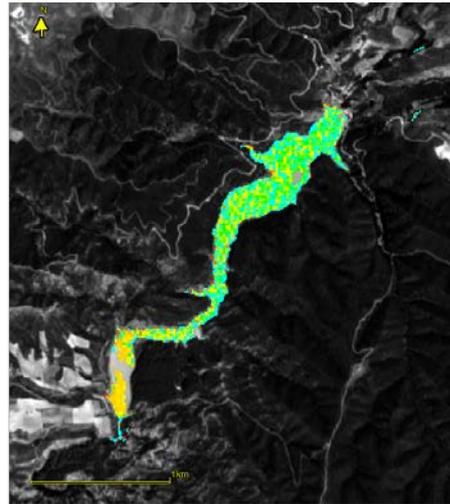
MAS 74. Embalse de Flix. Imagen del 24 de julio de 2021.



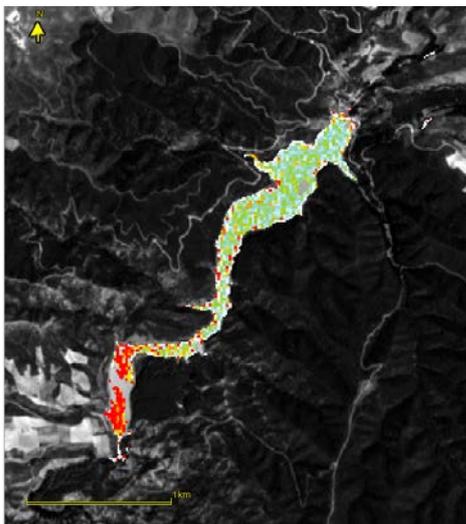
MAS 74. Embalse de Flix. Imagen del 27 de septiembre de 2021



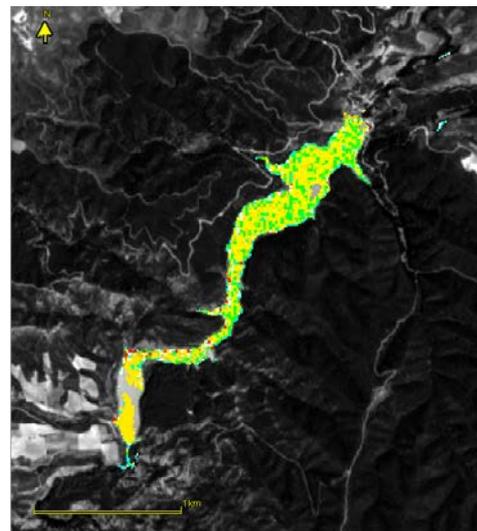
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

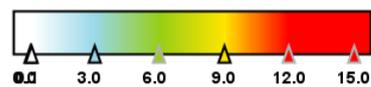
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
4,37 m	4,19 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico de la zona de presa.

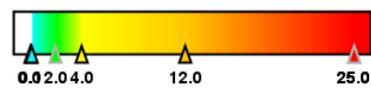
Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



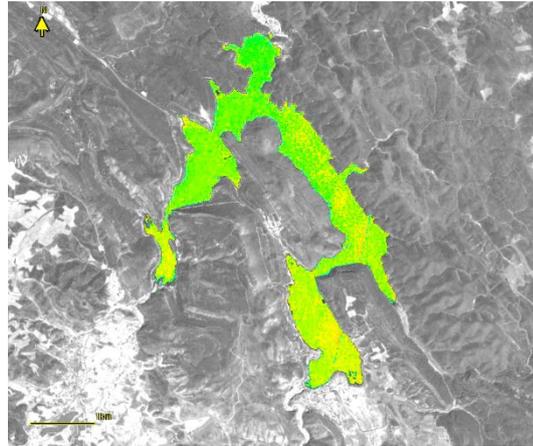
Clorofila [µg/L]



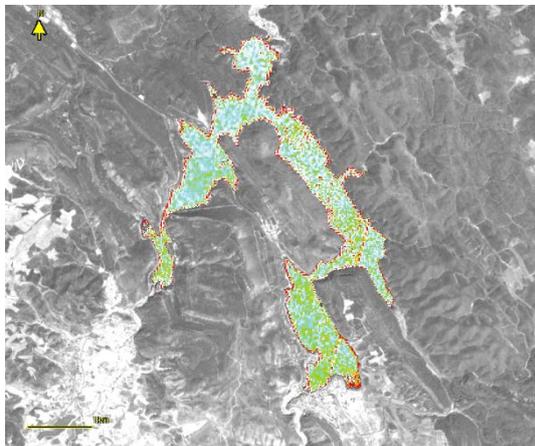
MAS 75. Embalse de Las Torcas. Imagen del 17 de julio de 2021



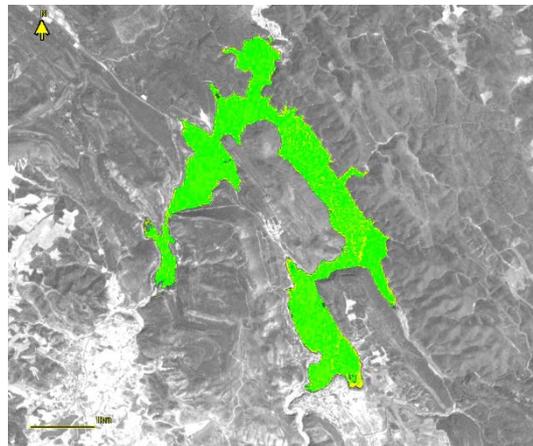
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

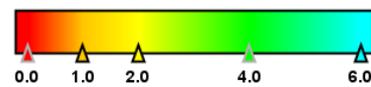


Clorofila a

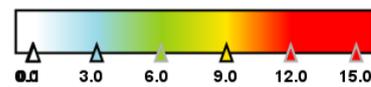
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,90 m	2,30 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



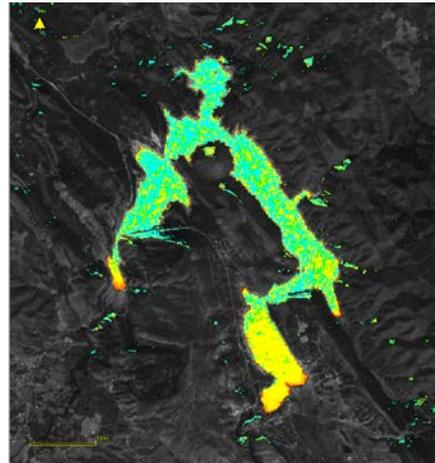
Clorofila [µg/L]



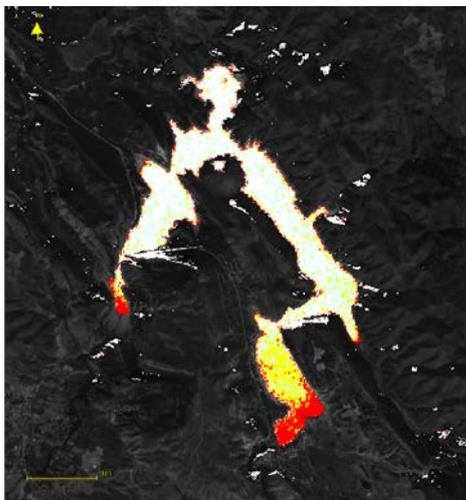
MAS 76. Embalse de La Tranquera. Imagen del 17 de julio de 2021.



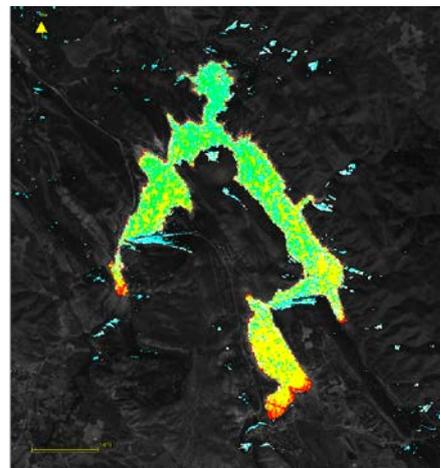
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



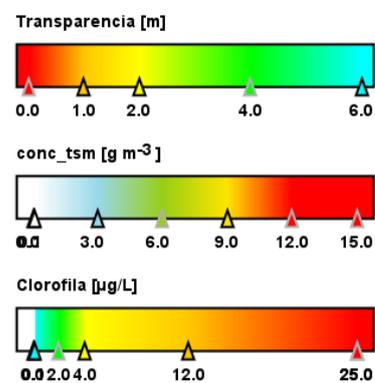
Materia en suspensión (TSM)



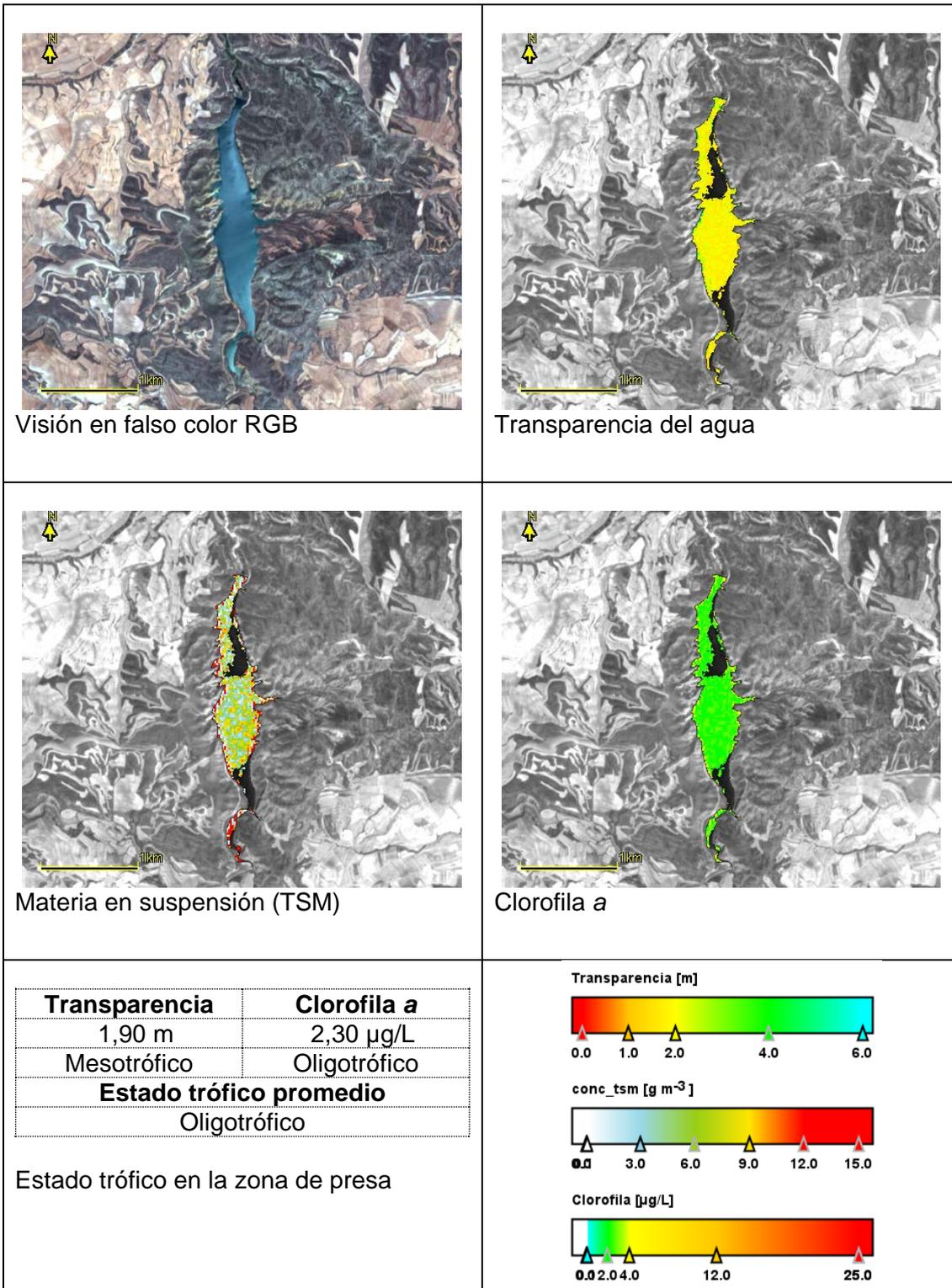
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,87 m	1,32 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

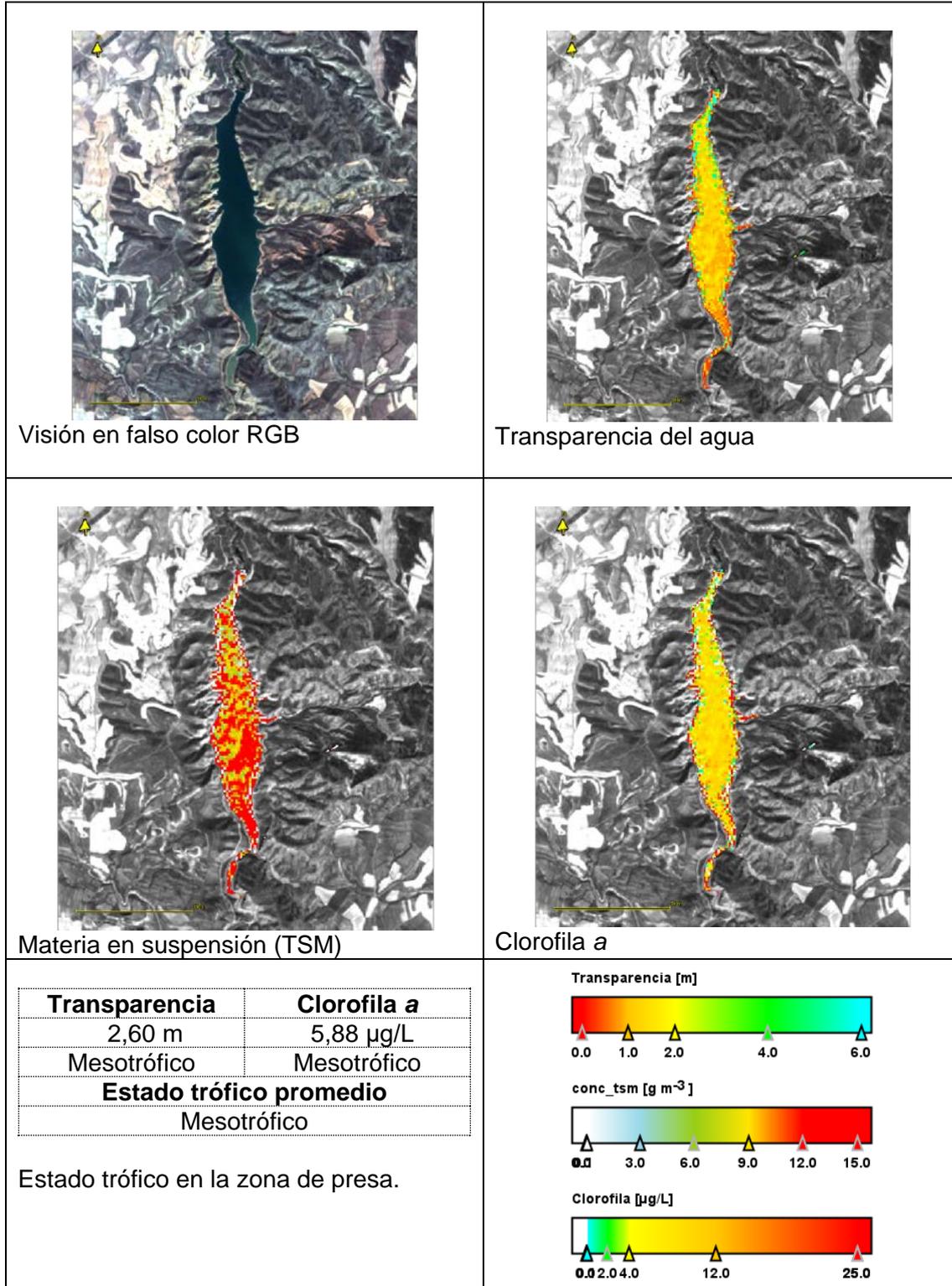
Estado trófico de la zona de presa.



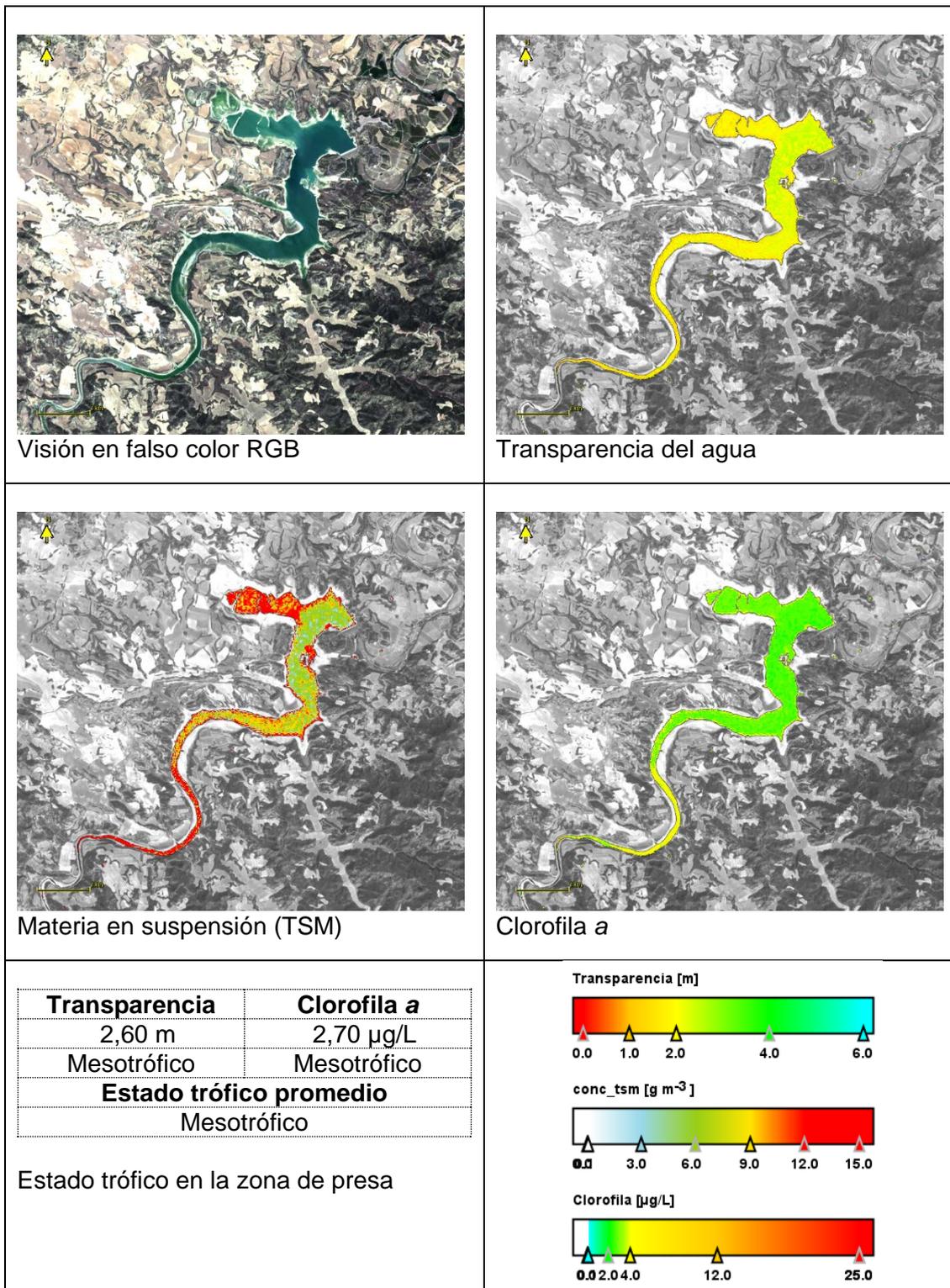
MAS 76. Embalse La Tranquera. Imagen del 30 de septiembre de 2021



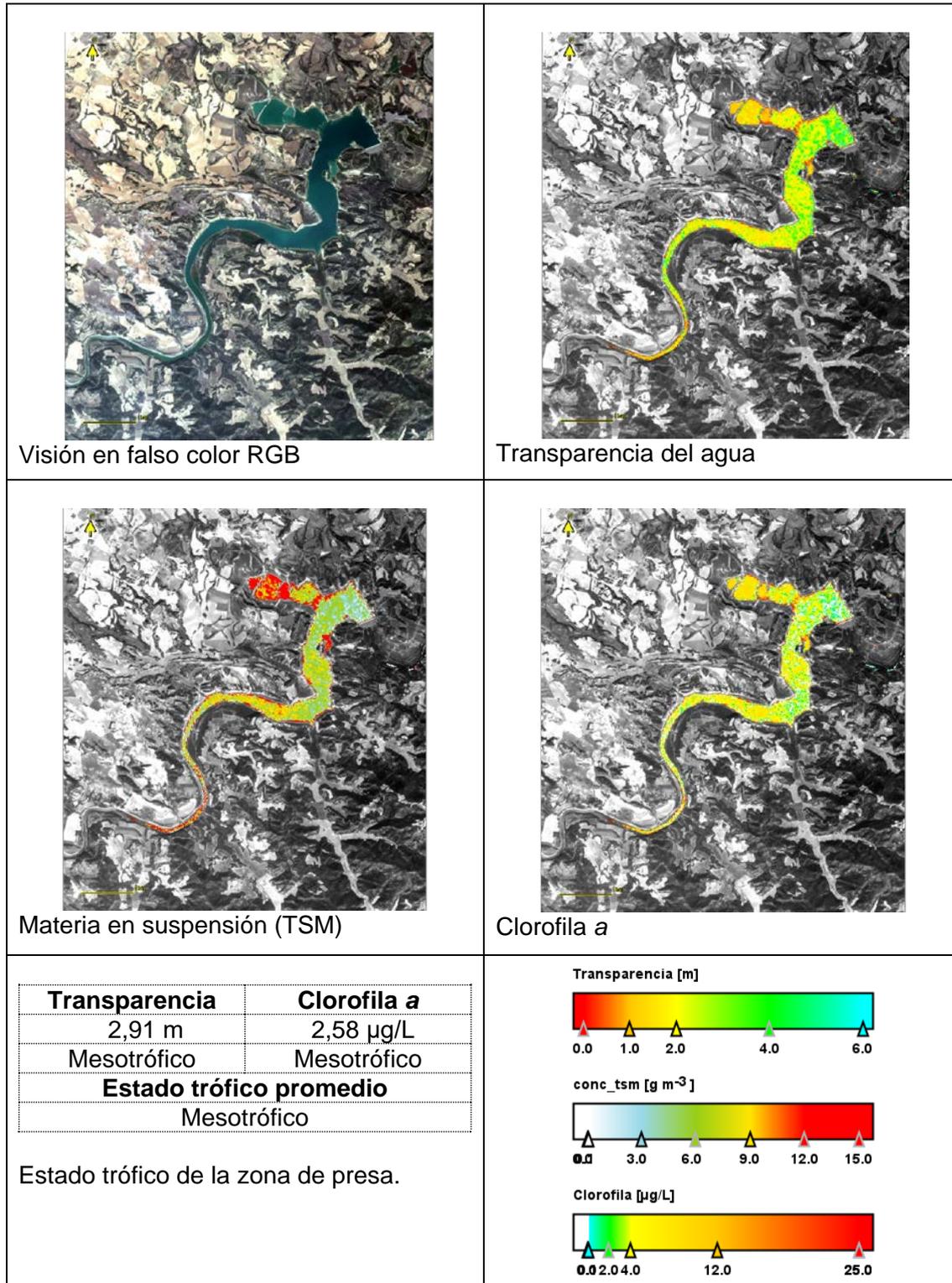
MAS 77. Embalse de Moneva. Imagen del 22 de julio de 2021.



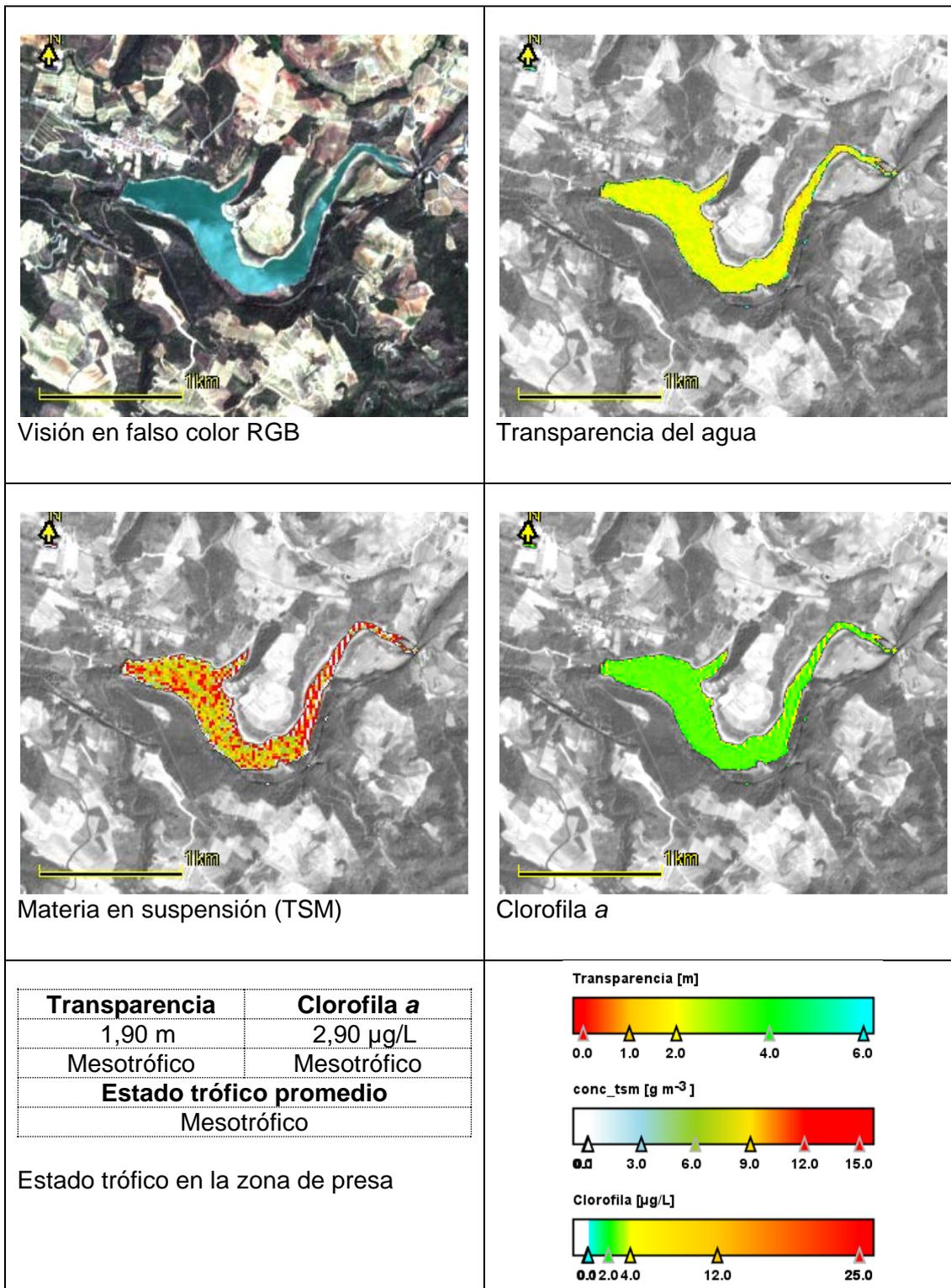
MAS 77. Embalse de Moneva. Imagen del 27 de septiembre de 2021



MAS 78. Embalse de Caspe. Imagen del 24 de julio de 2021.



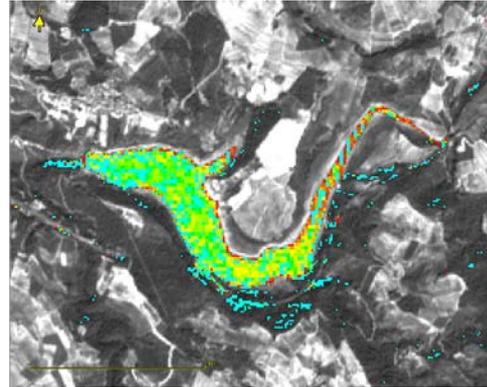
MAS 79. Embalse de Caspe. Imagen del 27 de septiembre de 2021



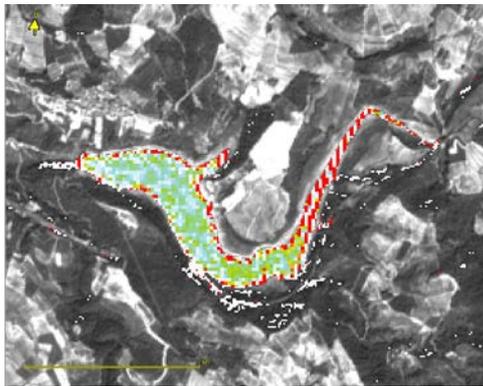
MAS 79. Embalse de Guiamets. Imagen del 14 de julio de 2021.



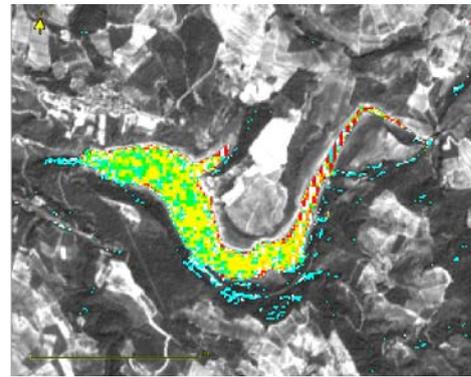
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



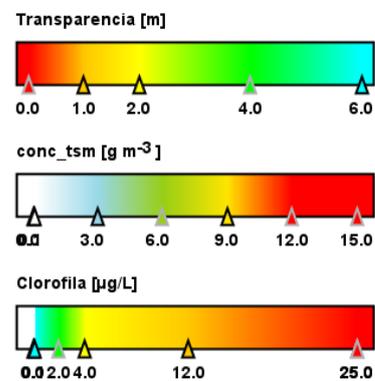
Materia en suspensión (TSM)



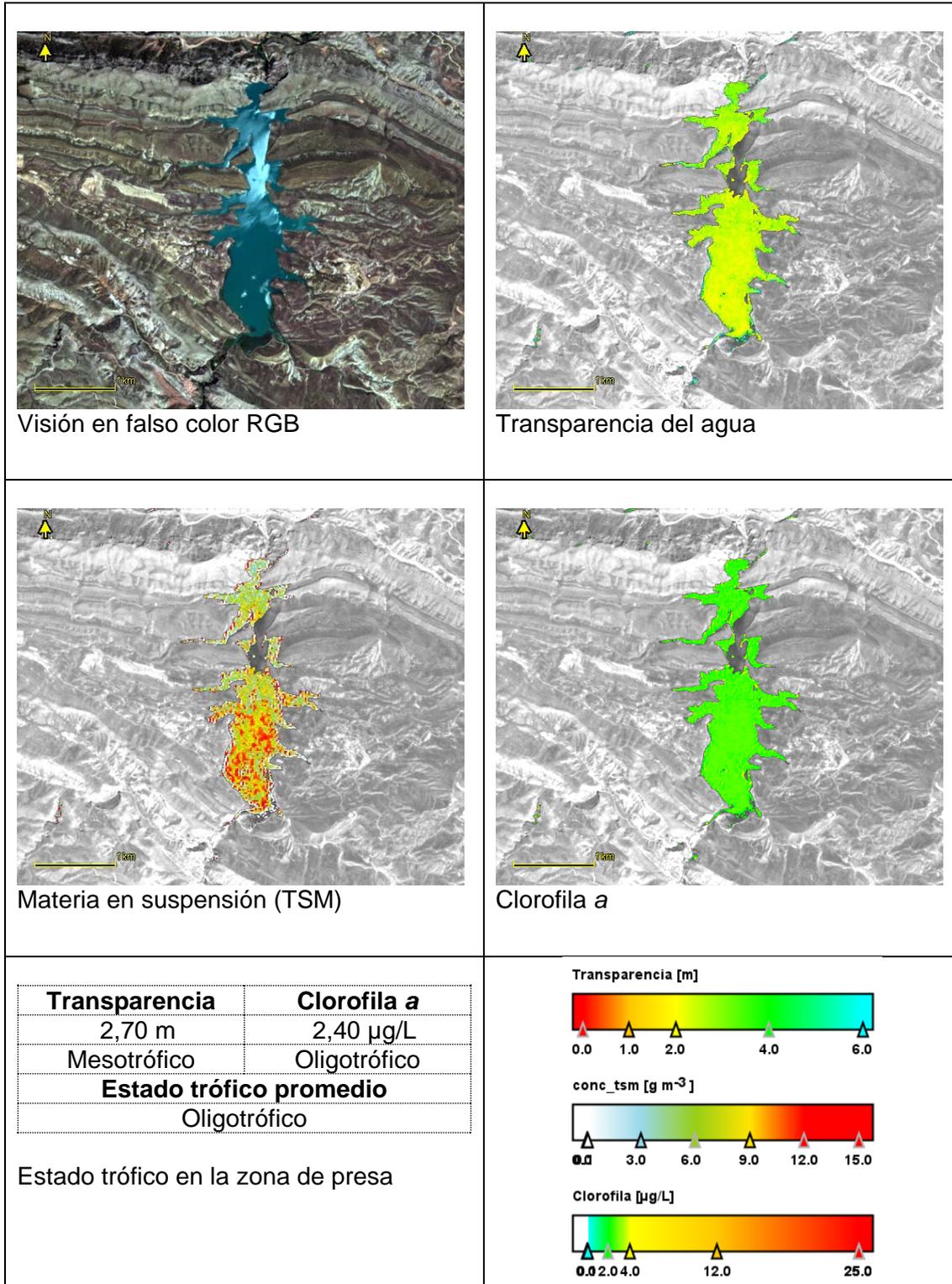
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
4,59 m	3,37 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



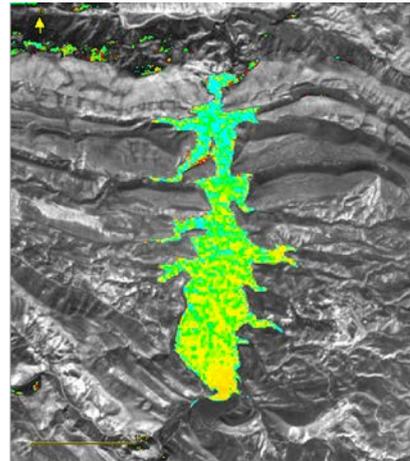
MAS 79. Embalse de Guiamets. Imagen del 17 de septiembre de 2021



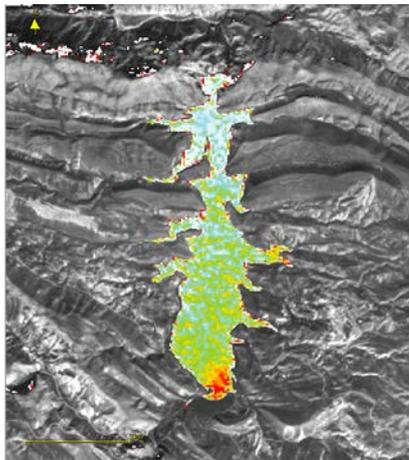
MAS 80. Embalse de Cueva Foradada. Imagen del 17 de julio de 2021.



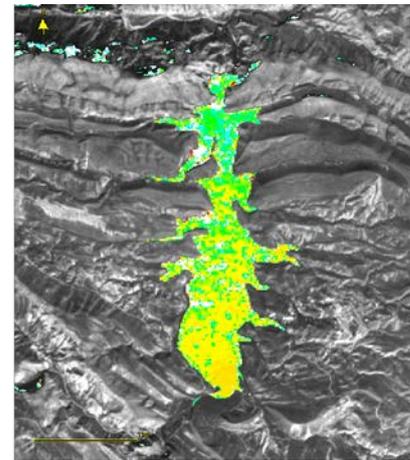
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



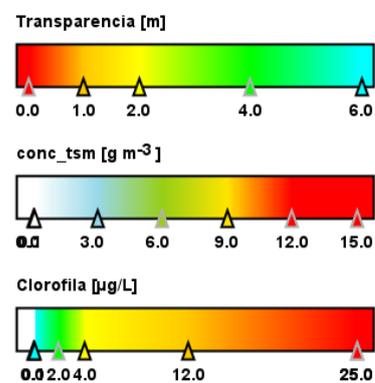
Materia en suspensión (TSM)



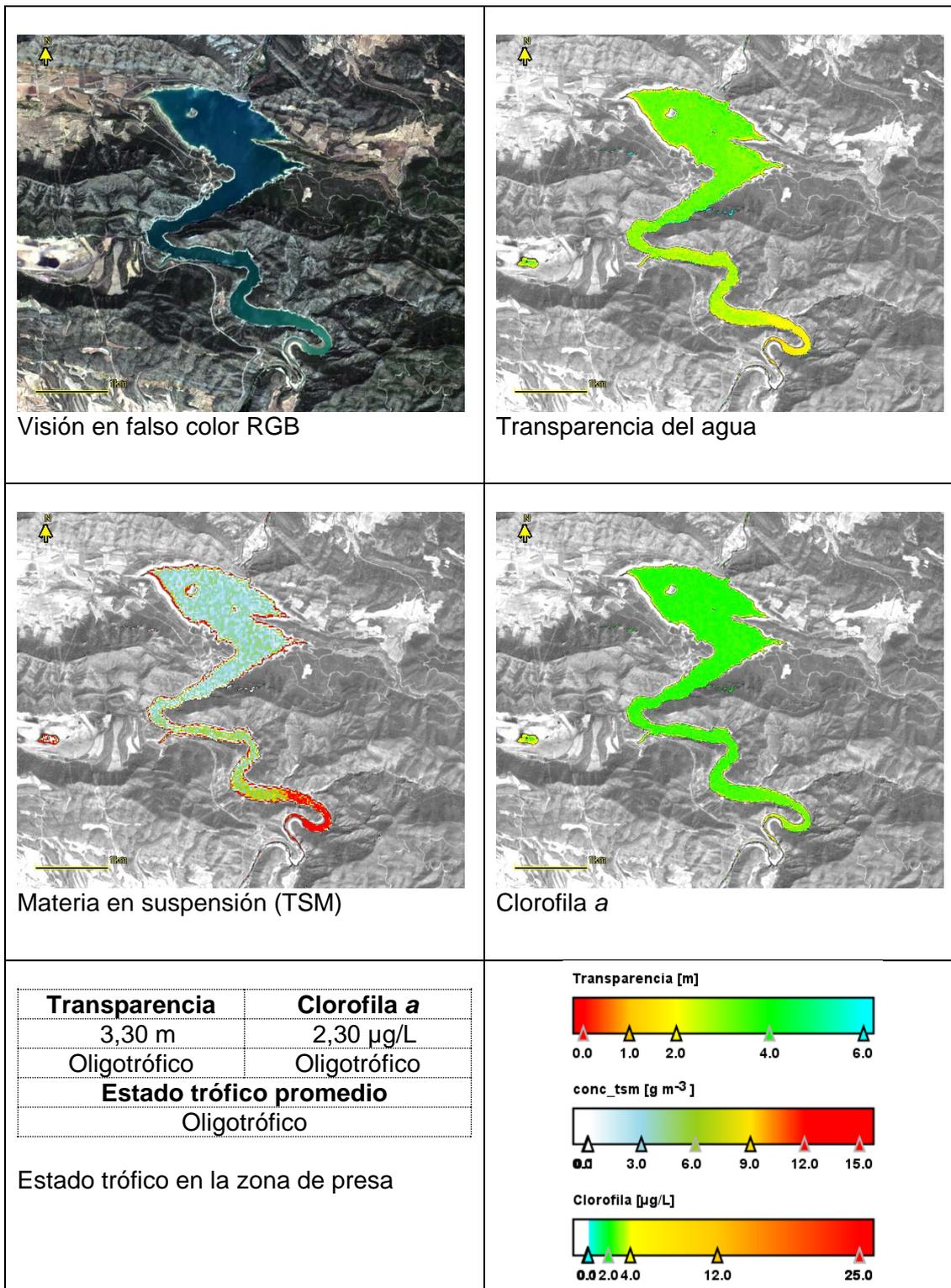
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,93 m	3,93 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

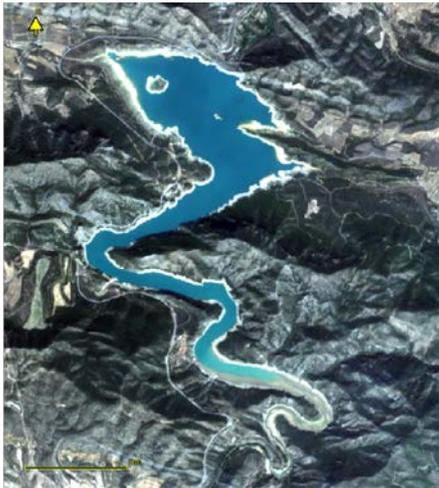
Estado trófico en zona de presa.



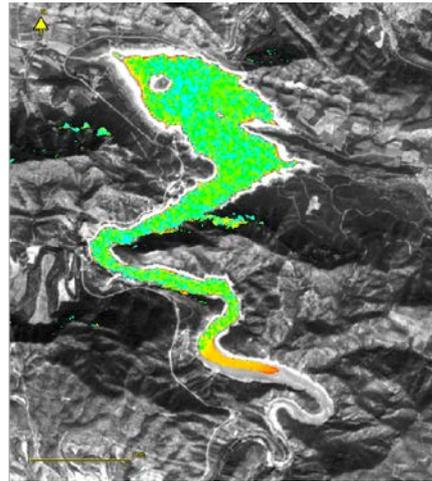
MAS 80. Embalse de Cueva Foradada. Imagen del 27 de septiembre de 2021



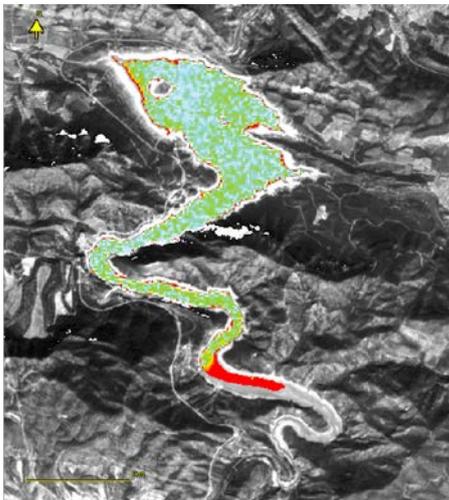
MAS 82. Embalse de Calanda. Imagen del 24 de julio de 2021.



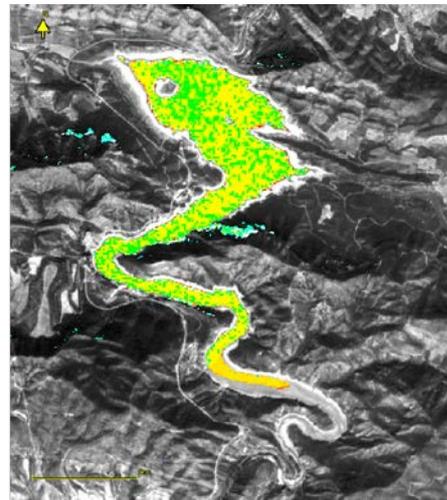
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



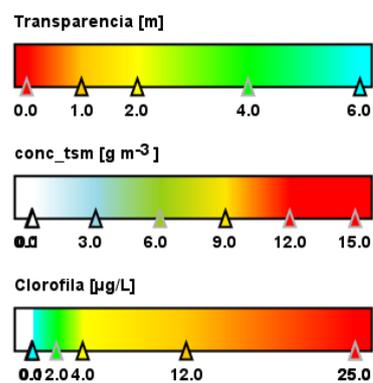
Materia en suspensión (TSM)



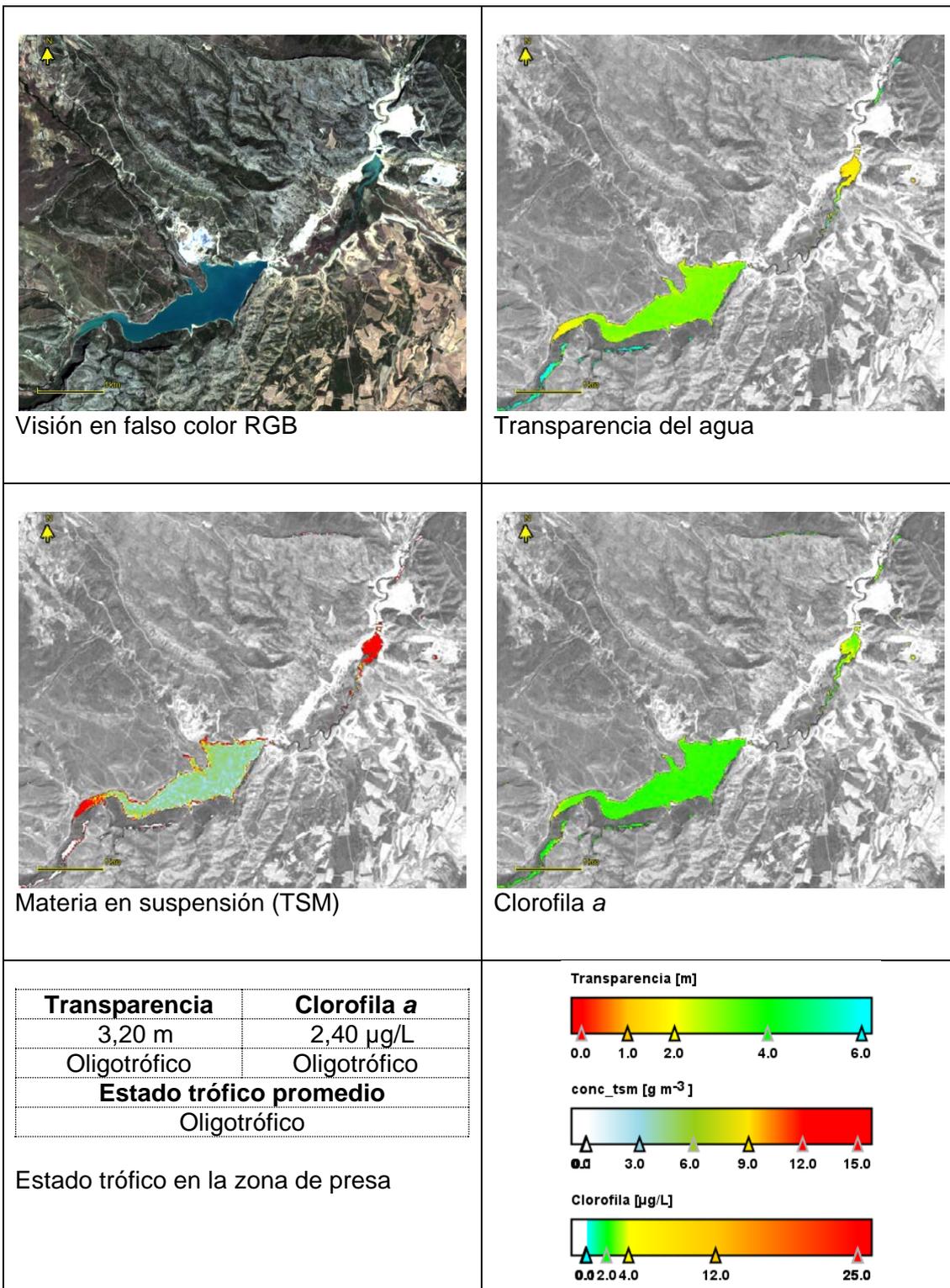
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
4,50 m	3,59 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



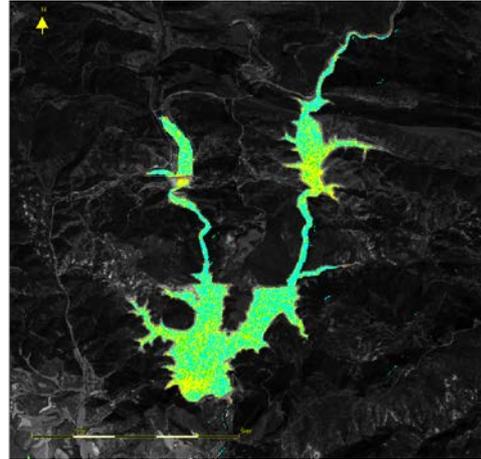
MAS 82. Embalse de Calanda. Imagen del 27 de septiembre de 2021



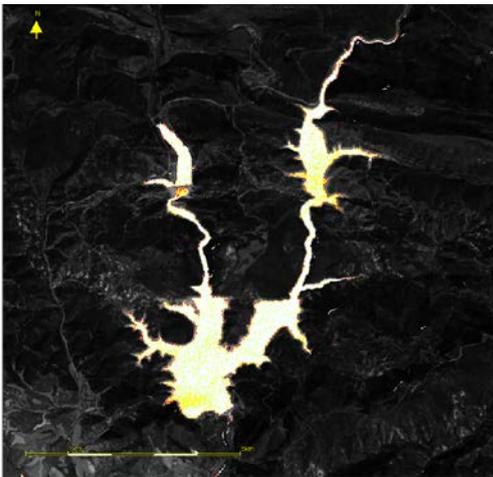
MAS 85. Embalse de Puente de Santolea. Imagen del 24 de julio de 2021.



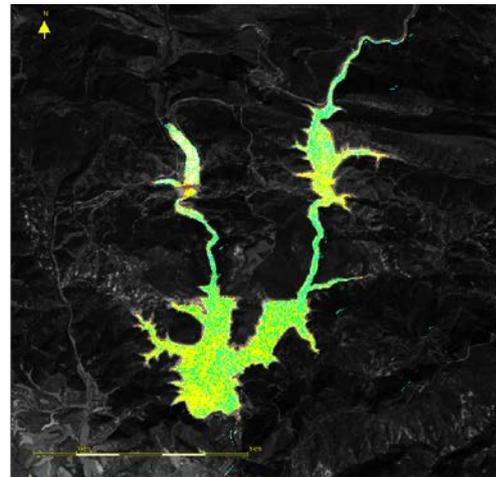
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



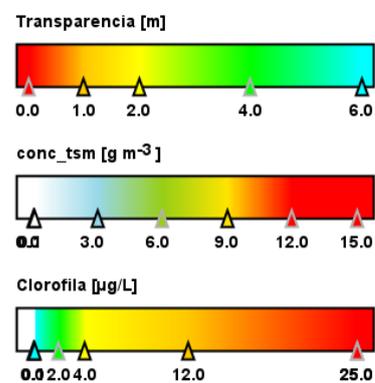
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,82 m	3,80 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

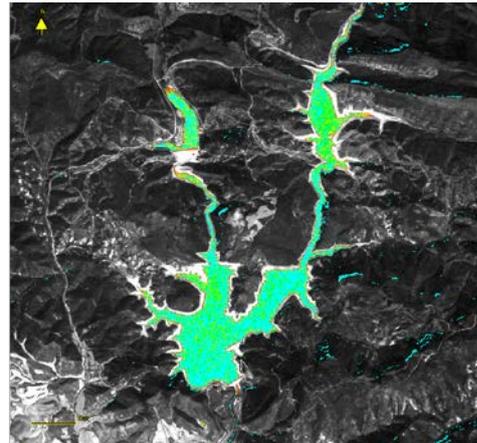
Estado trófico de la zona de presa.



MAS 86. Embalse de Itoiz. Imagen del 17 de julio de 2021



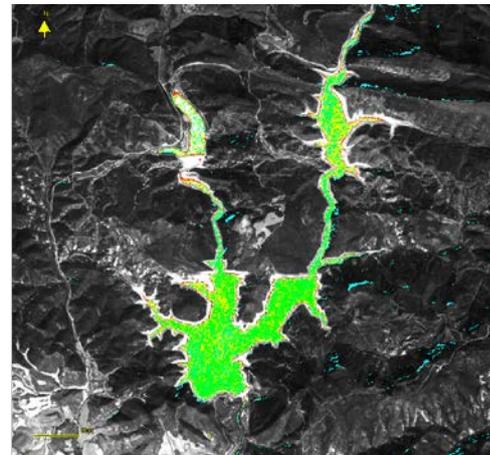
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

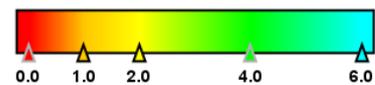


Clorofila a

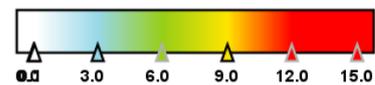
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,72 m	2,27 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



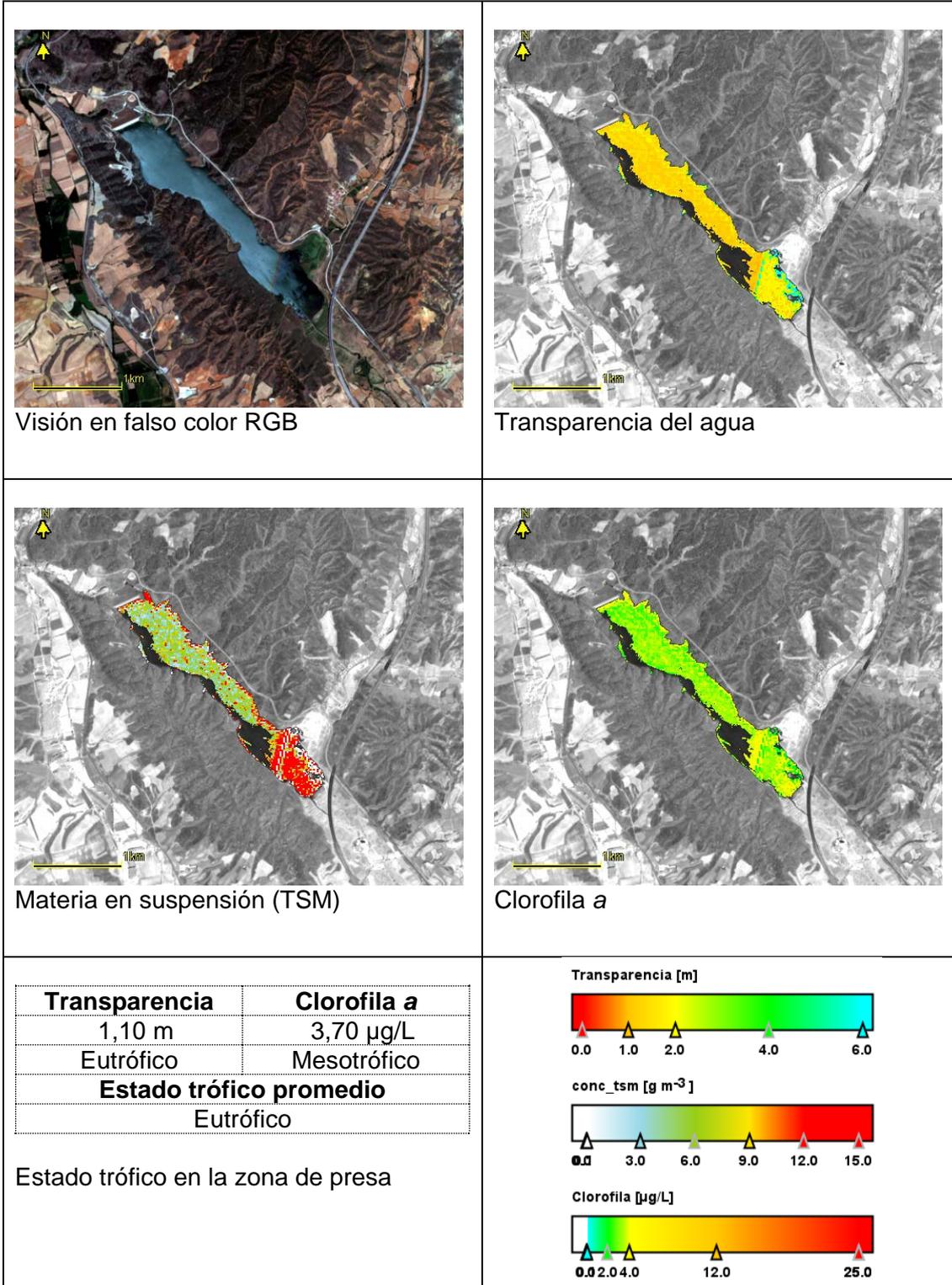
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



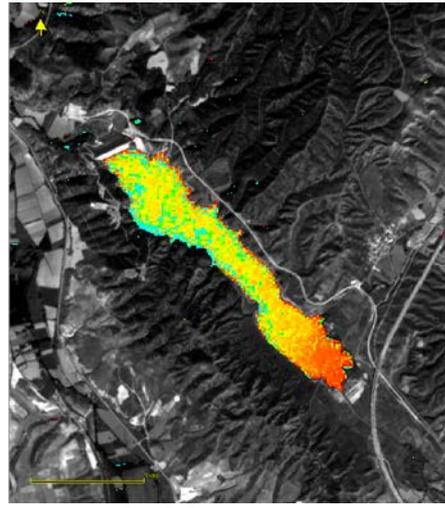
MAS 86. Embalse de Itoiz. Imagen del 5 de septiembre de 2021



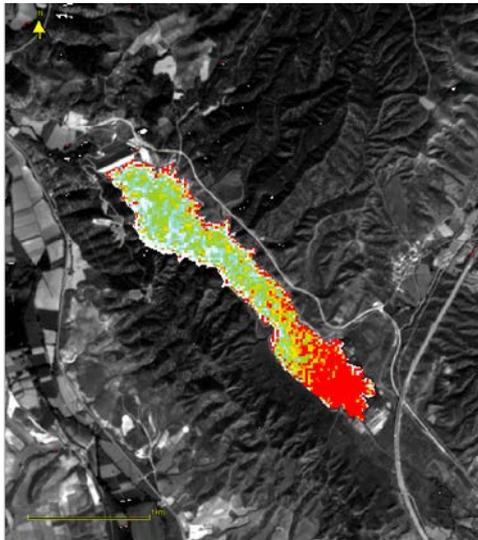
MAS 87. Embalse de Lechago. Imagen del 17 de julio de 2021.



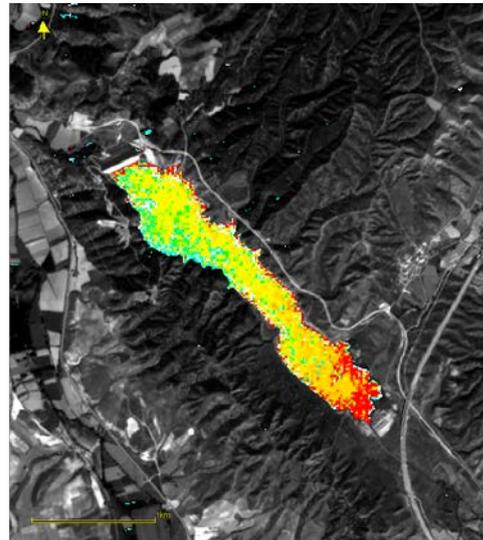
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

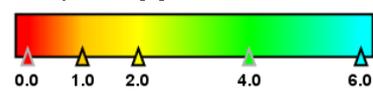


Clorofila a

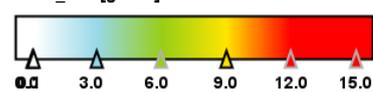
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,37 m	3,84 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



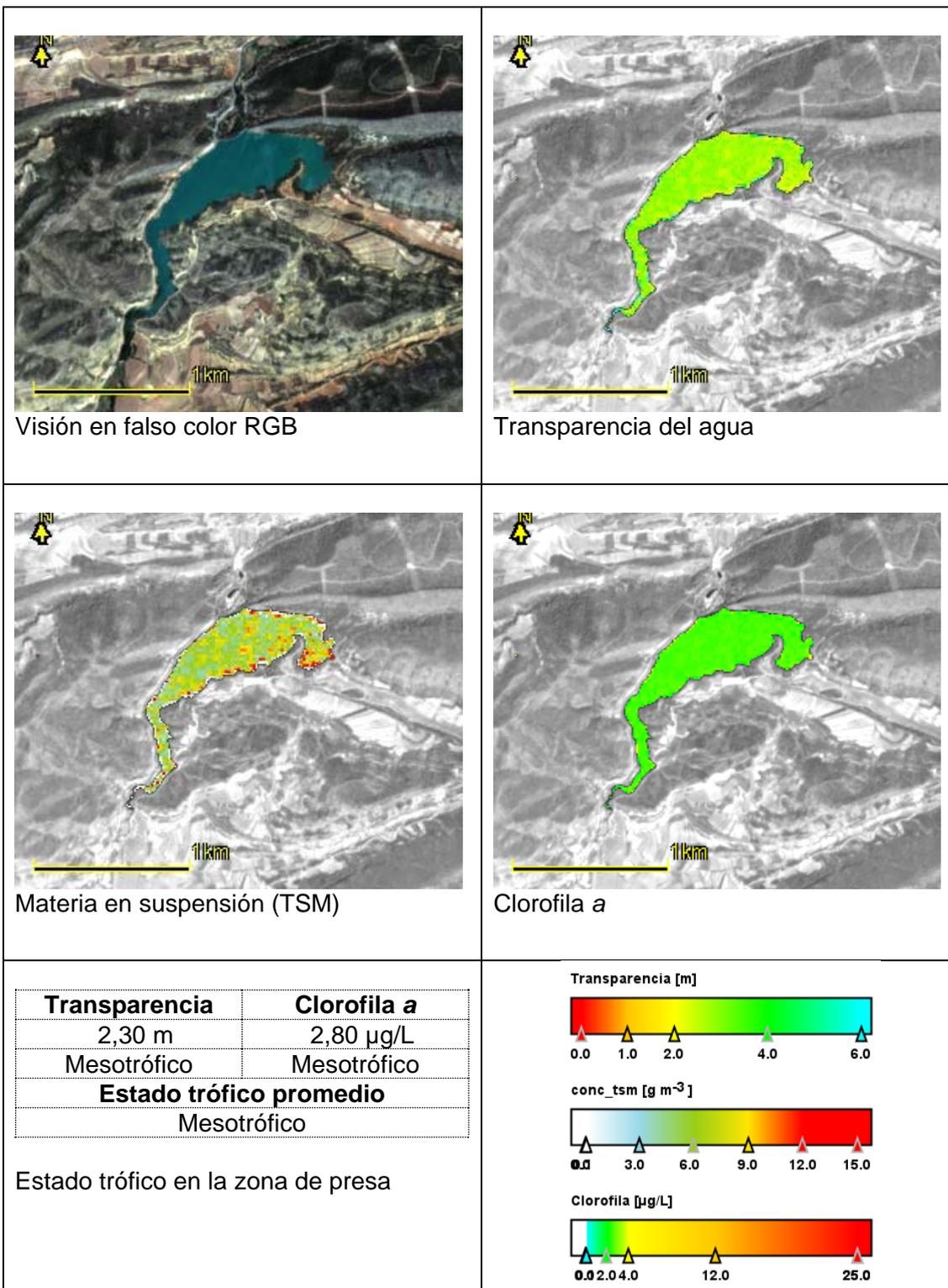
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



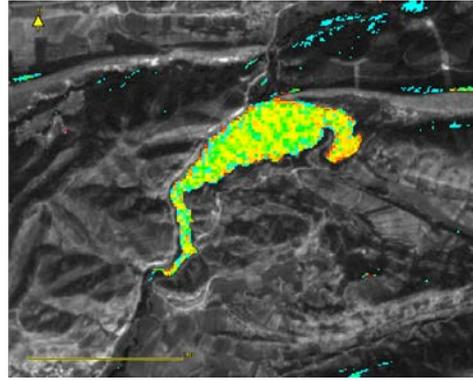
MAS 87. Embalse de Lechago. Imagen del 27 de septiembre de 2021



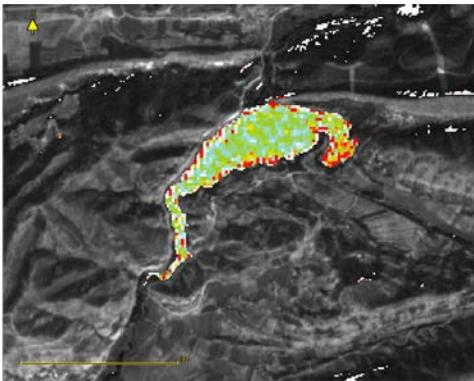
MAS 913. Embalse de Gallipuéen. Imagen del 24 de julio de 2021.



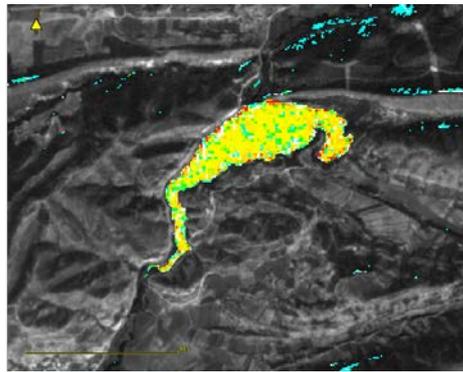
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



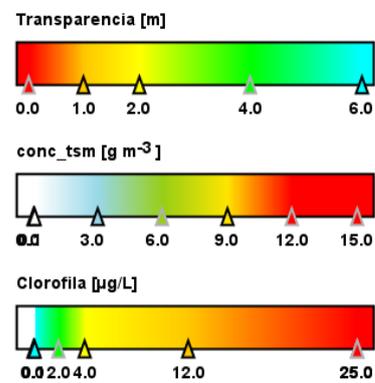
Materia en suspensión (TSM)



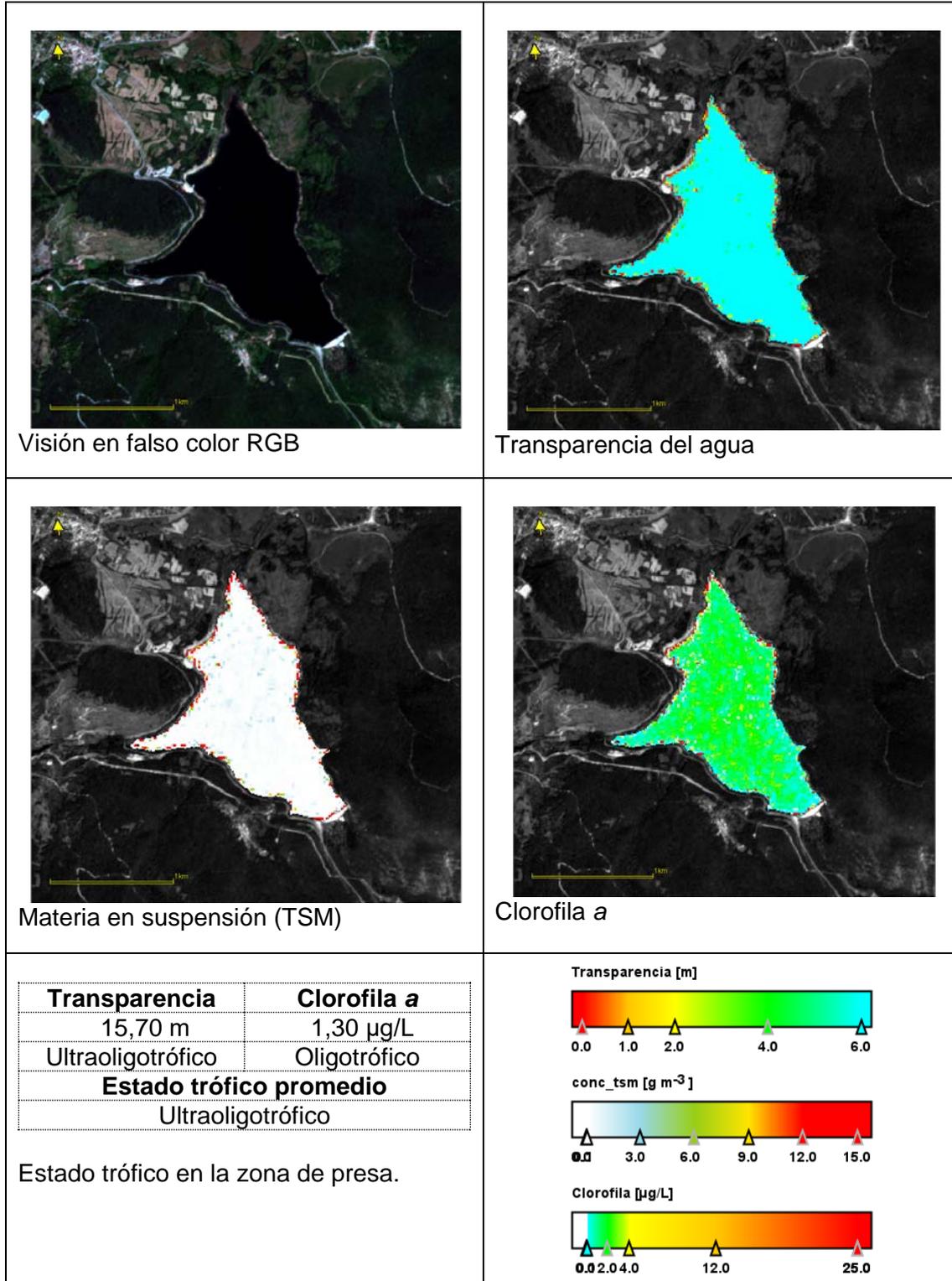
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,79 m	4,89 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

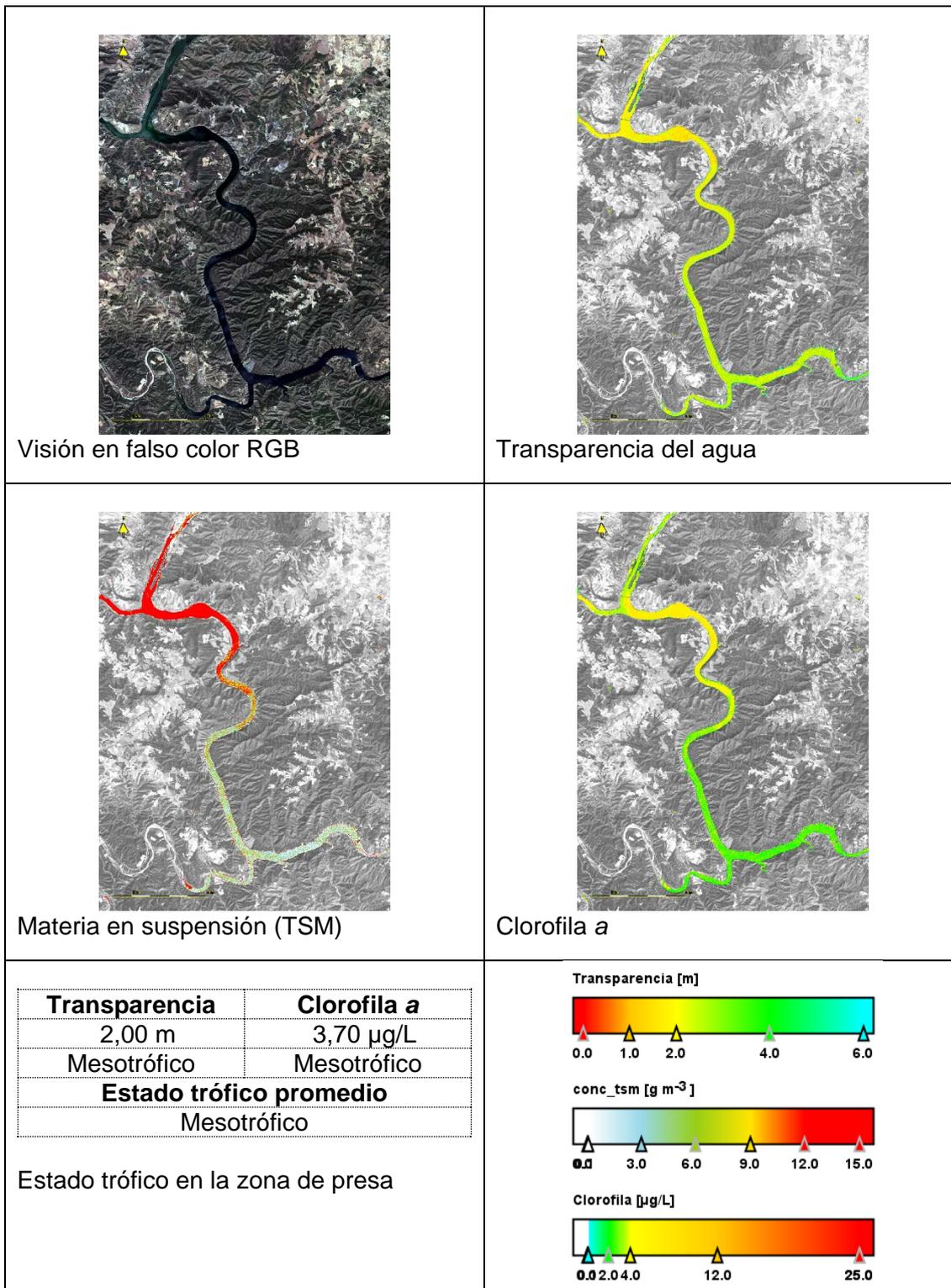
Estado trófico en la zona de presa.



MAS 913. Embalse de Gallipúen. Imagen del 17 de septiembre de 2021



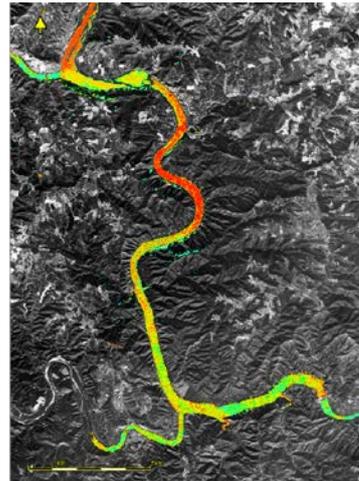
MAS 916. Embalse de Ortigosa. Imagen del 17 de julio de 2021



MAS 949. Embalse de Ribarroja. Imagen del 24 de julio de 2021.



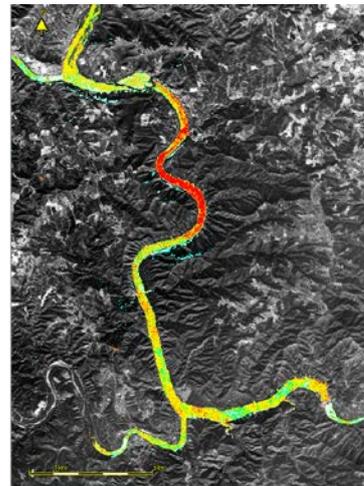
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



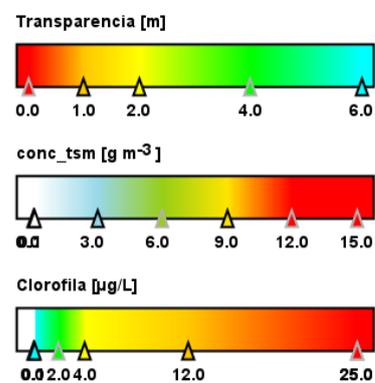
Materia en suspensión (TSM)



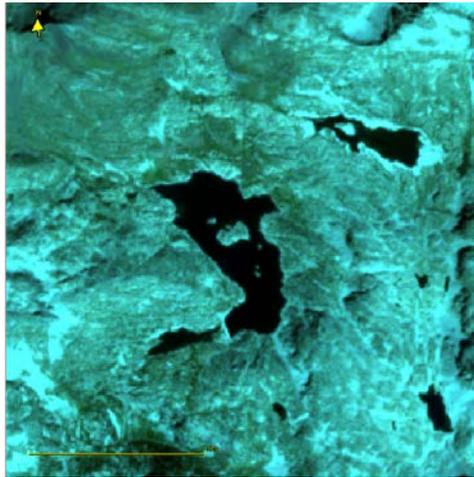
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,94 m	2,19 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

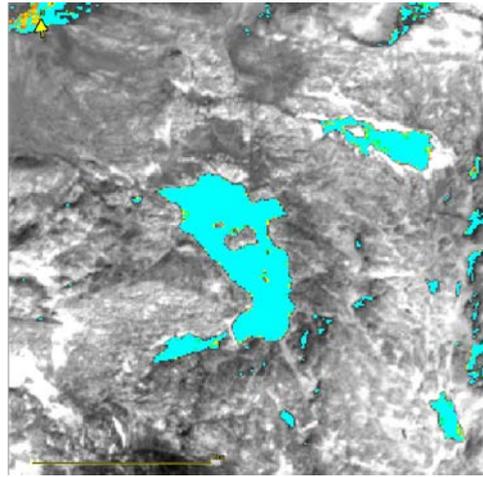
Estado trófico en la zona de presa.



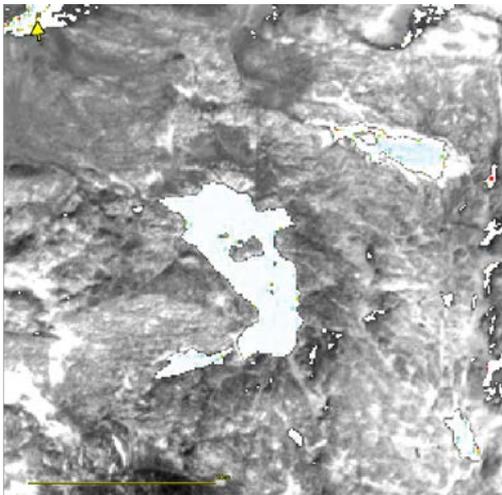
MAS 949. Embalse de Ribarroja. Imagen del 27 de septiembre de 2021



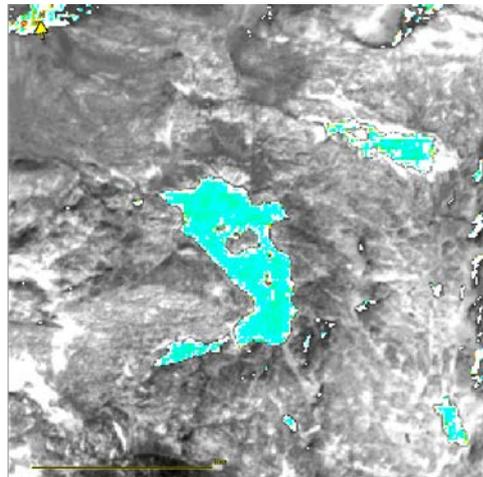
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



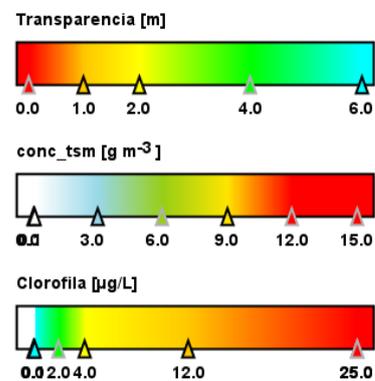
Materia en suspensión (TSM)



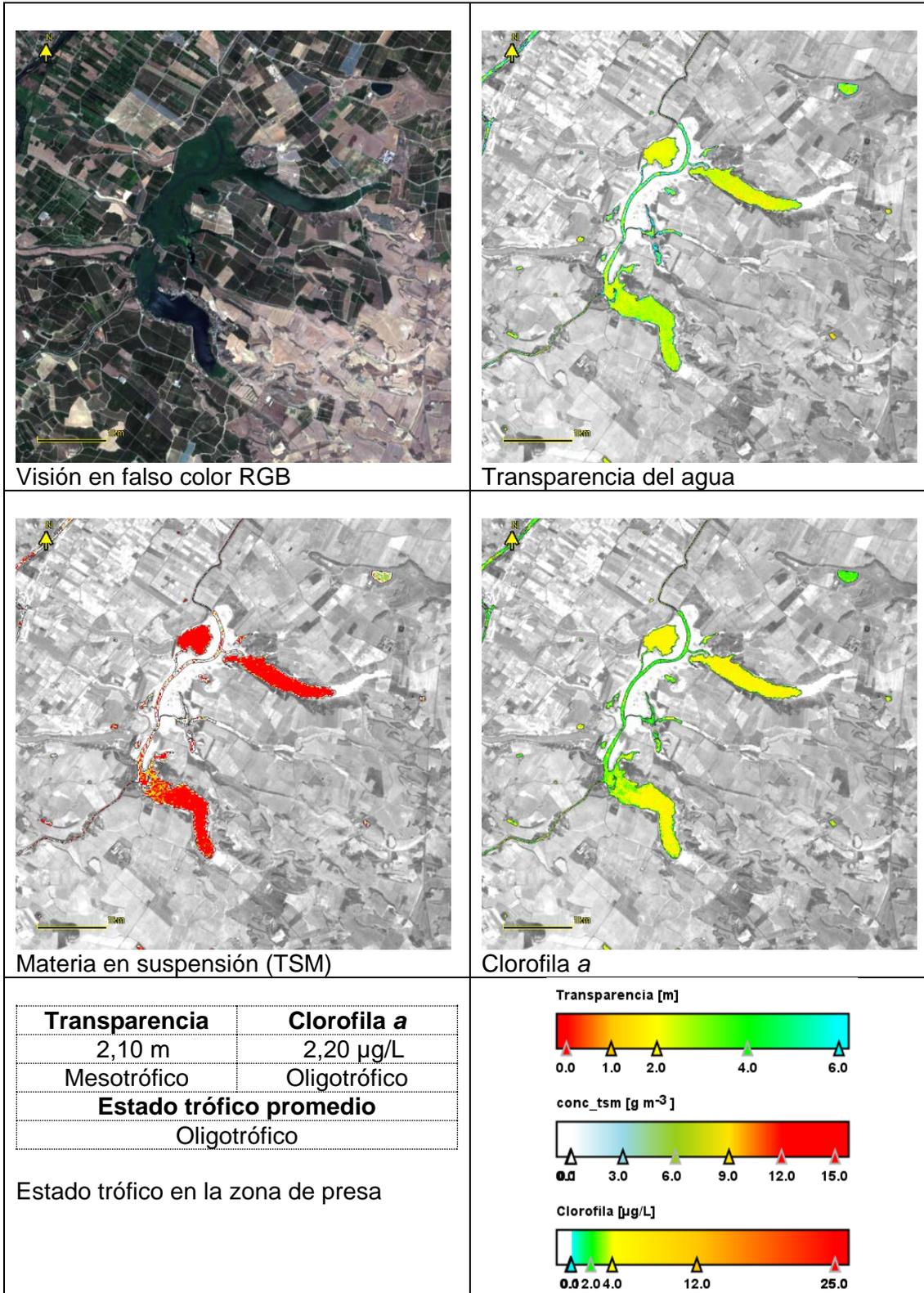
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
19,23 m	0,34 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico del centro del embalse.



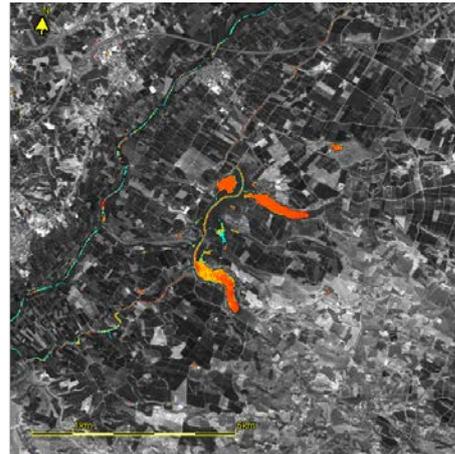
MAS 956. Embalse de Brachimaña Alto. Imagen del 18 de agosto de 2021



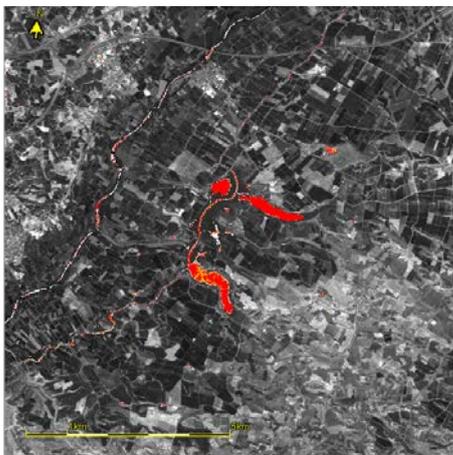
MAS 1679. Embalse de Utxesa Seca. Imagen del 19 de julio de 2021.



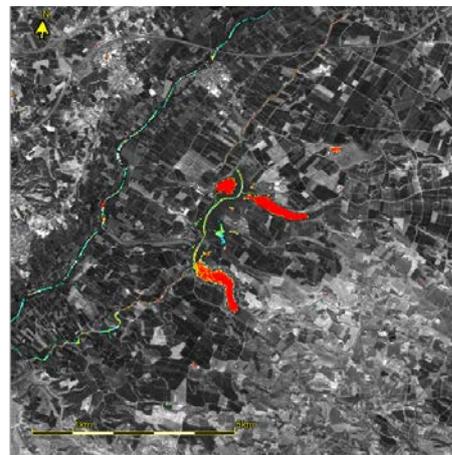
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



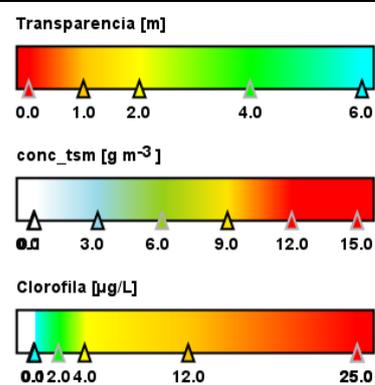
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
0,48 m	45,59 $\mu\text{g/L}$
Hipereutrófico	Hipereutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Hipereutrófico	

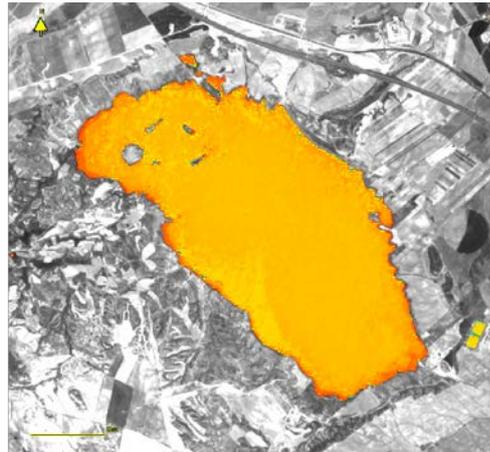
Estado trófico en la zona de presa.



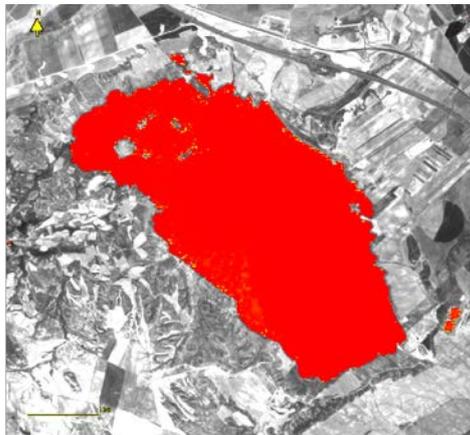
MAS 1679. Embalse de Utxesa Seca. Imagen del 17 de septiembre de 2021



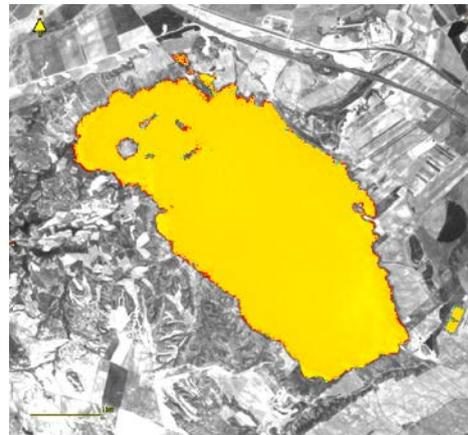
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



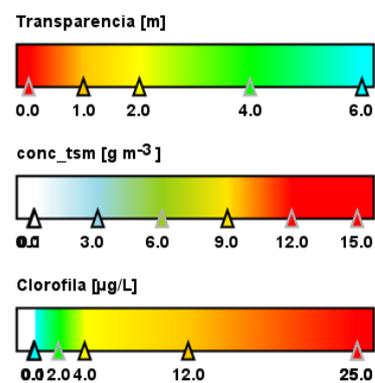
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
0,95 m	8,46 µg/L
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

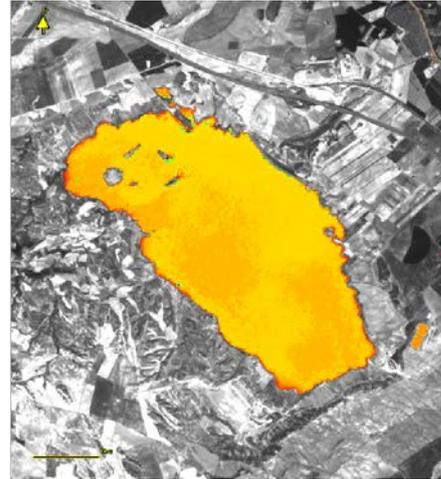
Estado trófico de la zona de presa.



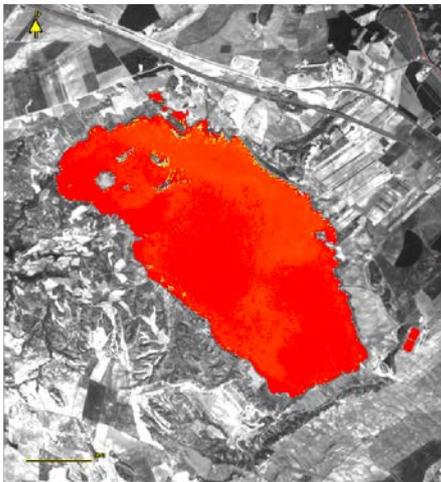
MAS 1680. Embalse de La Loteta. Imagen del 19 de julio de 2021



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



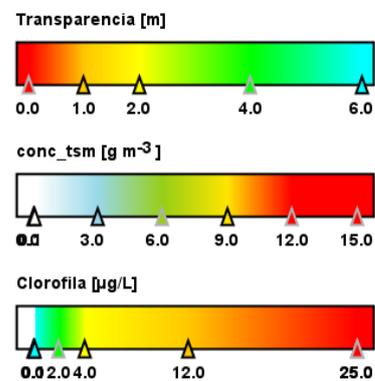
Materia en suspensión (TSM)



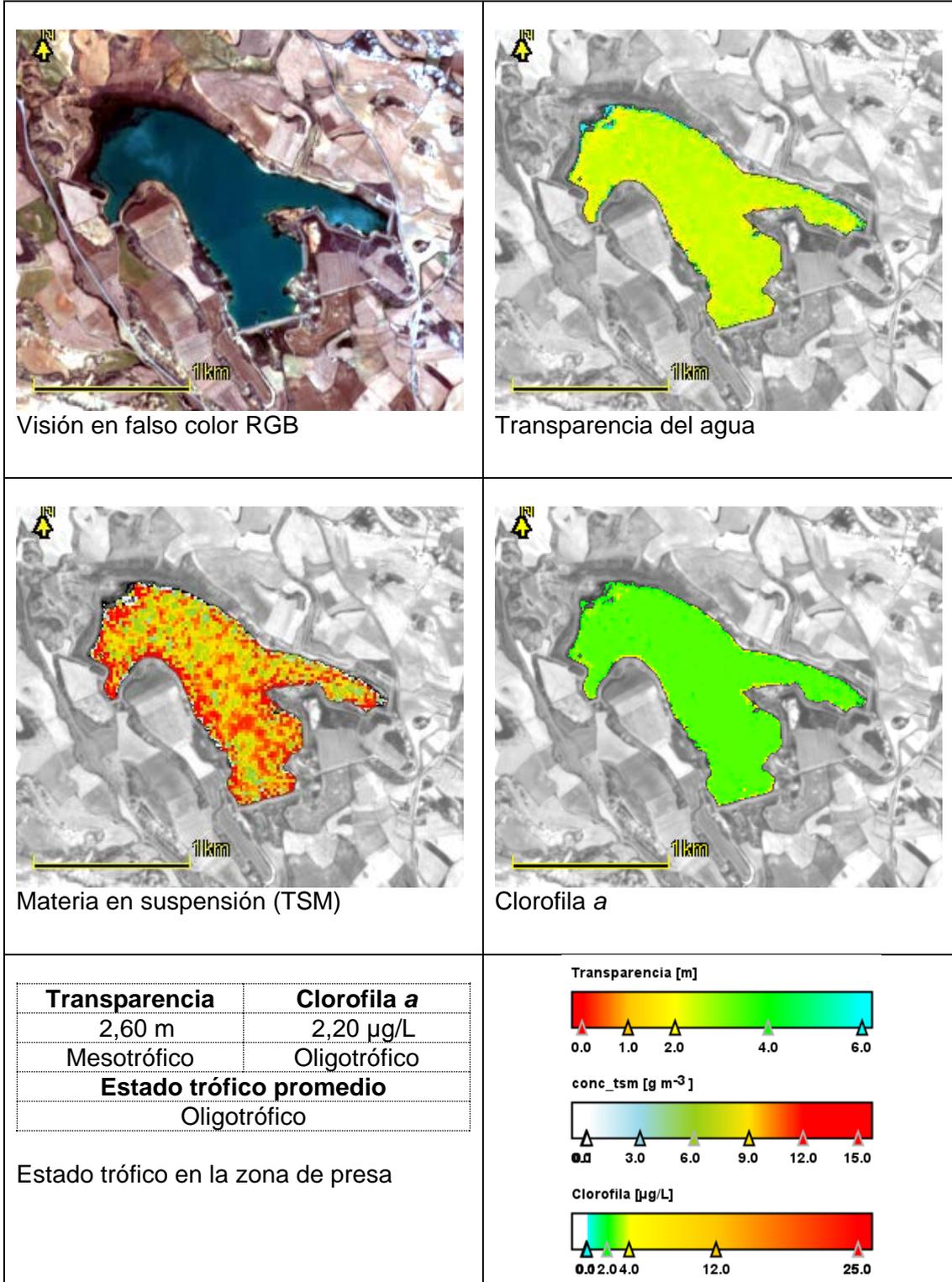
Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
1,09	8,30 $\mu\text{g/L}$
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

Estado trófico en la zona de presa.



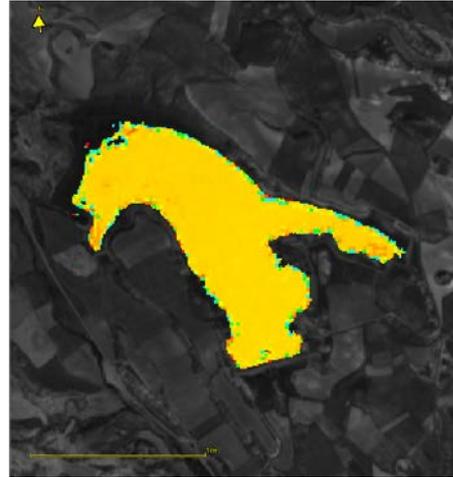
MAS 1680. Embalse de La Loteta. Imagen del 17 de septiembre de 2021



MAS 1681. Embalse de Monteagudo de las Vicarías. Imagen del 17 de julio de 2021.



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



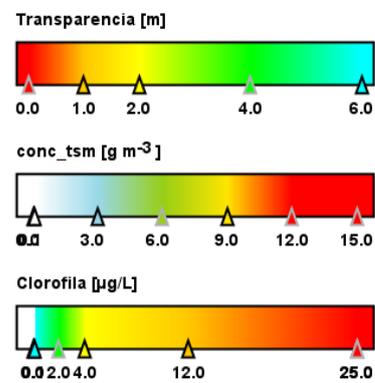
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
1,31 m	8,49 $\mu\text{g/L}$
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

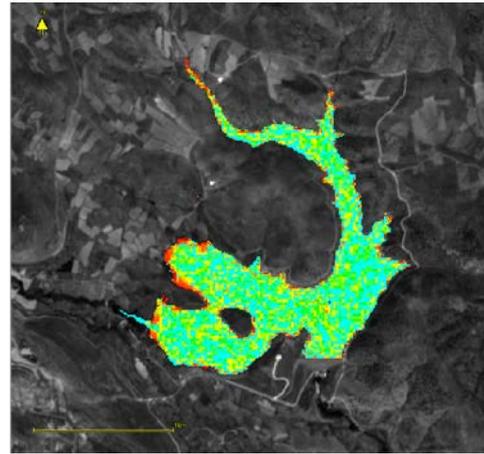
Estado trófico de la zona de presa.



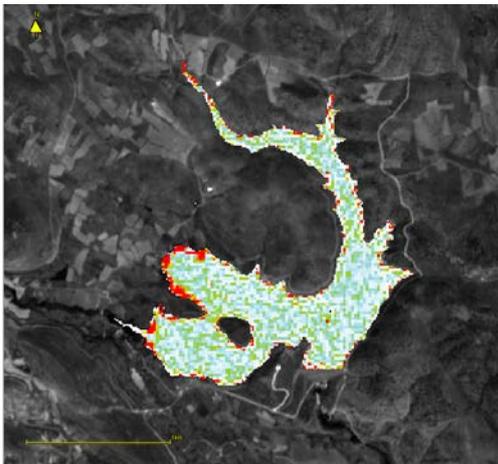
MAS 1681. Embalse de Monteagudo de las Vicarías. Imagen del 30 de septiembre de 2021



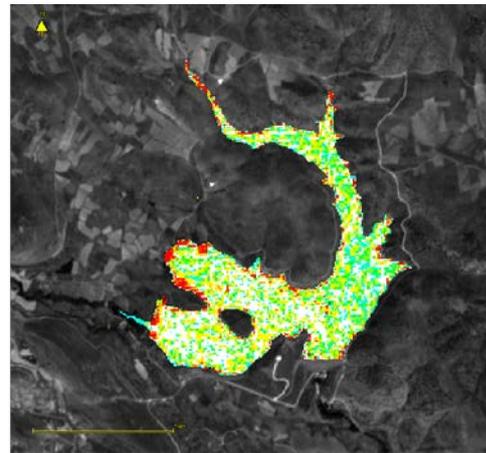
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



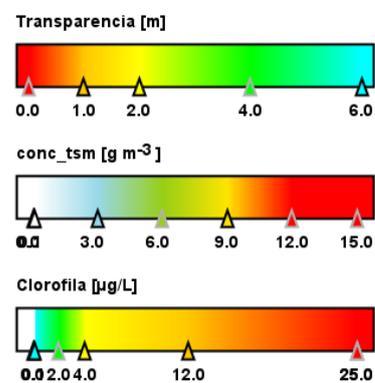
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
4,85 m	1,73 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

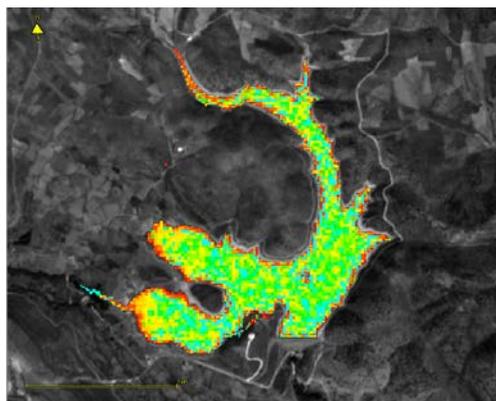
Estado trófico de la zona de presa.



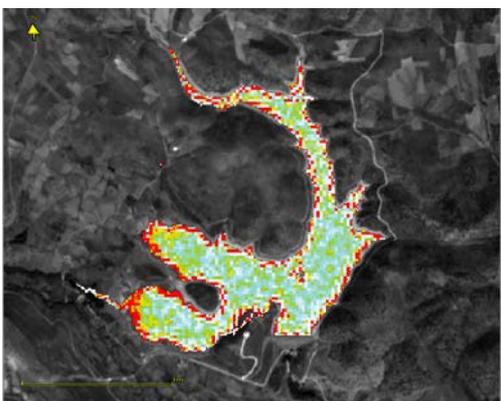
MAS 1804. Embalse de Maidevera. Imagen del 22 de julio de 2021



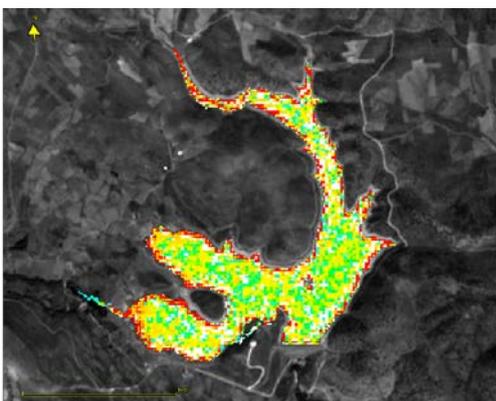
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



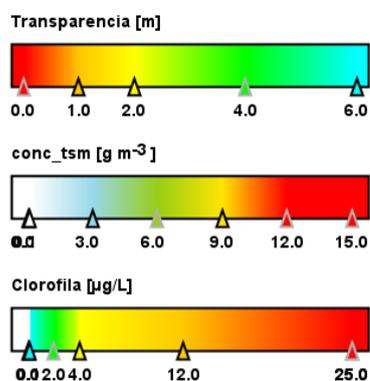
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,97 m	2,98 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

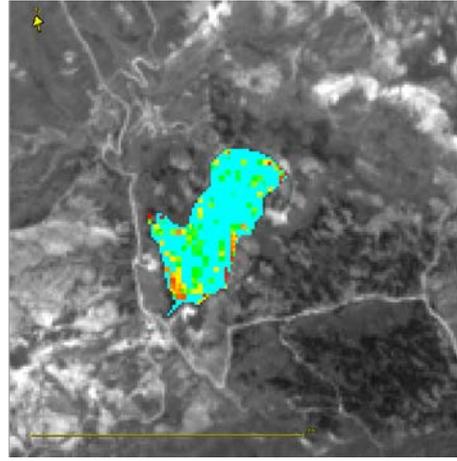
Estado trófico en la zona de presa.



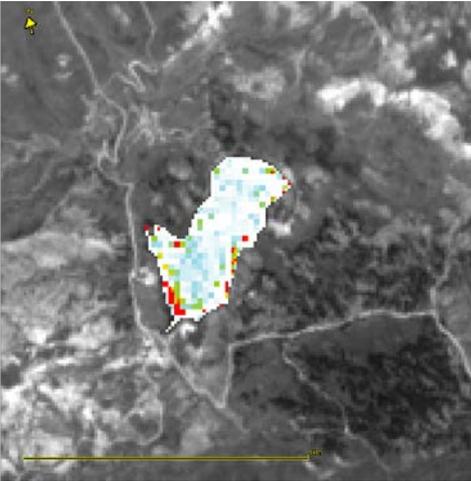
MAS 1804. Embalse de Maidevera. Imagen del 5 de septiembre de 2021



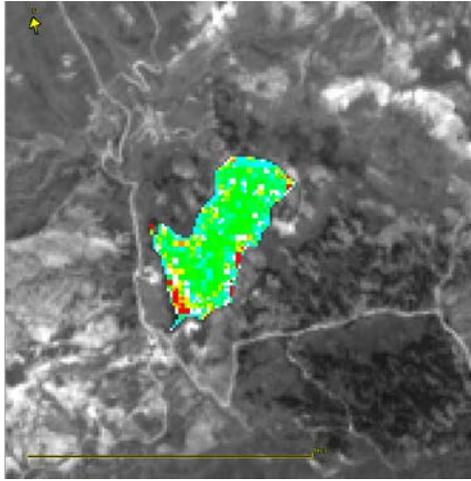
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



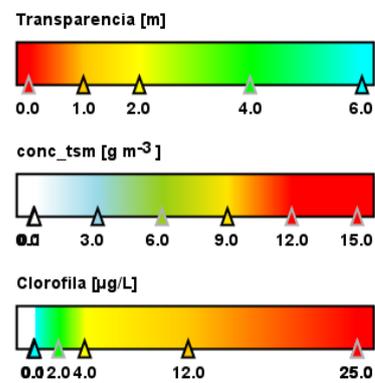
Materia en suspensión (TSM)



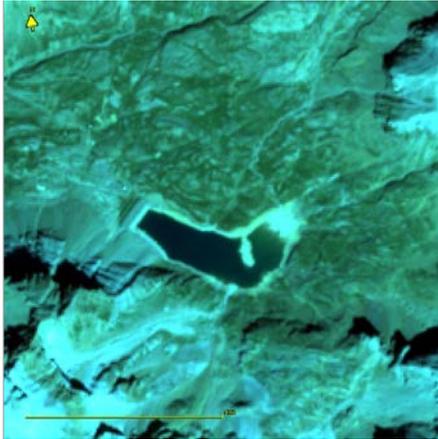
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
11,49 m	1,83 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

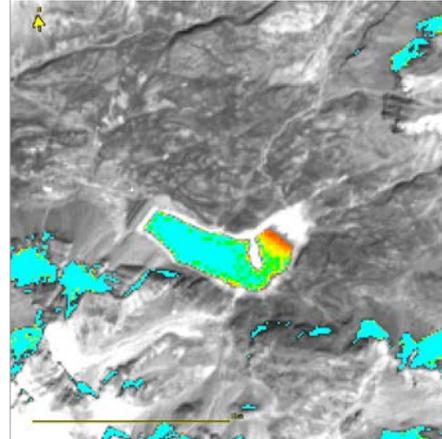
Estado trófico de la zona de presa.



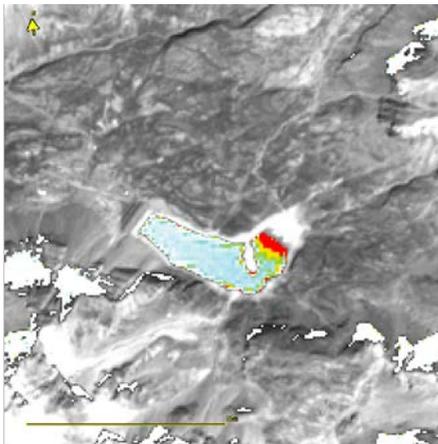
MAS 1002. Embalse de Tramacastilla. Imagen del 19 de julio de 2021.



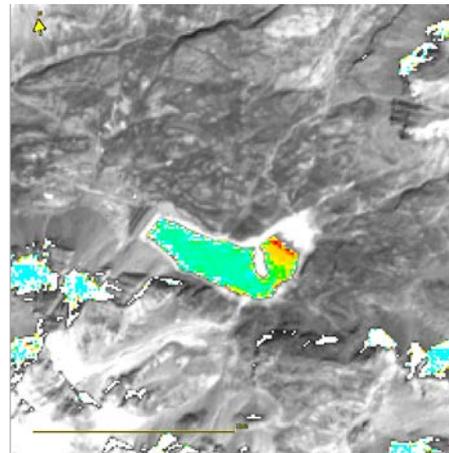
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



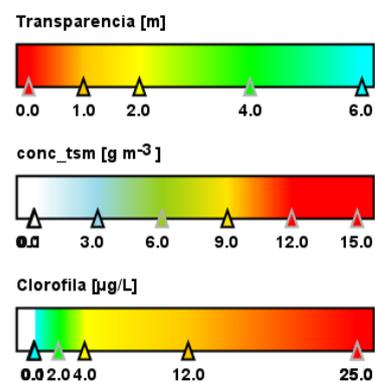
Materia en suspensión (TSM)



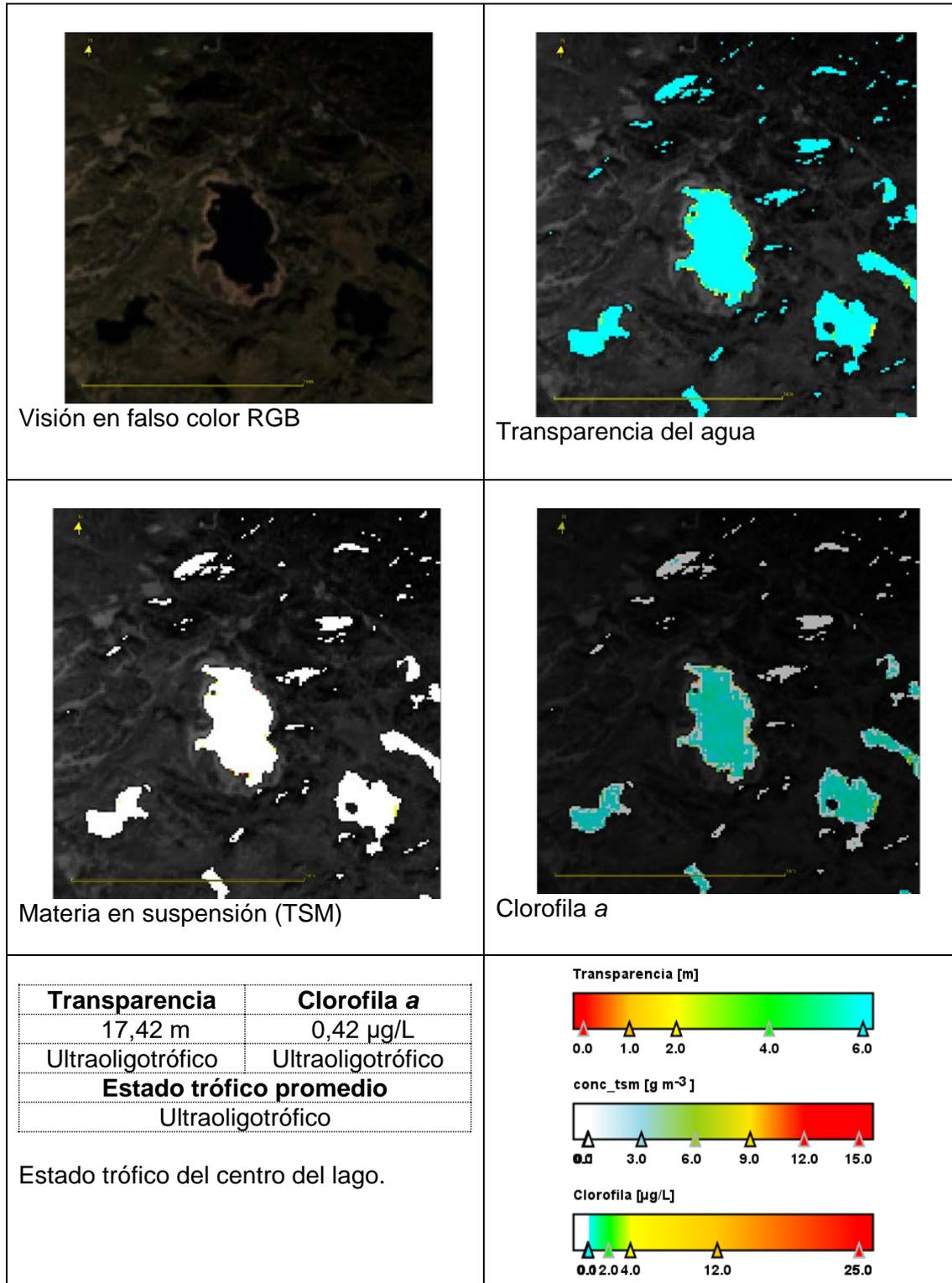
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
6,87 m	0,77 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

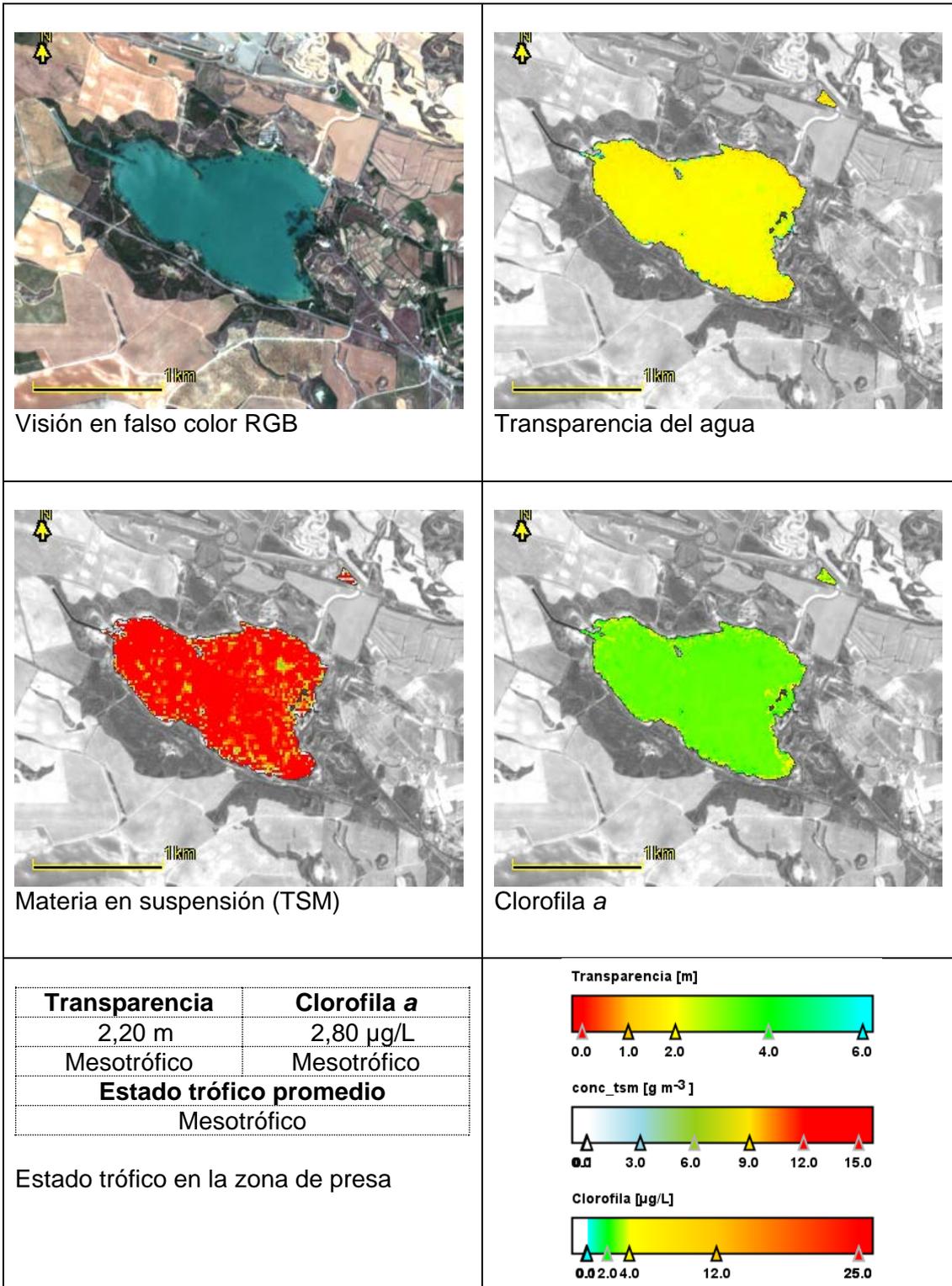
Estado trófico del centro del lago.



MAS 1003. Embalse de Ip. Imagen del 18 de agosto de 2021



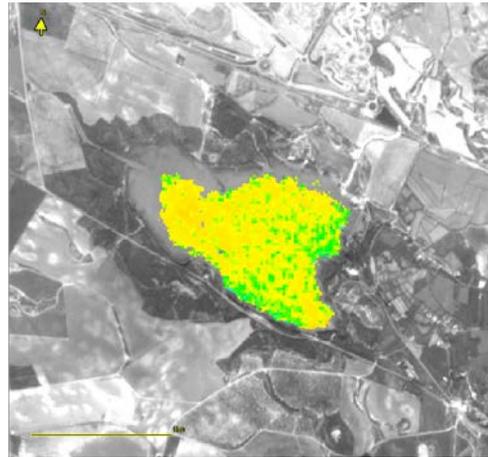
MAS 1020. Lac Major de Colomers. Imagen del 18 de agosto de 2021



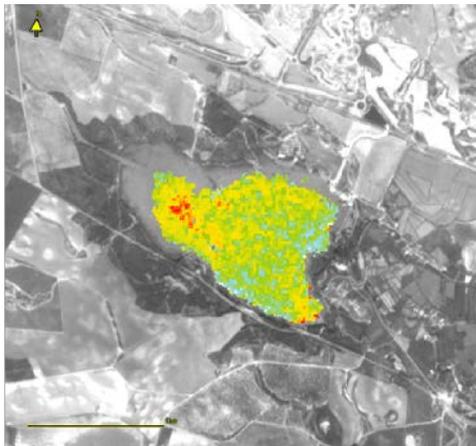
MAS 1022. Embalse de La Estanca de Alcañiz. Imagen del 24 de julio de 2021.



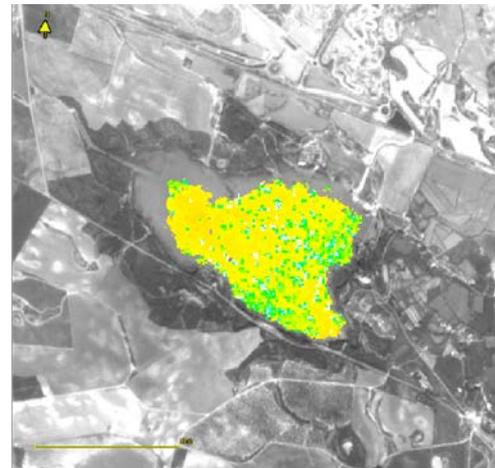
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

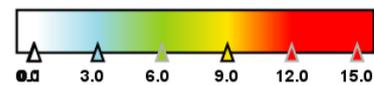
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
2,18 m	4,46 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Mesotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



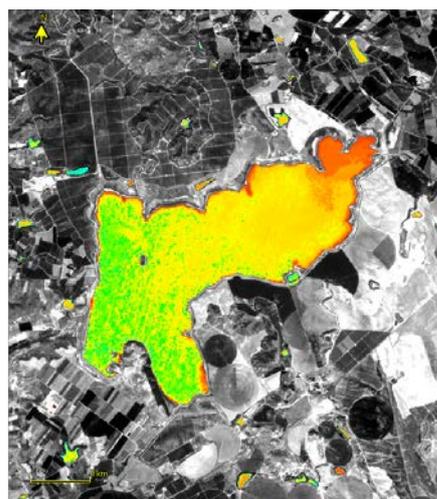
Clorofila [µg/L]



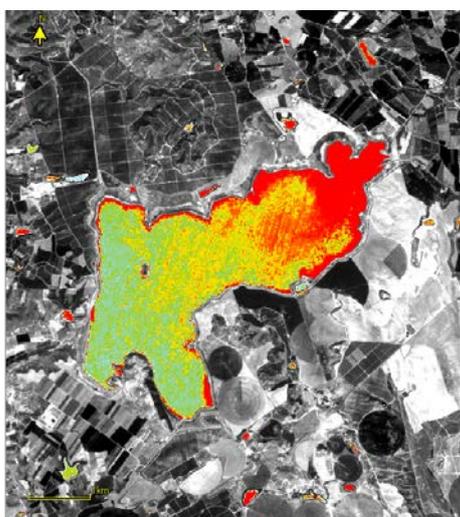
MAS 1022. Embalse de La Estanca de Alcañiz. Imagen del 27 de septiembre de 2021



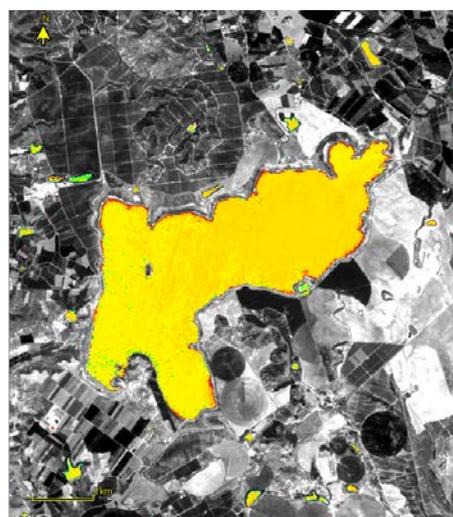
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

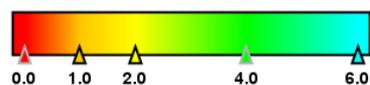


Clorofila a

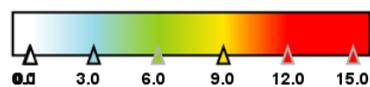
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
3,01 m	5,76 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Oligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



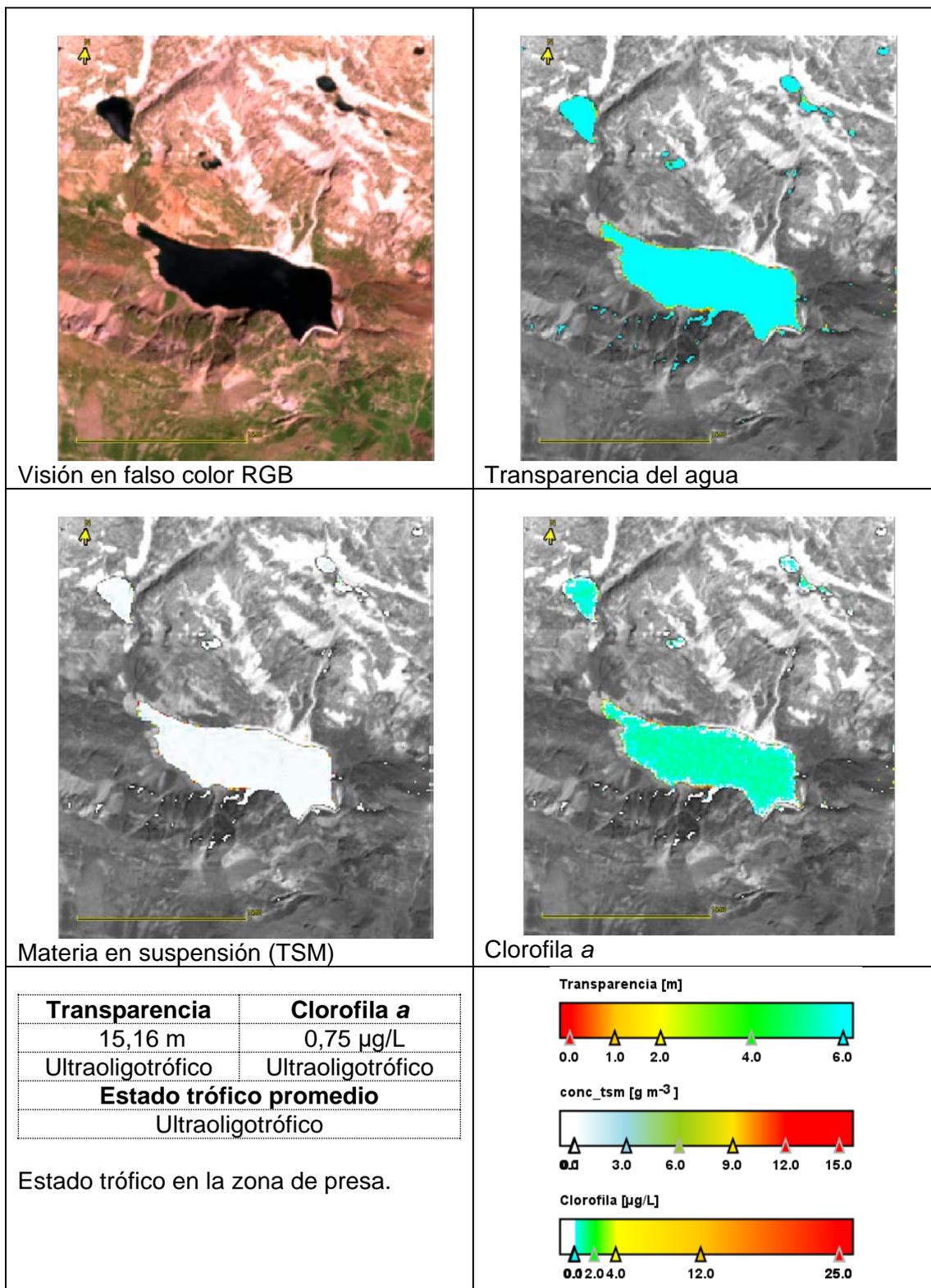
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



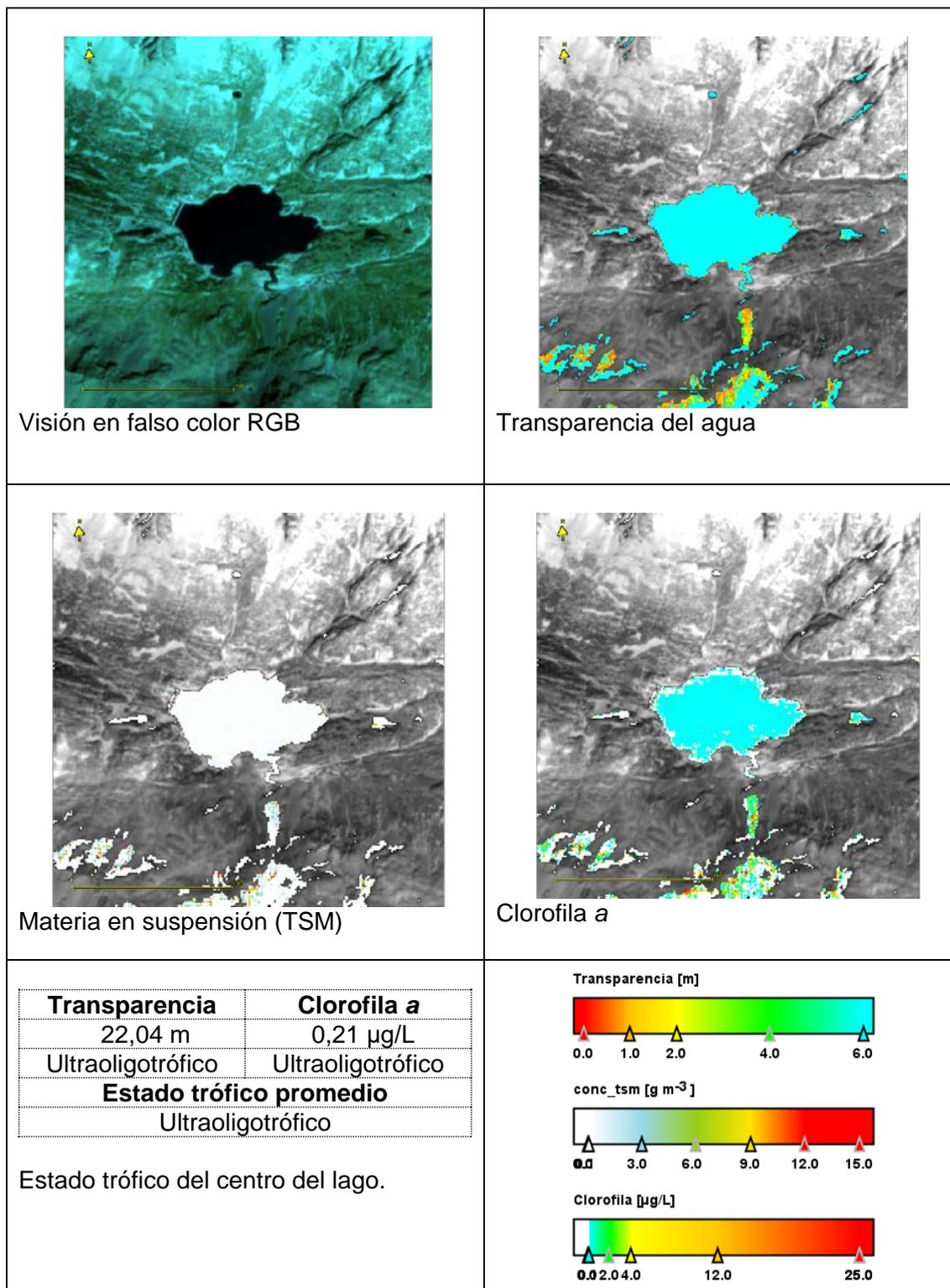
Clorofila [µg/L]



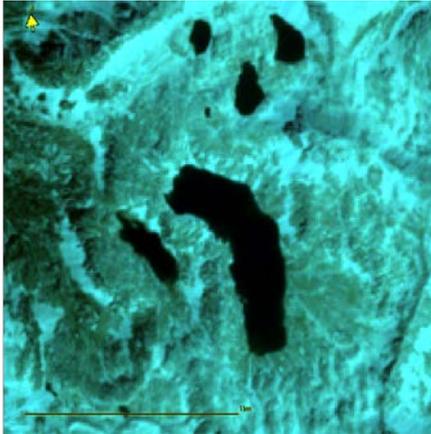
MAS 1807. Embalse de San Salvador. Imagen del 19 de julio de 2021



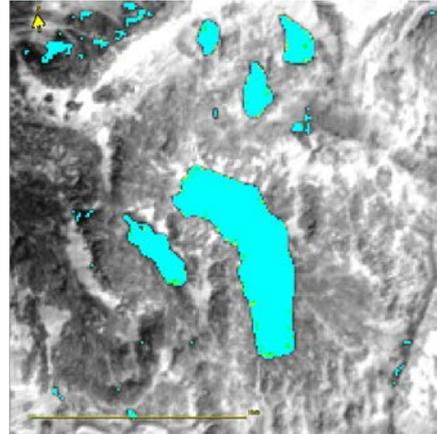
MAS 1053. Embalse de Llauset. Imagen del 19 de julio de 2021



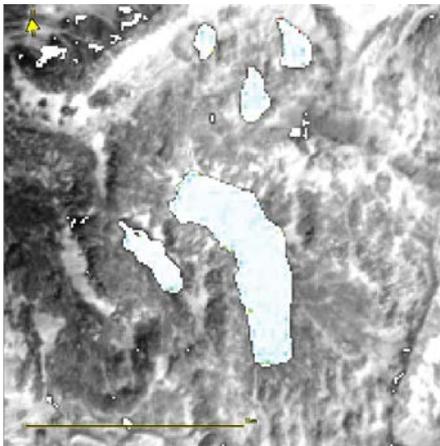
MAS 1033. Embalse de Resposuso. Imagen del 18 de agosto de 2021



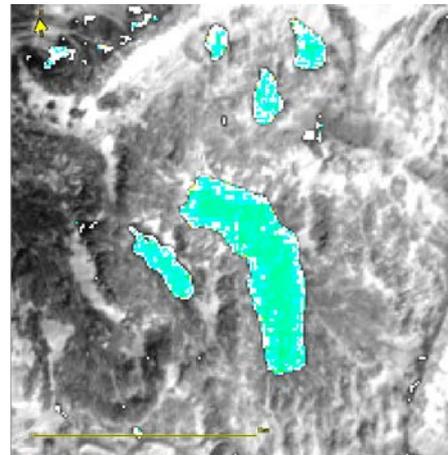
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



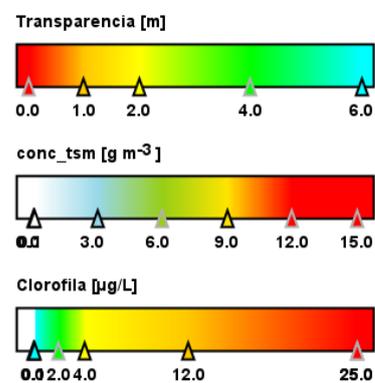
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

Transparencia	Clorofila a
15,16 m	0,61 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

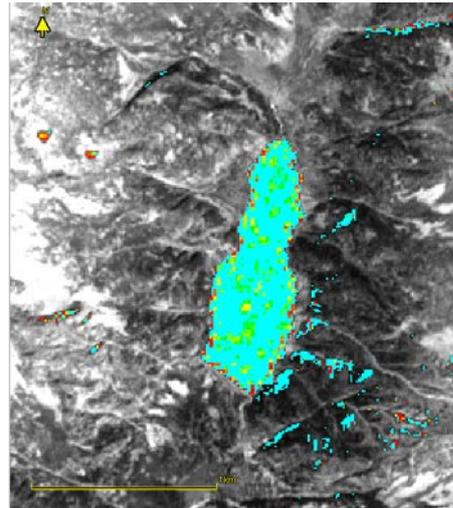
Estado trófico del centro del lago.



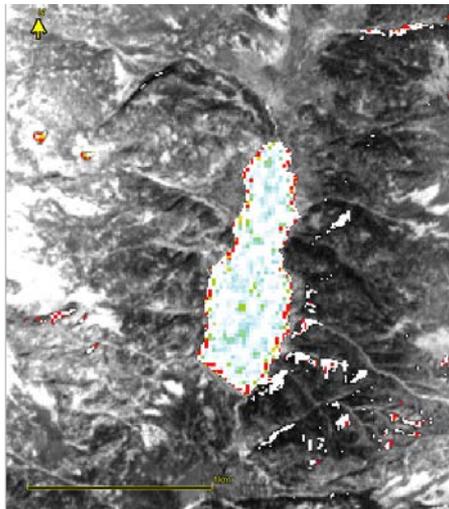
MAS 1039. Embalse de Brazato. Imagen del 18 de agosto de 2021



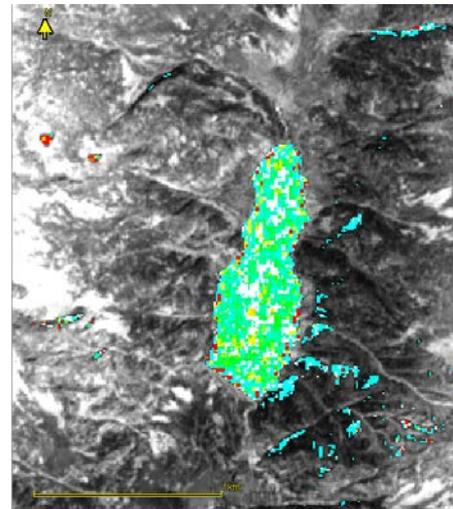
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

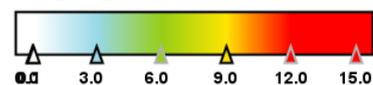
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
12,17 m	1,89 µg/L
Ultraoligotrófico	Oligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico en la zona de presa.

Transparencia [m]



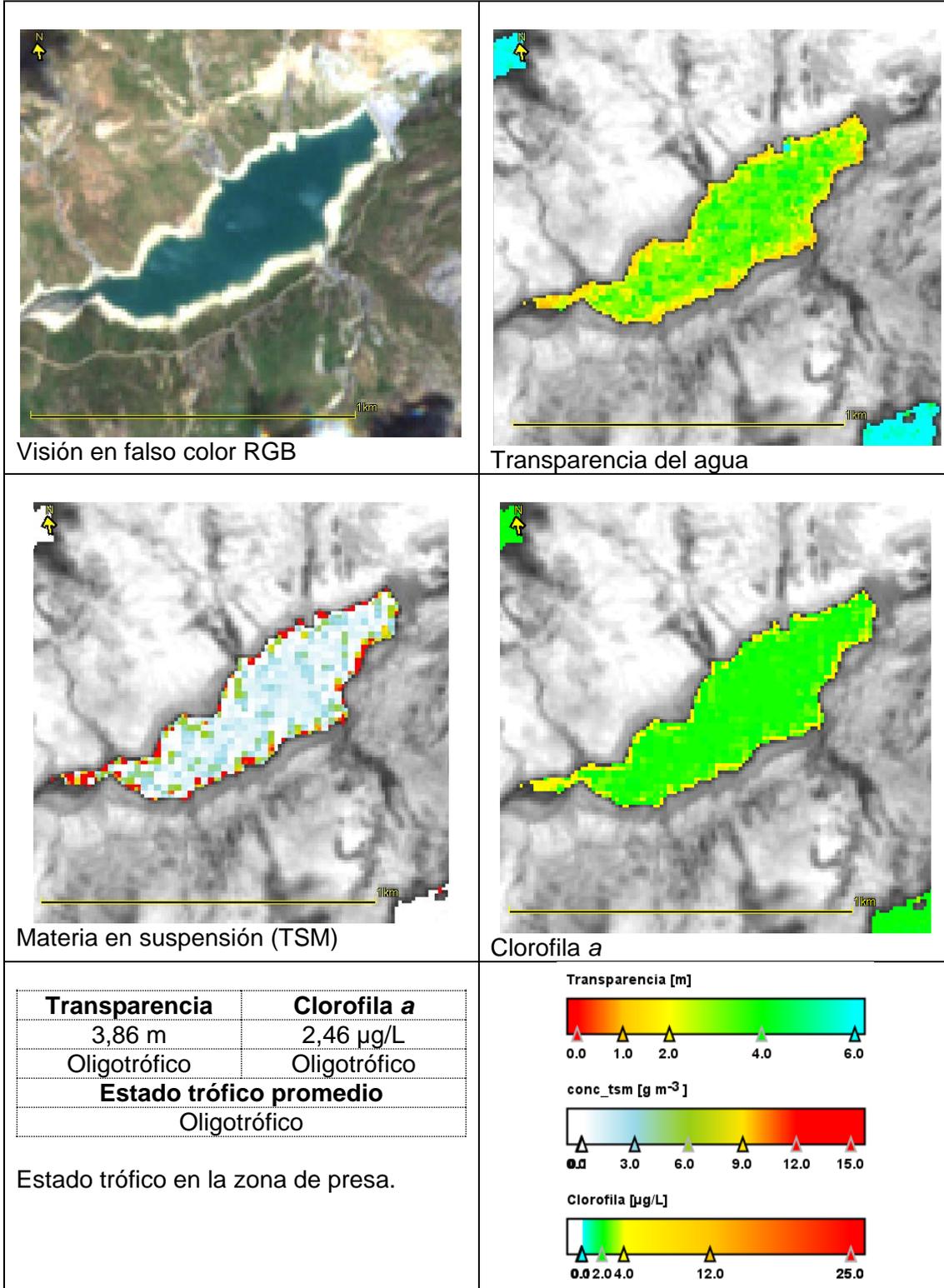
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



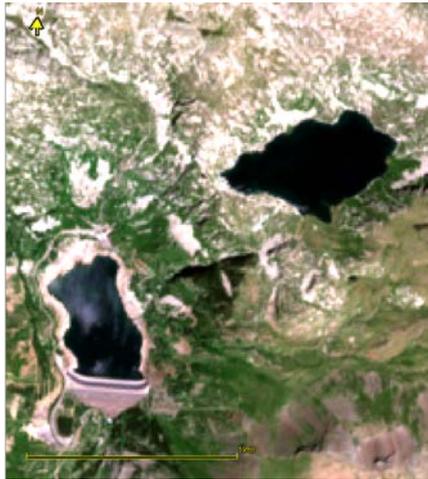
Clorofila [µg/L]



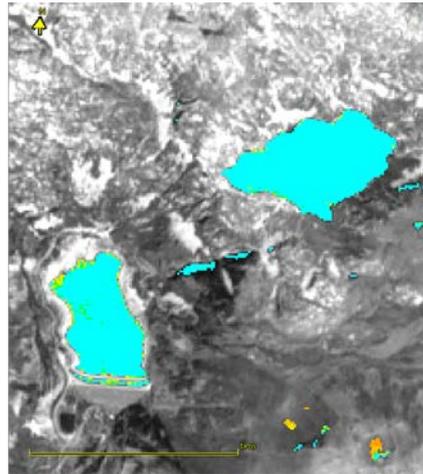
MAS 1043. Embalse de Cavallers. Imagen del 19 de julio de 2021



MAS 1051. Embalse de Escarra. Imagen del 26 de agosto de 2021.



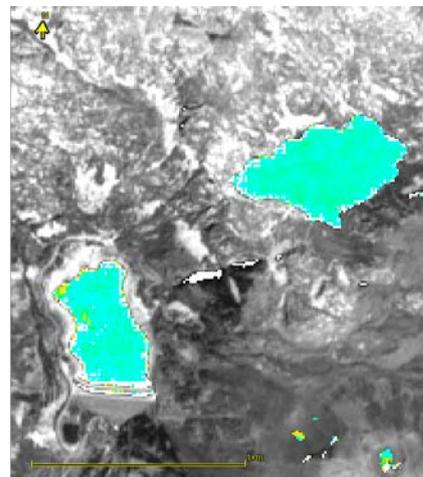
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

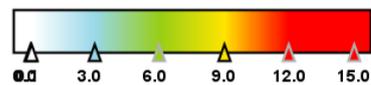
<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
18,54 m	0,38 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico en el centro del embalse.

Transparencia [m]



conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



MAS 1052 y 977. Embalses de Sallente y Gento. Imagen del 17 de julio de 2021

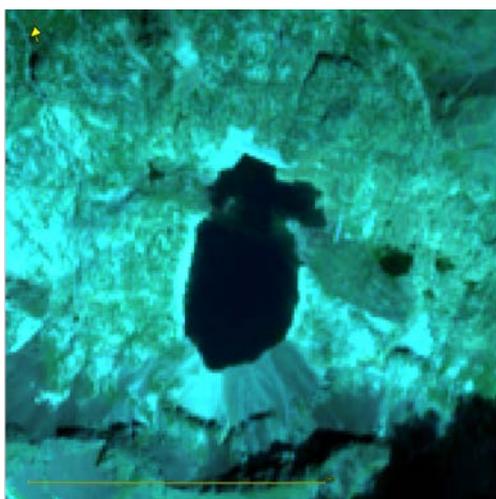




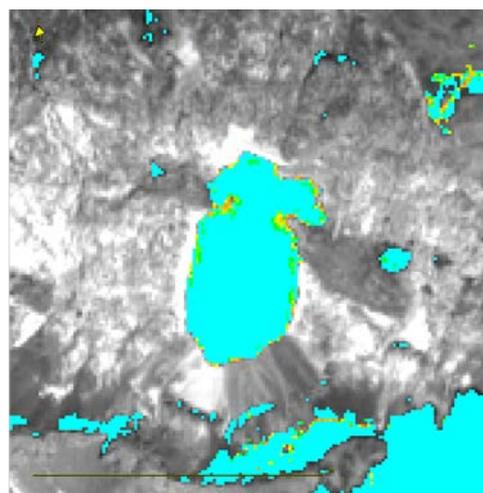
## ANEXO 2. FICHAS DE LOS LAGOS ESTUDIADOS

---

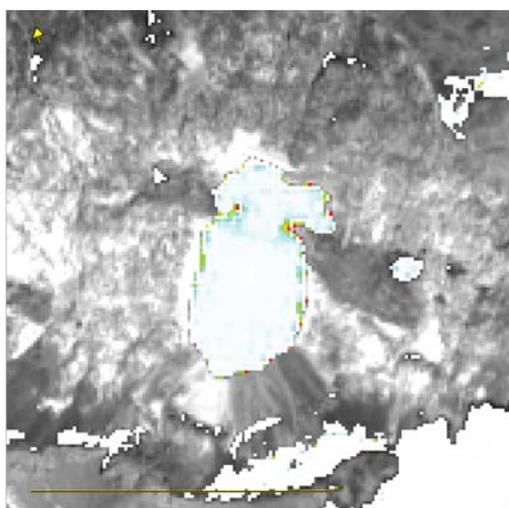




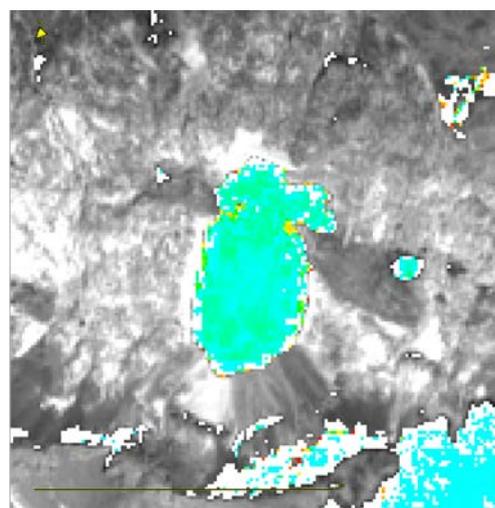
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

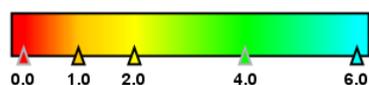


Clorofila a

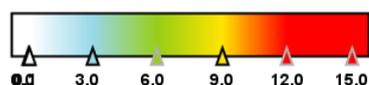
Transparencia	Clorofila a
20,16 m	0,33 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico del centro del lago.

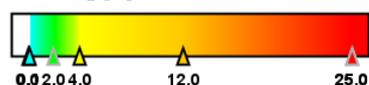
Transparencia [m]



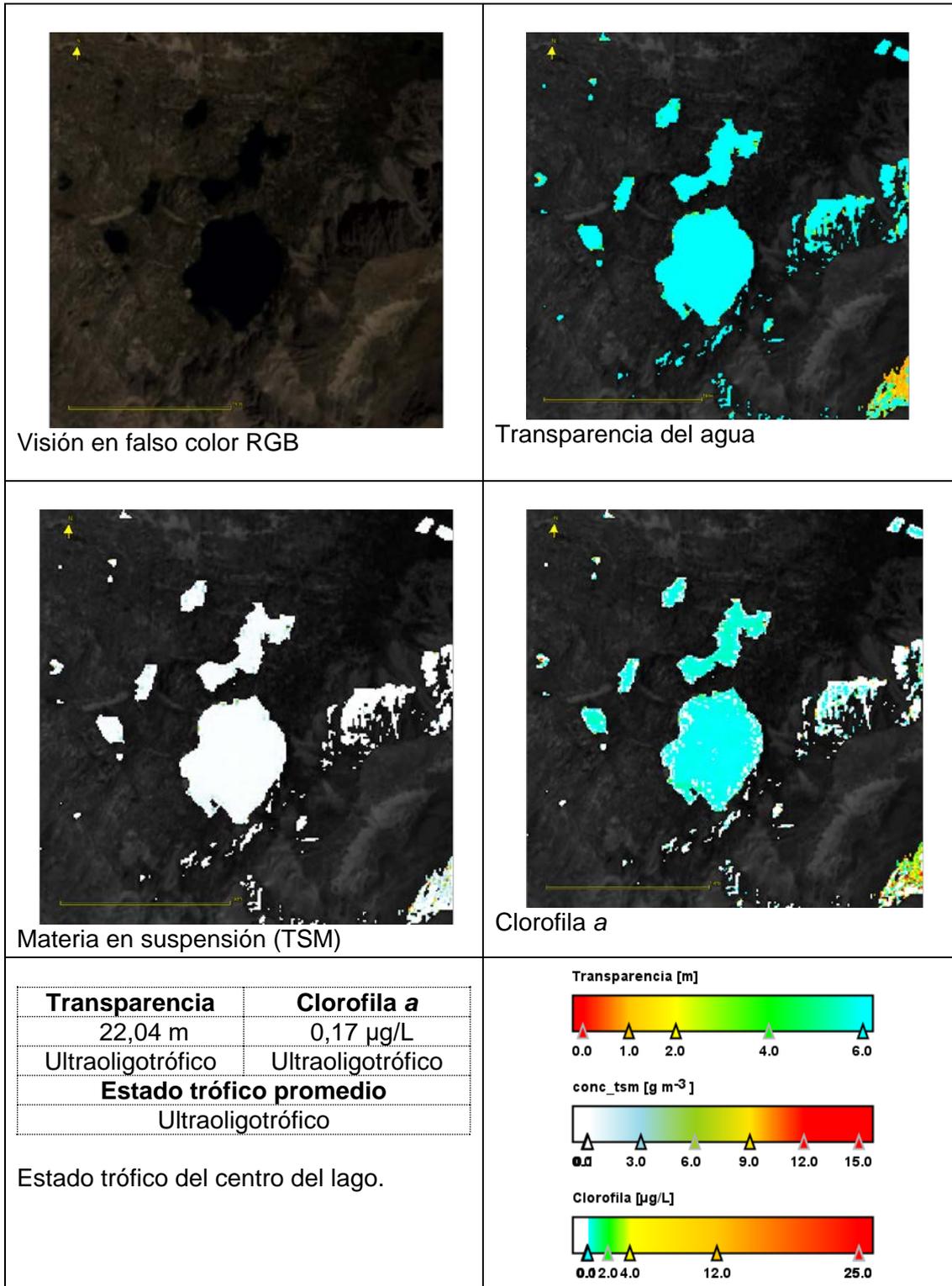
conc\_tsm [g m<sup>-3</sup>]



Clorofila [µg/L]



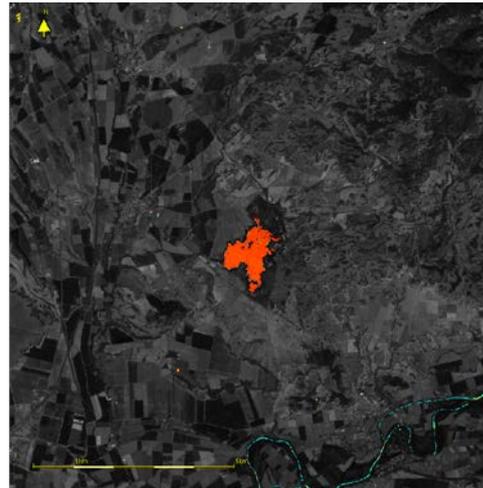
MAS 1001. Embalse de Urdiceto. Imagen del 18 de agosto de 2021



MAS 987. Estany Negre. Imagen del 18 de agosto de 2021



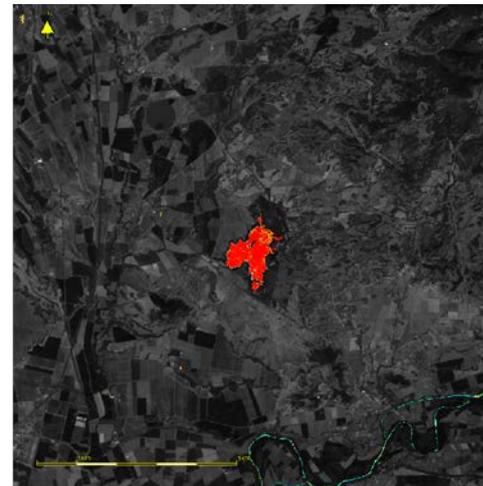
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



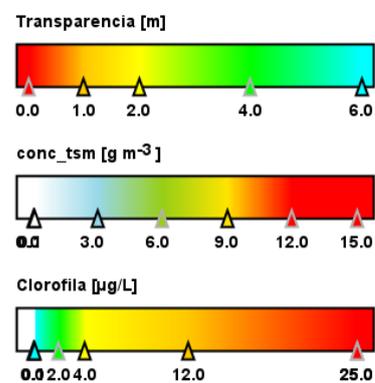
Materia en suspensión (TSM)



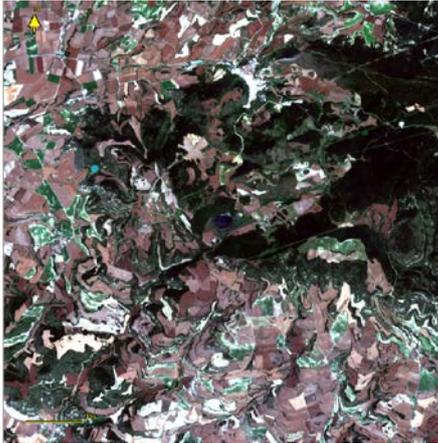
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
0,38 m	39,89 µg/L
Hipereutrófico	Hipereutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Hipereutrófico	

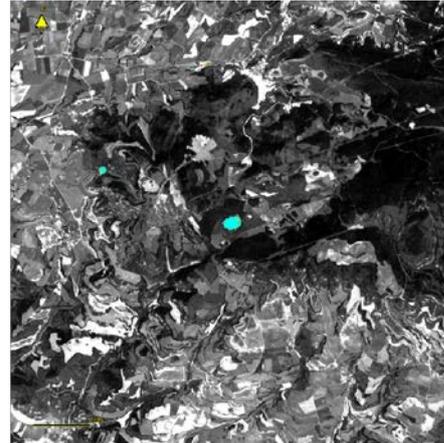
Estado trófico del centro del lago.



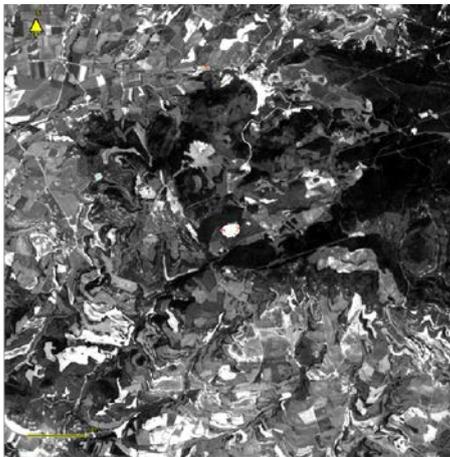
MAS 1016. Laguna de Pitillas. Imagen del 17 de julio de 2021



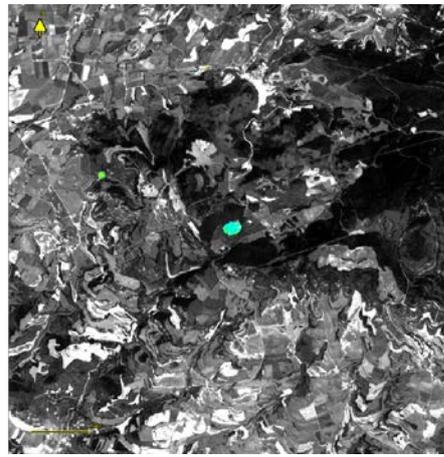
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



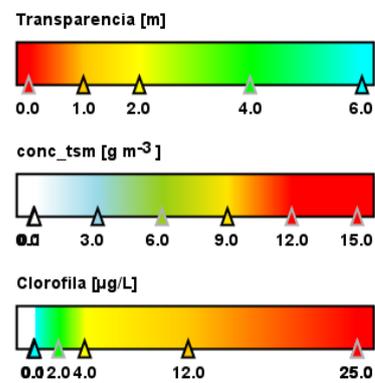
Materia en suspensión (TSM)



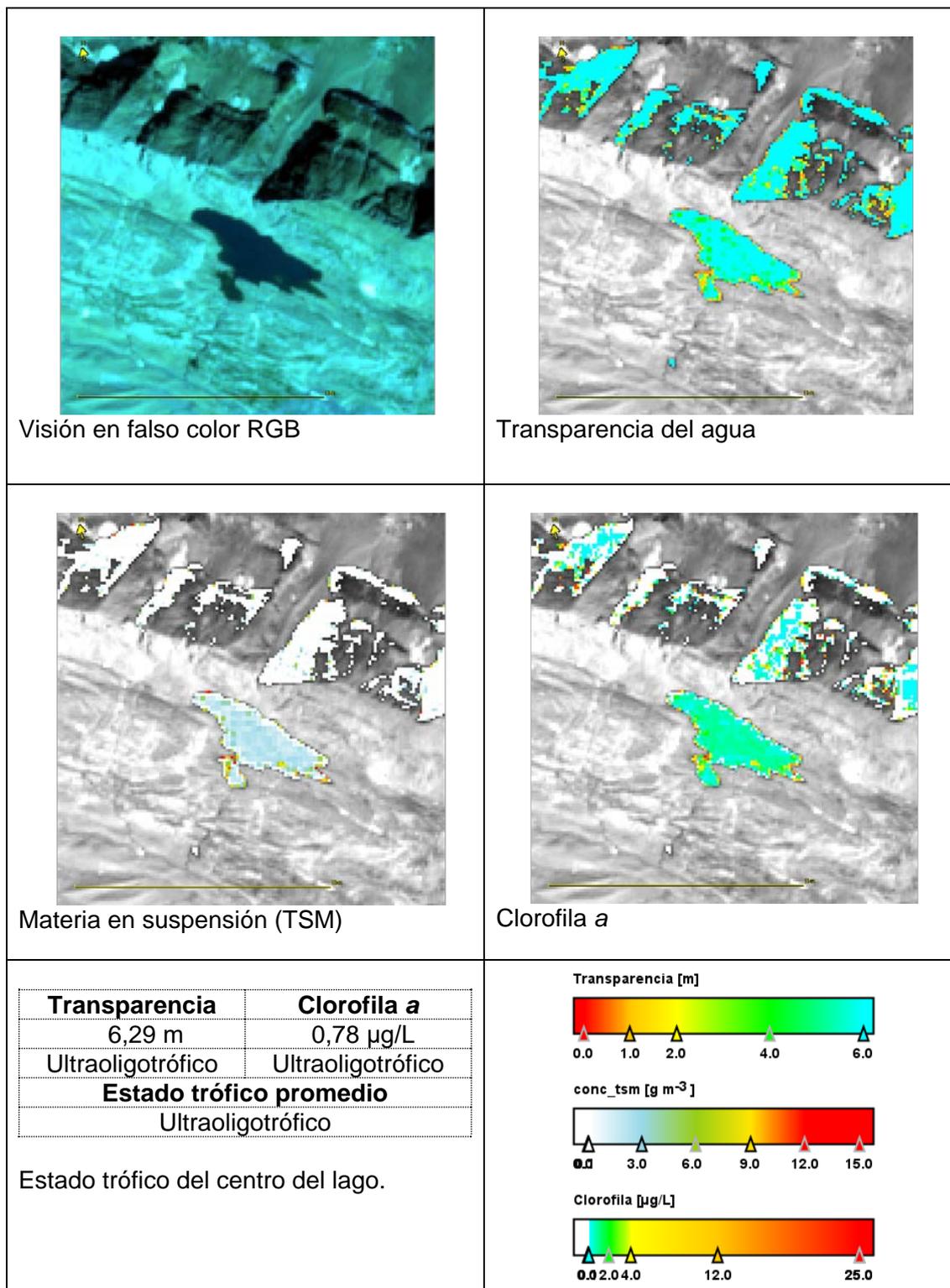
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
13,31 m	0,95 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

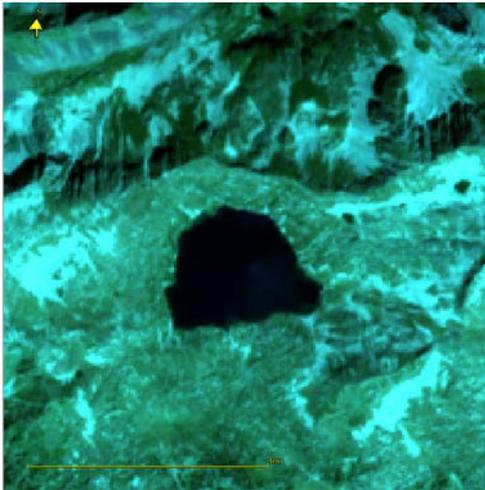
Estado trófico del centro del lago.



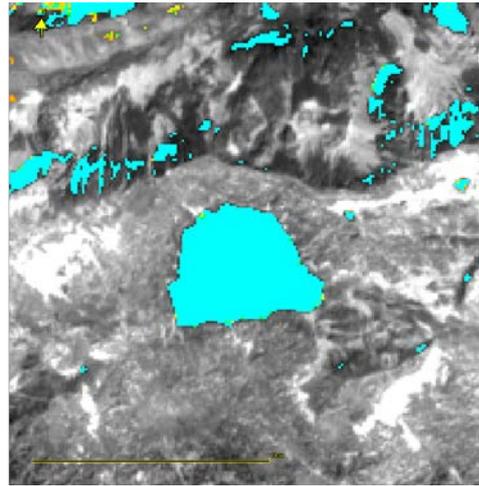
MAS1019. Lago de Arreo. Imagen del 10 de julio de 2021



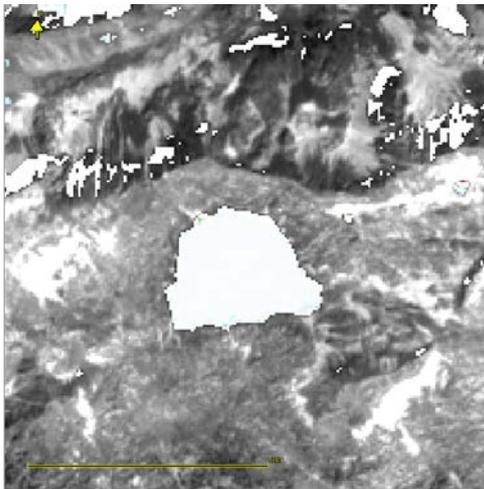
MAS 1027. Lago de Marboré. Imagen del 18 de agosto de 2021



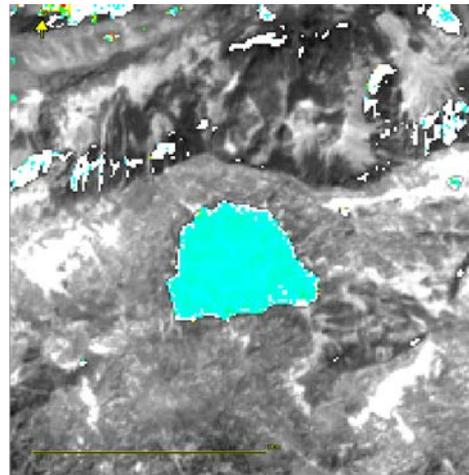
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



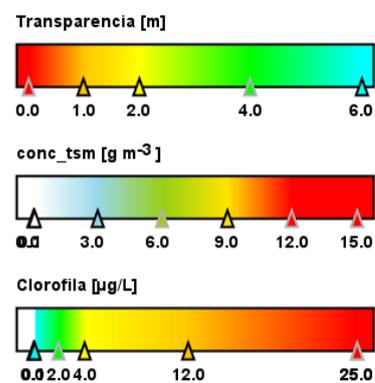
Materia en suspensión (TSM)



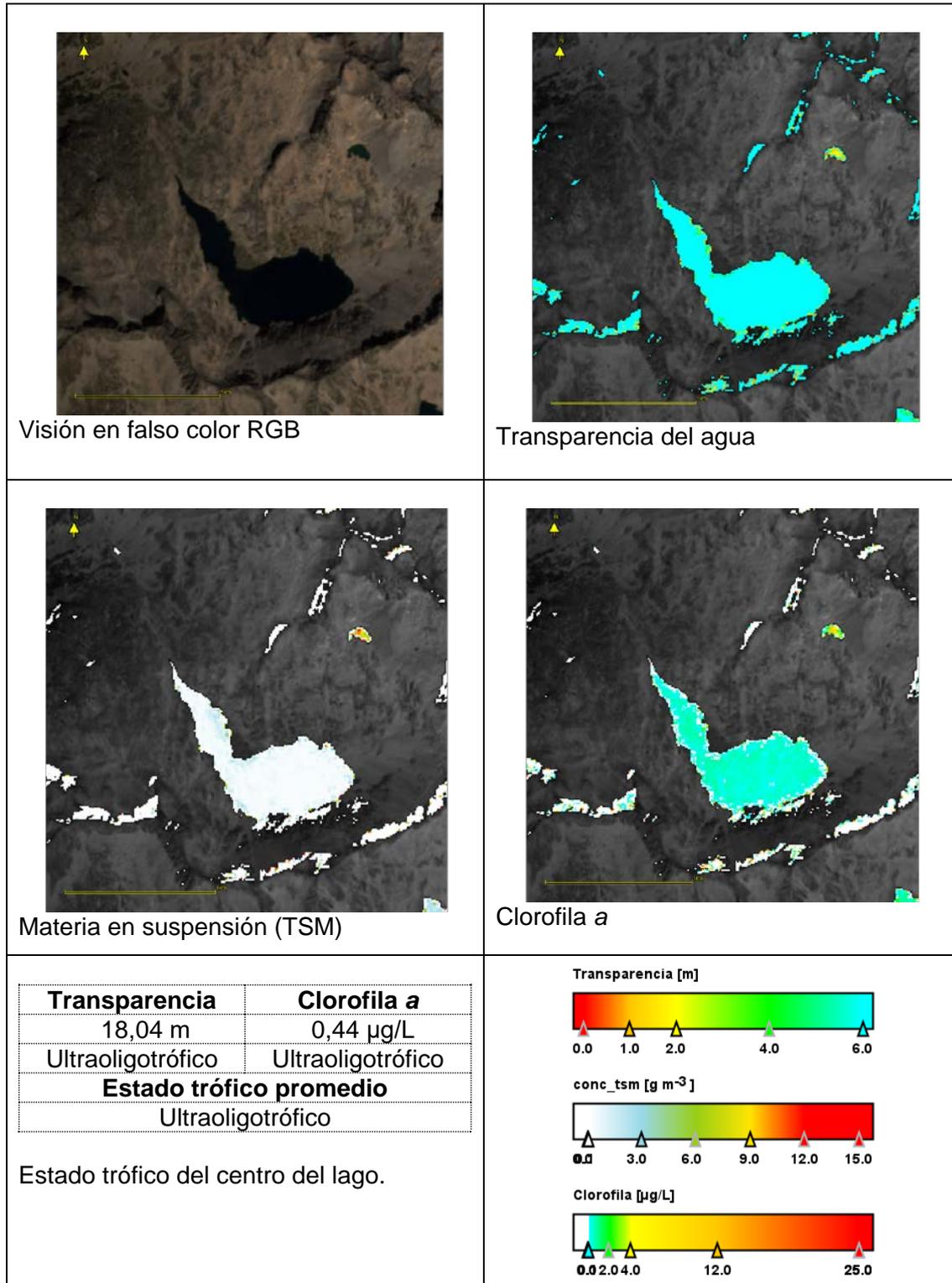
Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
21,19 m	0,26 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Ultraoligotrófico	

Estado trófico del centro del lago.



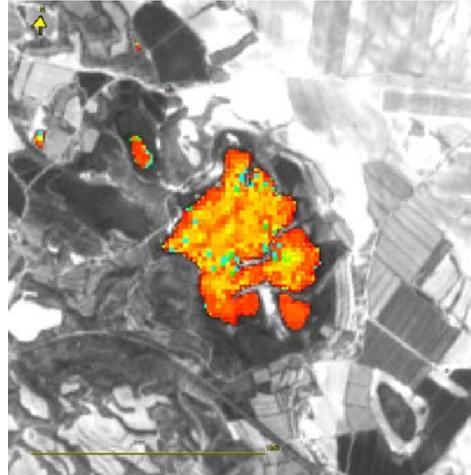
MAS 970. Lac Redon. Imagen del 18 de agosto de 2021



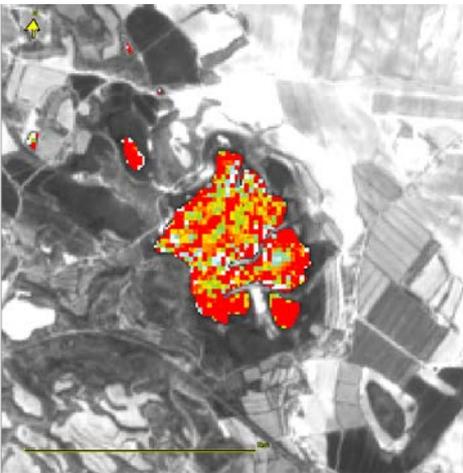
MAS 983. Ibón de Cregüena. Imagen del 18 de agosto de 2021



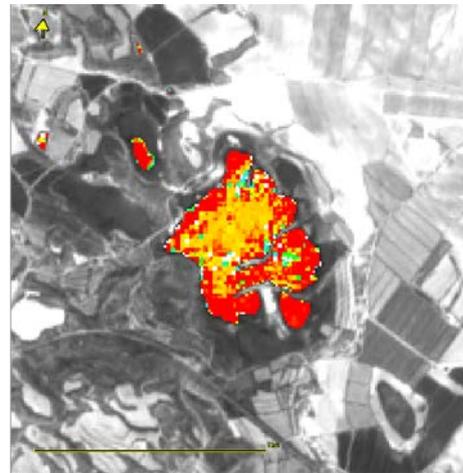
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



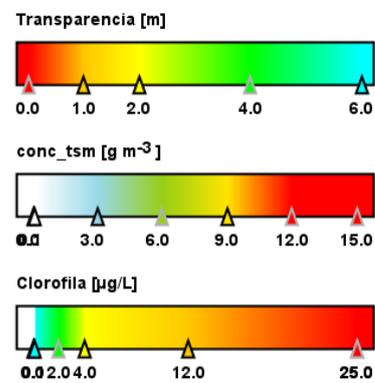
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,05 m	12,29 µg/L
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

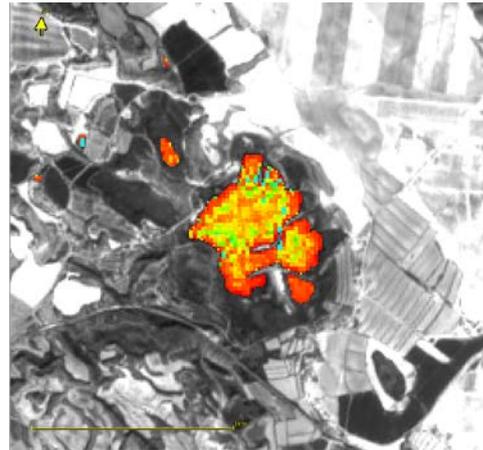
Estado trófico del centro del lago.



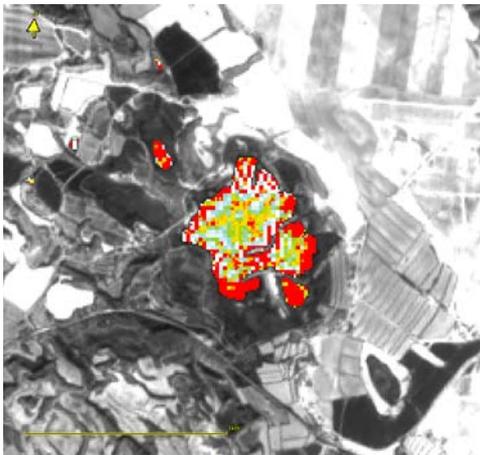
MAS 990. Laguna Salada de Chiprana. Imagen del 19 de julio de 2021



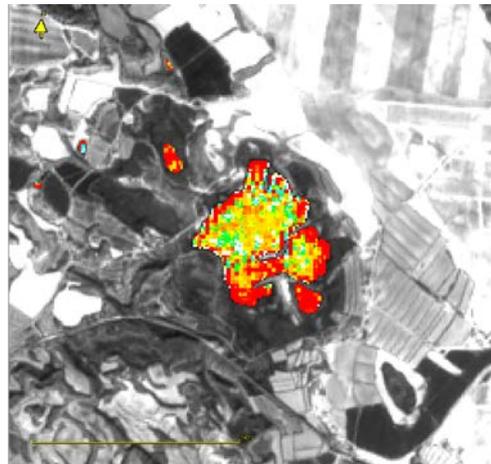
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



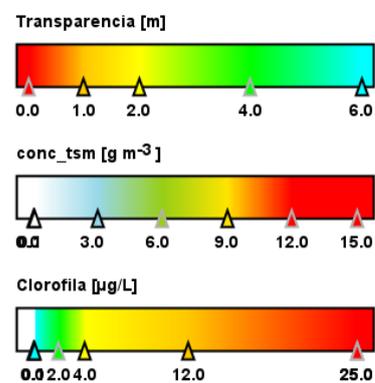
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

<b>Transparencia</b>	<b>Clorofila a</b>
1,31 m	16,73 µg/L
Eutrófico	Eutrófico
<b>Estado trófico promedio</b>	
Eutrófico	

Estado trófico en el centro de la laguna.



MAS 990. Laguna Salada de Chiprana. Imagen del 27 de septiembre de 2021





### **ANEXO 3. ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE FICOCIANINA EN EL EMBALSE DE ORTIGOSA**

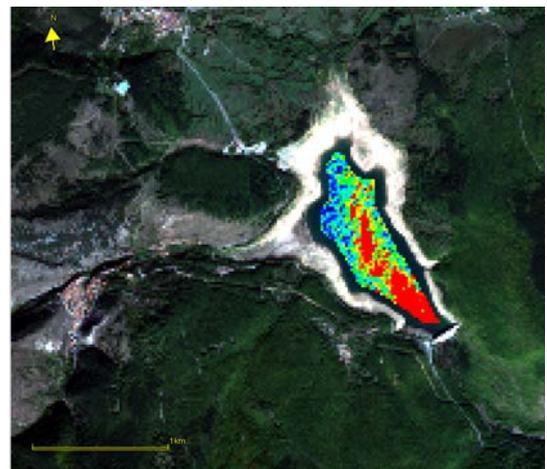
---





## SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUAS EN EMBALSES DE LA CUENCA MEDIANTE TELEDETECCIÓN

### PRESENCIA CIANOBACTERIAS EN ORTIGOSA Y PAJARES



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS  
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

## Informe sobre la presencia de Cianobacterias en los embalses de Ortigosa y Pajares pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Ebro

Autores: Eduardo Vicente, Juan Miguel Soria y Rebeca Pérez González.

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Universidad de Valencia.

### Antecedentes

Durante los primeros días de octubre se ha observado la presencia de manchas de algas flotantes en las aguas del embalse de Ortigosa o González Lacasa (La Rioja) que han cubierto una superficie importante del mismo. Este embalse se utiliza para el suministro de Logroño, por lo que es preocupante conocer la presencia de estas algas.



Imágenes obtenidas el 8 de octubre de 2021.

### Metodología aplicada

En primer lugar, se explica el procedimiento realizado para la obtención de datos de ambos embalses desde el 30 de septiembre de 2021 hasta la última imagen recogida por el satélite, a raíz de la observación de un posible empeoramiento de la calidad de las aguas comprendida en el espacio temporal anteriormente dicho.

Para ello, se descargan las imágenes correspondientes a los días de paso del satélite (cada 5 días) desde la página web de la Agencia Espacial Europea (ESA), Open Acces Hub, donde se descargan las imágenes del satélite Sentinel-2 sin corrección atmosférica (L1C). Una vez descargadas se procede a su procesado en la herramienta SNAP de la ESA. Para este procesado se deben remuestrear las imágenes para así obtener la misma resolución espacial en todas las bandas que nos aporta el satélite; se procede a recortar las zonas de interés, por un lado, el embalse de Ortigosa y por otro el de Pajares que servirá de referencia. En este punto se aplica la corrección atmosférica tipo C2RCC-C2X-Complex-Nets a partir de la cual podemos observar los productos automáticos que nos proporciona, en este caso la clorofila a. La ficocianina no forma parte de los productos automáticos de SNAP así que para ello se aplica una relación de bandas

(R705/R665) y un posterior algoritmo, previamente validado en otros estudios muy recientes

$$[PC] = 24,665 \times 3,4607 / R^2 = 0,75 / RMSE (\mu\text{g/L}) = 8,13 / RRMSE (\%) = 18,91$$

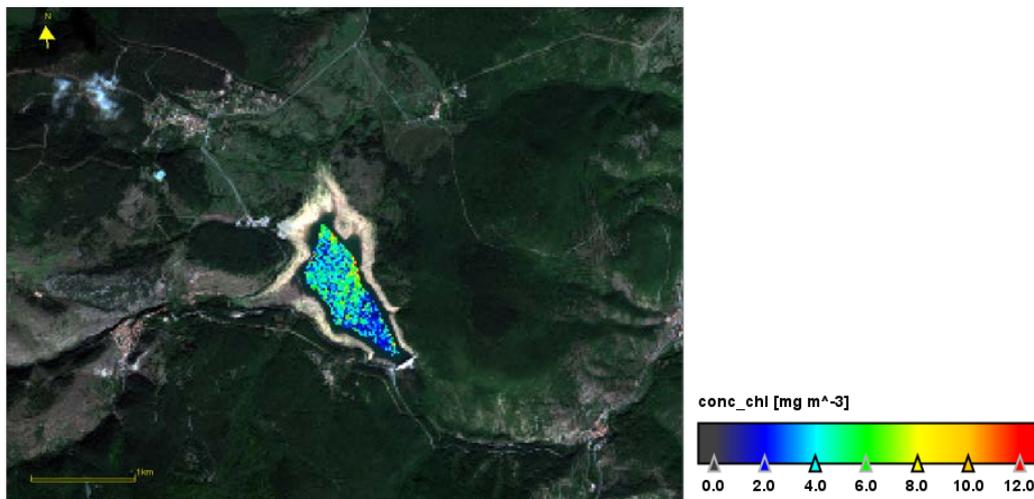
Aplicando esta ecuación y el producto automático de SNAP obtenemos los mapas temáticos de los dos embalses, de los cuales mediante una máscara de agua se han eliminado los bordes para evitar posibles errores. Cabe destacar que la presencia de nubes sobre los embalses dificulta su procesado, incluso llegando a hacerlo imposible, por lo que los días en los que haya habido nubosidad únicamente se ha descargado la imagen de Sentinel-2 marcando la ubicación de ambos embalses cubiertos por las nubes.

## Resultados

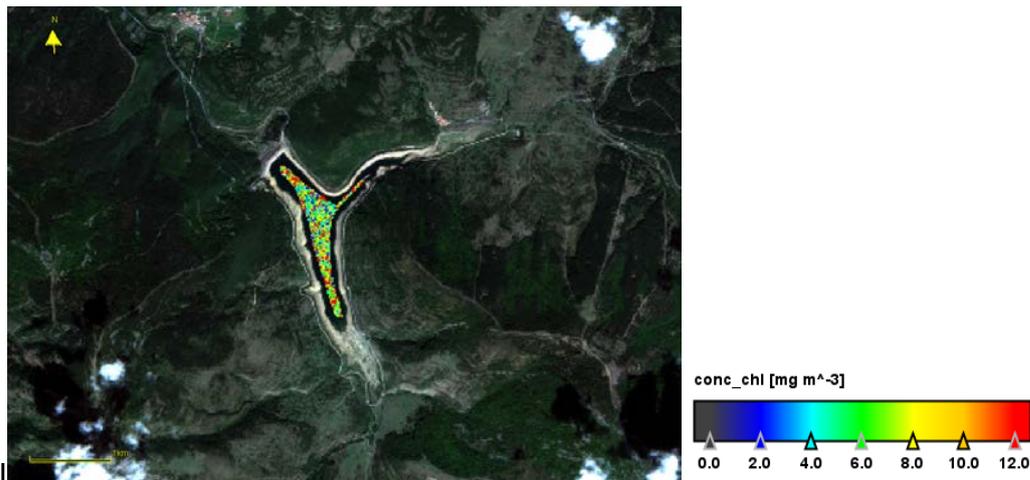
30 de septiembre de 2021



Mapa RGB Ortigosa 30-sep 2021

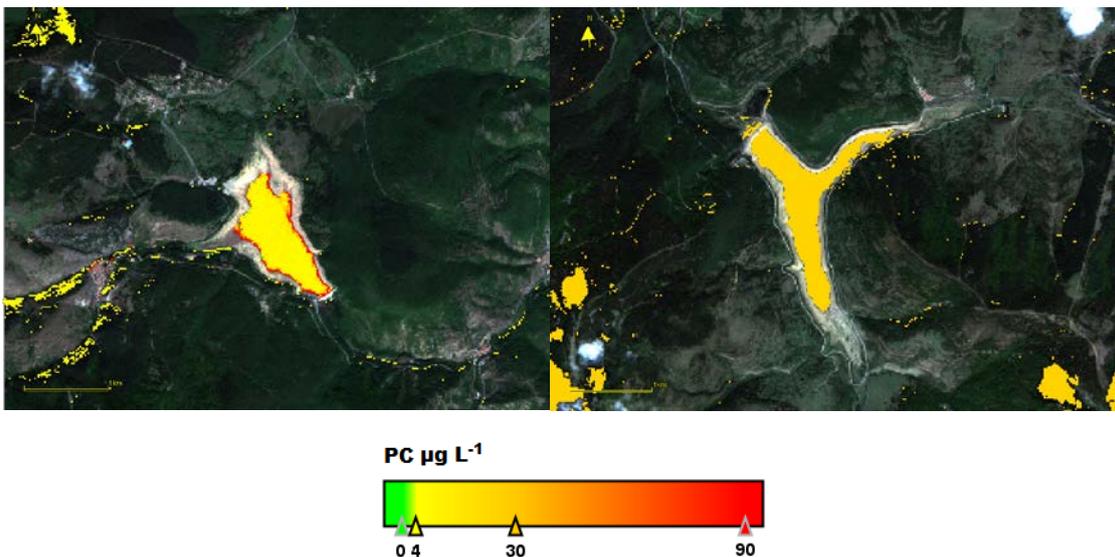


Mapas temáticos de clorofila a de Ortigosa 30-sep-2021



Mapa temático de clorofila a de Pajares 30-septiembre-2021

En la situación inicial de referencia los valores de clorofila en superficie en estos embalses son bajos, en el nivel trófico de oligotrófico en Ortigosa y Mesotrófico en Pajares. Debemos recordar la limitación de la medida del satélite que se realiza sólo en la capa más superficial, como máximo 1-2 m de profundidad. Se han enmascarado las orillas someras para que no indiquen un positivo elevado que sólo correspondería al fondo de las márgenes.



Mapas temáticos de ficocianina en Ortigosa y Pajares 30-sep-2021

En el embalse de Ortigosa no se observa concentraciones altas de ficocianina, en torno a los 10 µg/L que correspondería a un nivel I de alerta de calidad para aguas de suministro según la OMS (El nivel I se sitúa entre 4 y 30 µg / L de ficocianina).

#### 5 de octubre de 2021

La nubosidad del día 5 de octubre impide ver los embalses, por lo que a continuación se muestra la imagen RGB de ambos embalses.

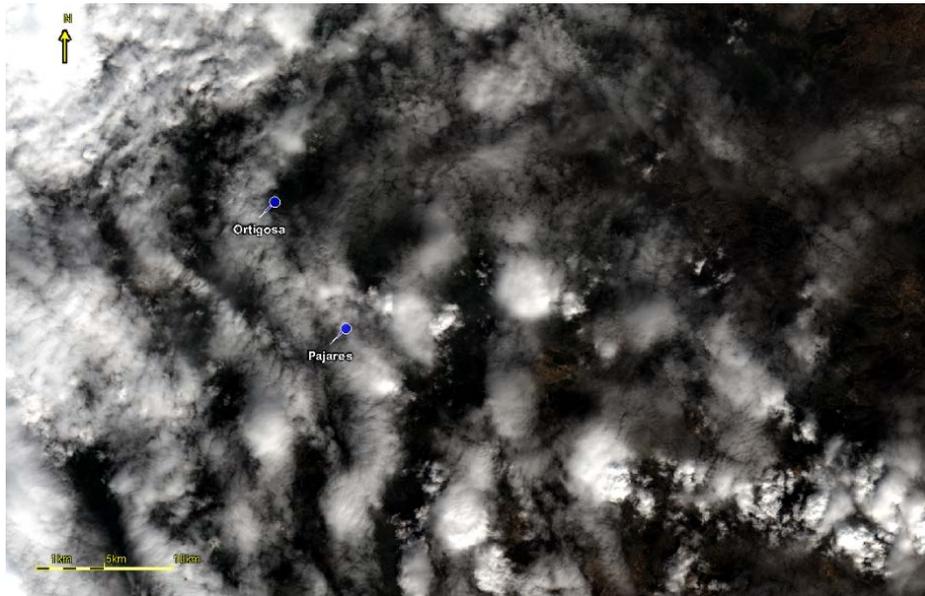


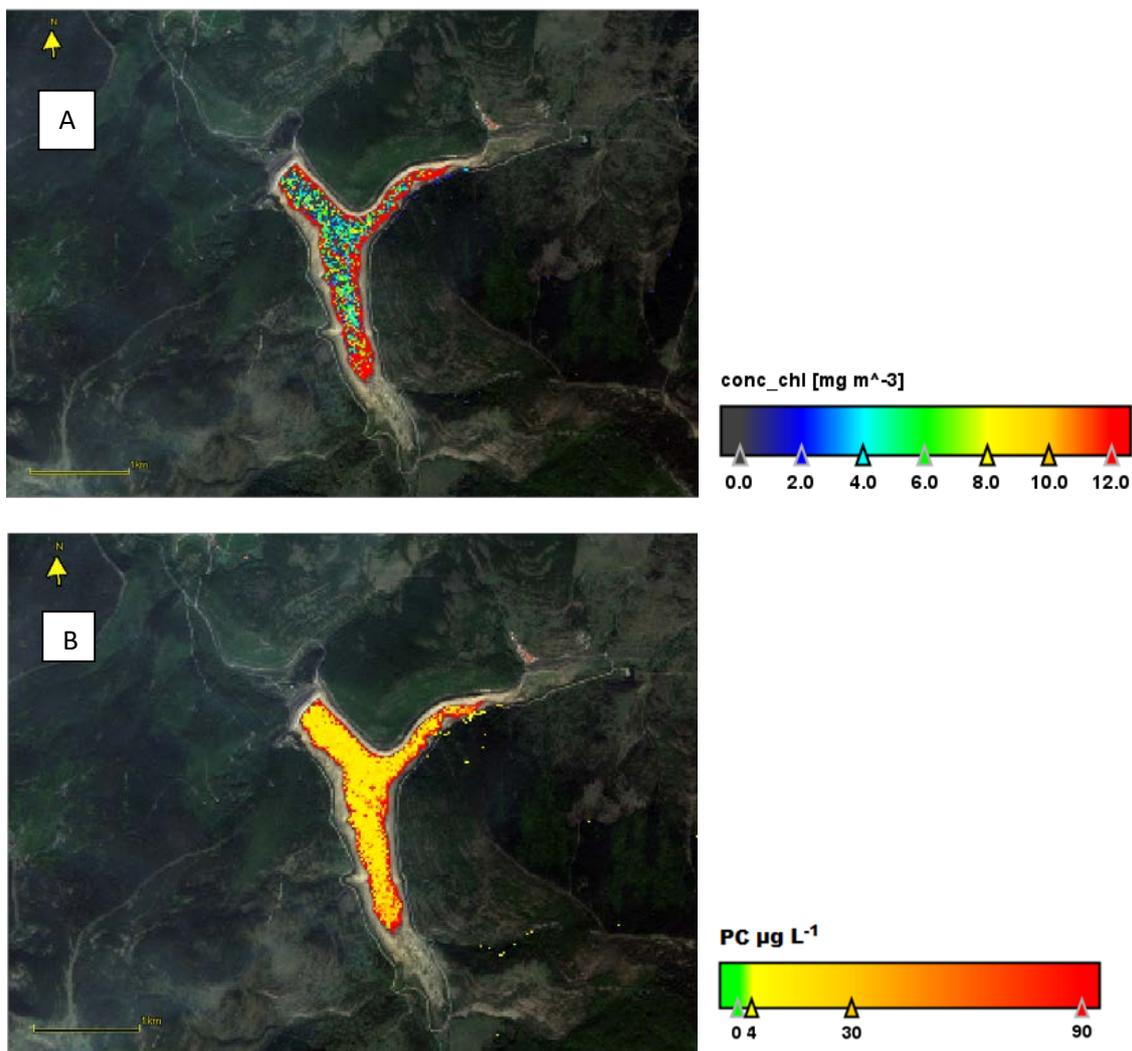
Imagen RGB Pajares y Ortigosa 5-oct 2021

10 de octubre de 2021



Imagen RGB Ortigosa 10-oct 2021

La presencia de nubes altas el 10 de octubre impide tratar la imagen, por lo que sólo podemos ver las apreciaciones visuales de que en el embalse de Ortigosa aparece esa mancha verde en la zona central, más intensa al este y se va atenuando hacia el centro.



Mapa de clorofila a (A) y ficocianina (B) de Pajares 10-oct-2021

El embalse de Pajares en esta fecha muestra valores similares a la imagen anterior. En esta escena se muestra la zona del borde del embalse, con la presencia de unos valores elevados falsos (sin enmascarar) debido a que el satélite ve la zona somera y da un positivo que corresponde a la vegetación que recubre el fondo.

15 de octubre de 2021

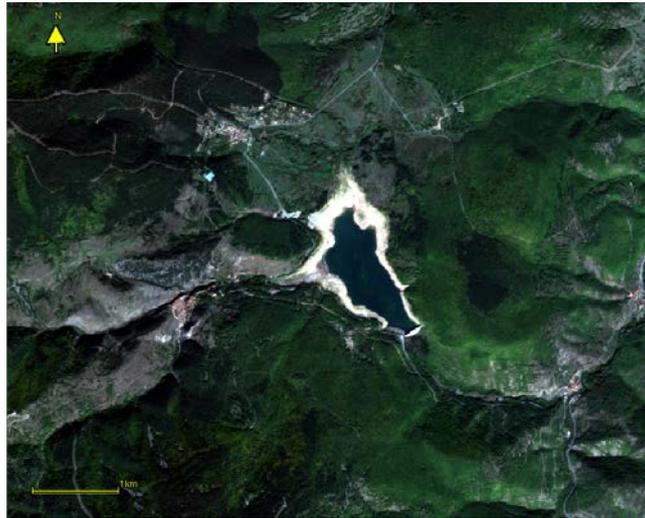
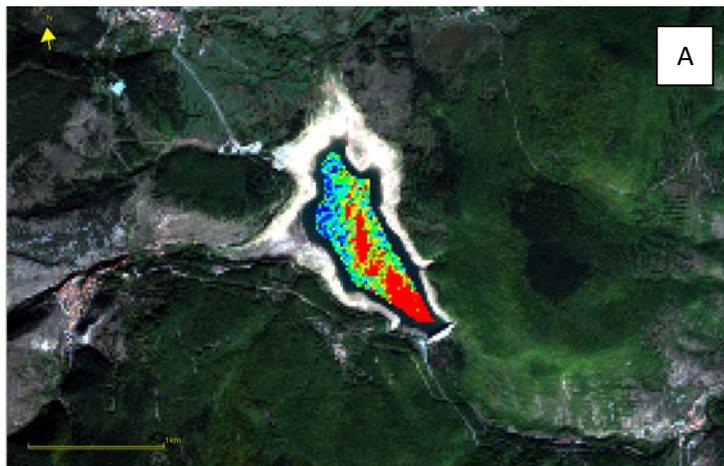
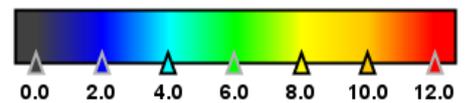


Imagen RGB Ortigosa 15-oct 2021

La imagen visual del 15 de octubre de Ortigosa presenta las manchas superficiales de algas distribidas por todo el embalse, con acumulación en la zona de presa y en la zona central.

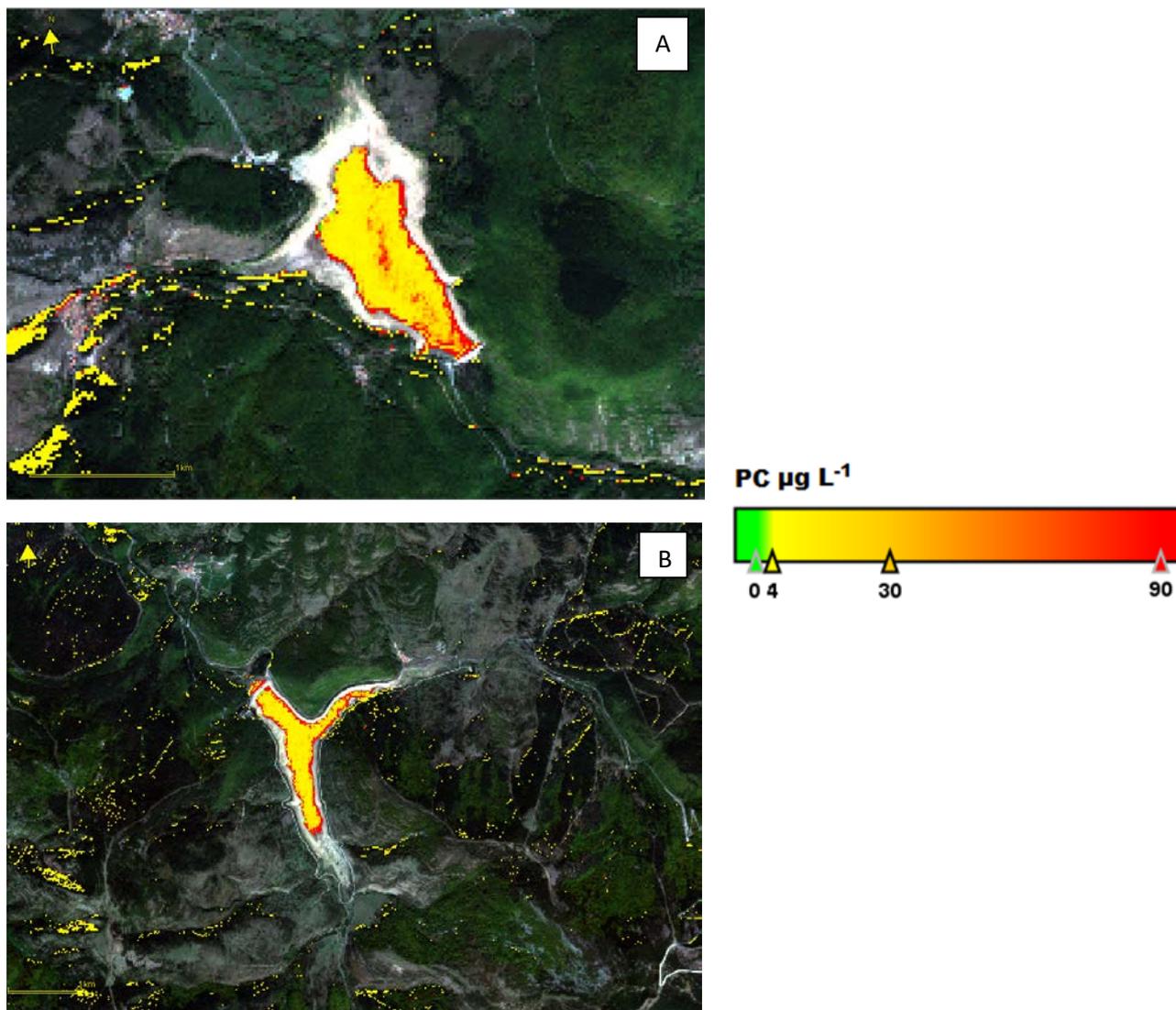


conc\_chl [ $\text{mg m}^{-3}$ ]



Mapas temáticos de clorofila de Ortigosa (A) y Pajares (B) 15-oct-2021

Los valores de clorofila en Ortigosa son mucho mayores que en la imagen del 30 de septiembre, llegando en zonas a valores de nivel eutrófico en la zona superficial, superando los  $12 \mu\text{g/L}$  en las zonas donde se acumulan las algas. En el embalse de Pajares, la situación se mantiene como en fechas anteriores sin cambios destacables.

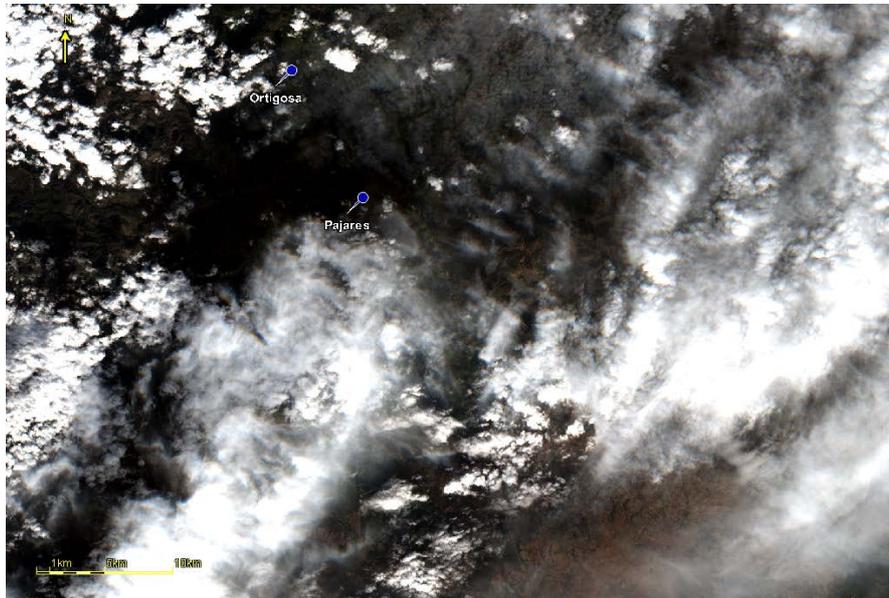


Mapas temáticos de ficocianina de Ortigosa (A) y Pajares (B) 15-oct-2021

Los mapas temáticos muestran los valores de ficocianina próximos a los niveles de alerta 3 en la clasificación de la OMS (nivel II corresponde a  $30\text{-}90 \mu\text{g/L}$ ). La zona del borde se debe excluir, pero se muestra para comprobar su fusión en la zona de presa con la zona flotante. En el embalse de Pajares no existe esta situación y se mantiene como en fechas anteriores.

### 20 de octubre de 2021

El día 20 de octubre sucede como en el día 5 de octubre, la nubosidad impide la visibilidad de ambos embalses, por lo tanto no se puede realizar el procesado con SNAP.



### 25 de octubre de 2021

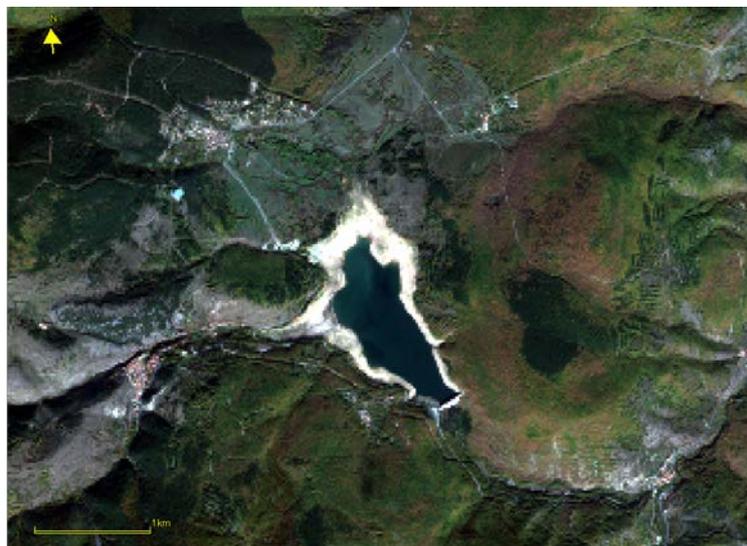
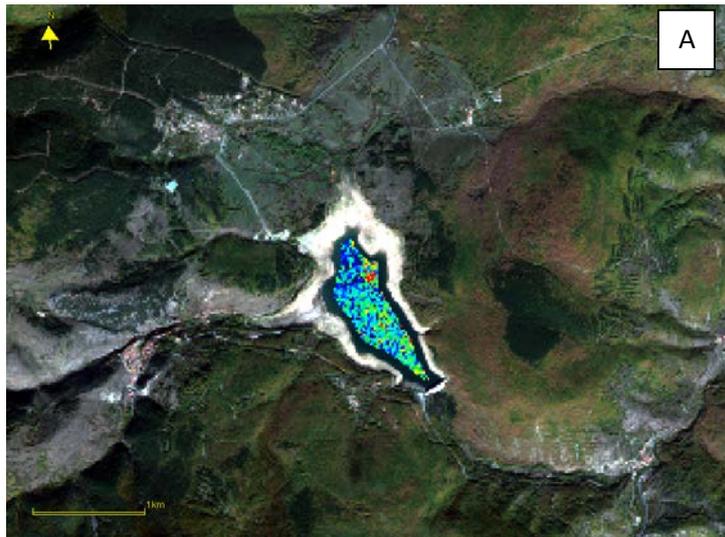
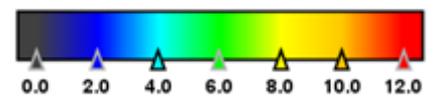


Imagen RGB Ortigosa 25-10-2021

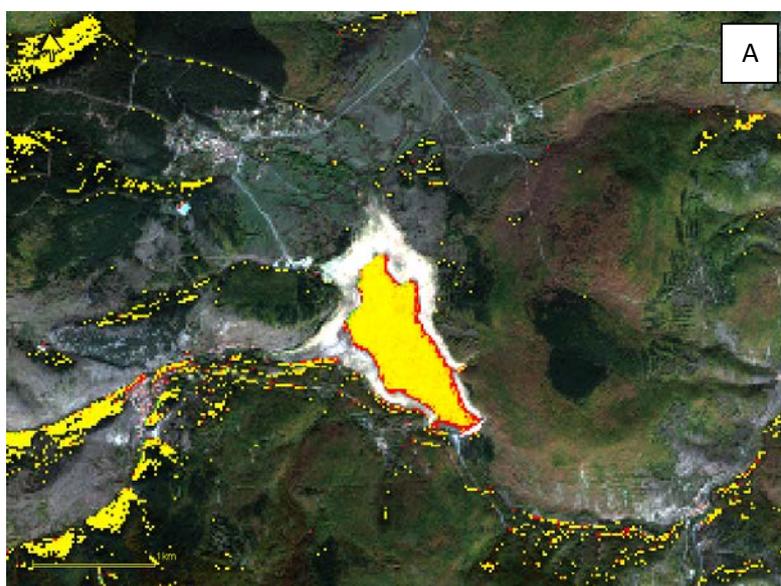


conc\_chl [ $\text{mg m}^{-3}$ ]



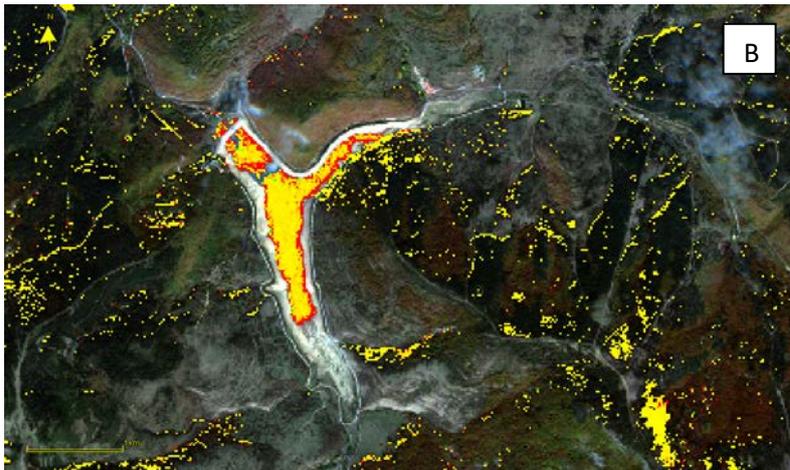
Mapas temáticos de clorofila de Ortigosa (A) y Pajares (B) 25-oct-2021

Los mapas temáticos de clorofila *a* muestran en el caso de Ortigosa una mejoría respecto a lo visto en el día 15 de octubre, presentando solamente algunos valores de nivel eutrófico en la zona este del embalse a nivel superficial. En cambio en el embalse de Pajares la situación se mantiene similar a la de fechas anteriores.



PC  $\mu\text{g L}^{-1}$





Mapas temáticos de ficocianina de Ortigosa (A) y Pajares (B) 25-oct-2021.

Los mapas de ficocianina muestran una disminución de su concentración en el embalse de Ortigosa respecto a fechas anteriores, en torno a los  $30 \mu\text{g/L}$ . En cambio en Pajares se puede apreciar un leve empeoramiento respecto a fechas anteriores.

#### 30 de octubre de 2021

El 30 de noviembre las nubes impiden la visibilidad de los embalses tal y como se puede ver en la imagen, por lo tanto, tampoco se puede hacer el procesado con SNAP.

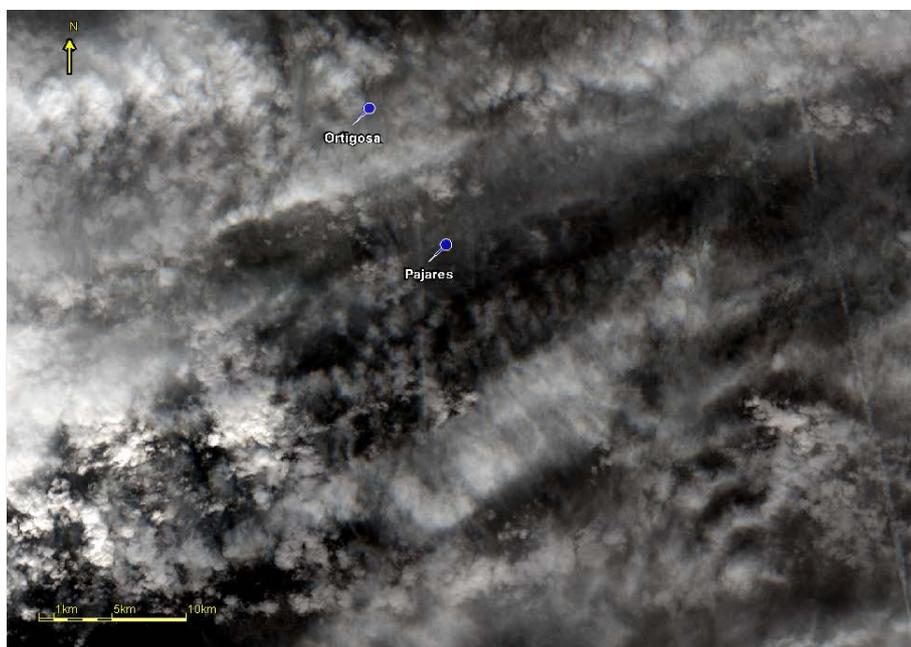


Imagen RGB de 30-oct 2021

#### 4 de noviembre de 2021

El 4 de noviembre persiste la nubosidad, incluso con más intensidad, por lo que no se pueden observar los embalses ni hacer el procesado.

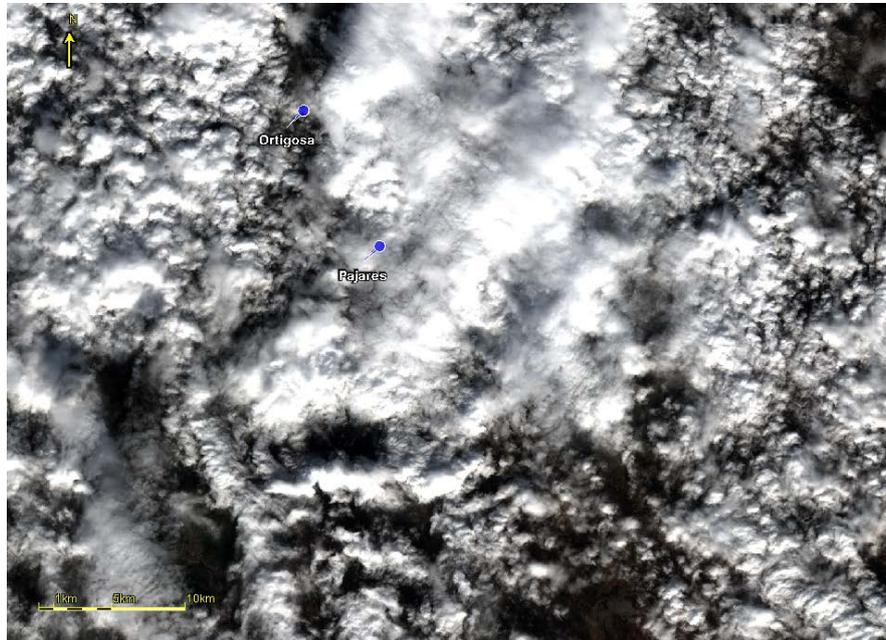


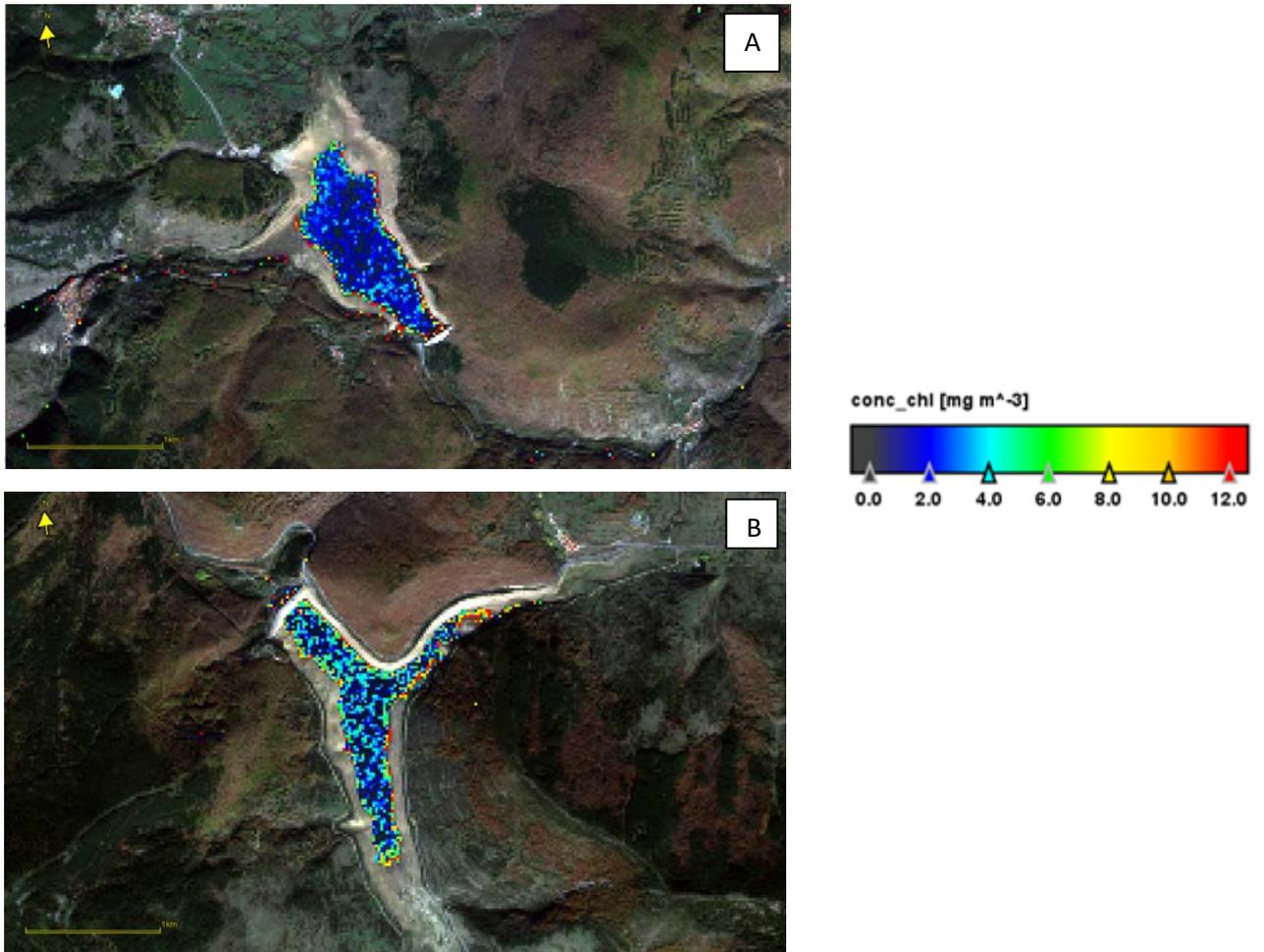
Imagen RGB de 4-nov 2021

Durante estos días, se producen lluvias en la región, que producen el llenado de los embalses, aumentando su nivel de agua, como se apreciará en las imágenes siguientes.

#### 09 de noviembre de 2021

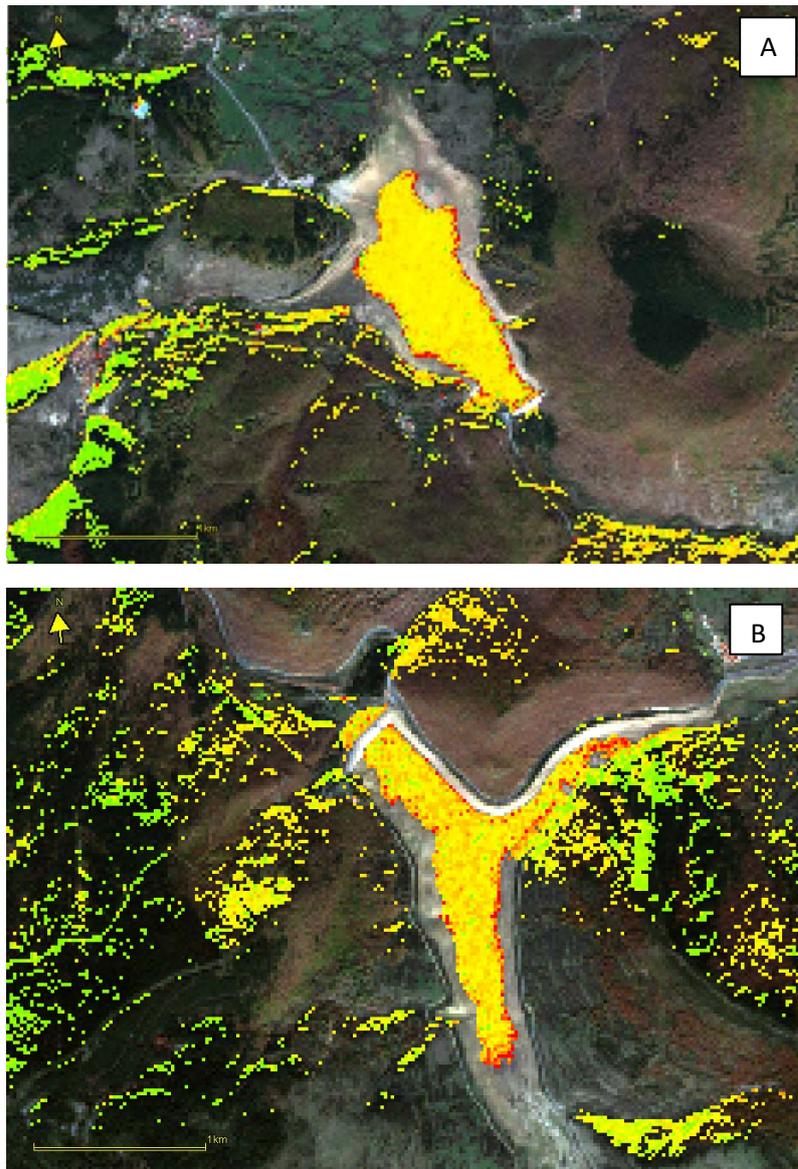


Imagen RGB Ortigosa 09-nov 2021



Mapas temáticos de clorofila a de Ortigosa (A) y Pajares (B)

Los mapas temáticos de clorofila a muestran en ambos casos una mejora de las concentraciones respecto a la del último día realizada (25/10), desapareciendo casi por completo los valores a nivel eutrófico de ambos embalses.



Mapas temáticos de ficocianina (PC) de Ortigosa (A) y Pajares (B)

En el caso de la ficocianina (PC) se observa una ligera mejora en el caso de Ortigosa respecto a la última imagen del 25/10 se observa una ligera mejora, en cambio por lo que respecta a Pajares hay un empeoramiento en las concentraciones de ficocianina, respecto a las imágenes anteriormente analizadas.

14 de noviembre de 2021

A continuación, se muestra la imagen RGB del 14 de noviembre de la zona de estudio, en este caso se observan nubes encima de los dos embalses: Pajares (pin 1) y Ortigosa (pin 2), por lo que no se puede llevar a cabo el procesado de los embalses.

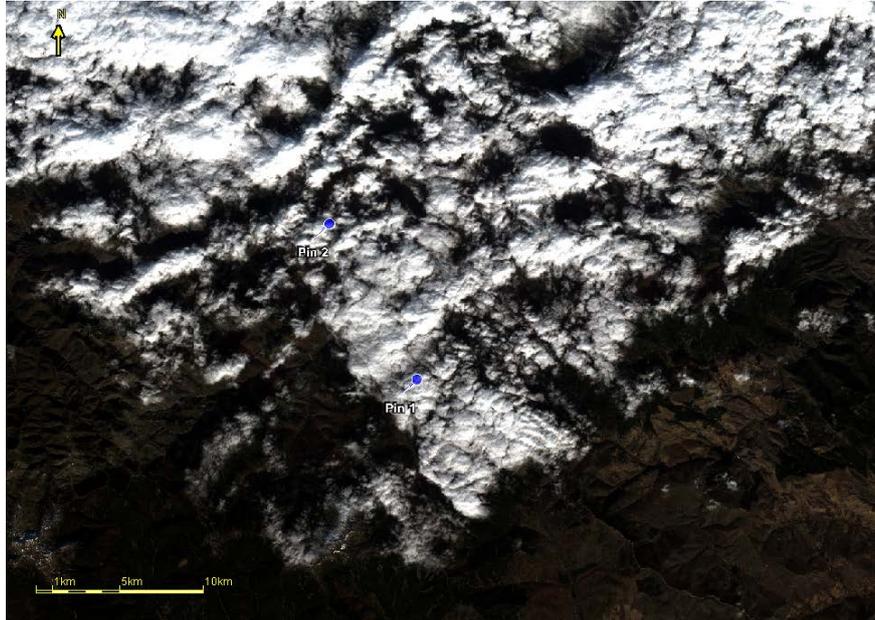


Imagen RGB de 14-nov 2021

19 de noviembre de 2021

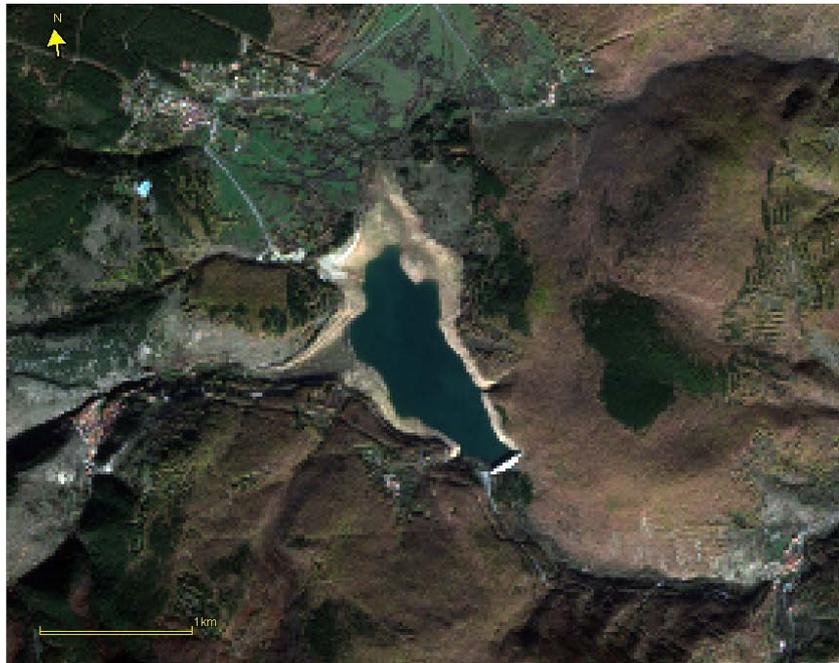
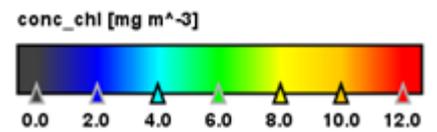
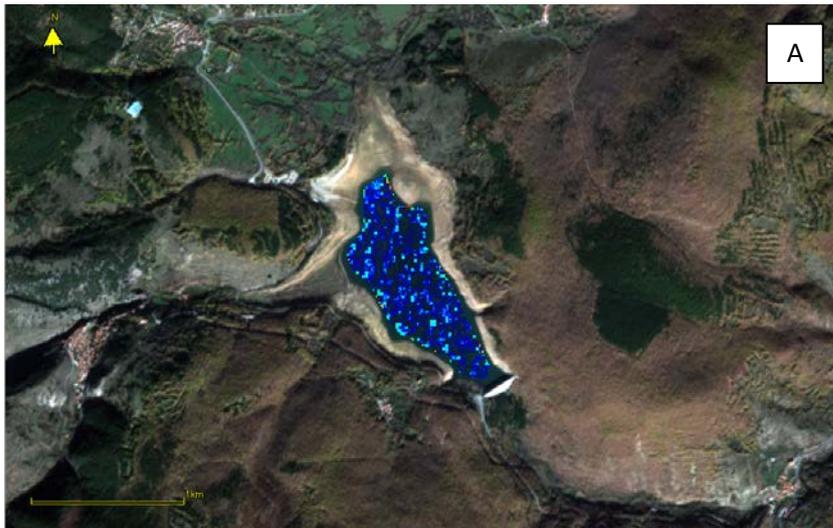
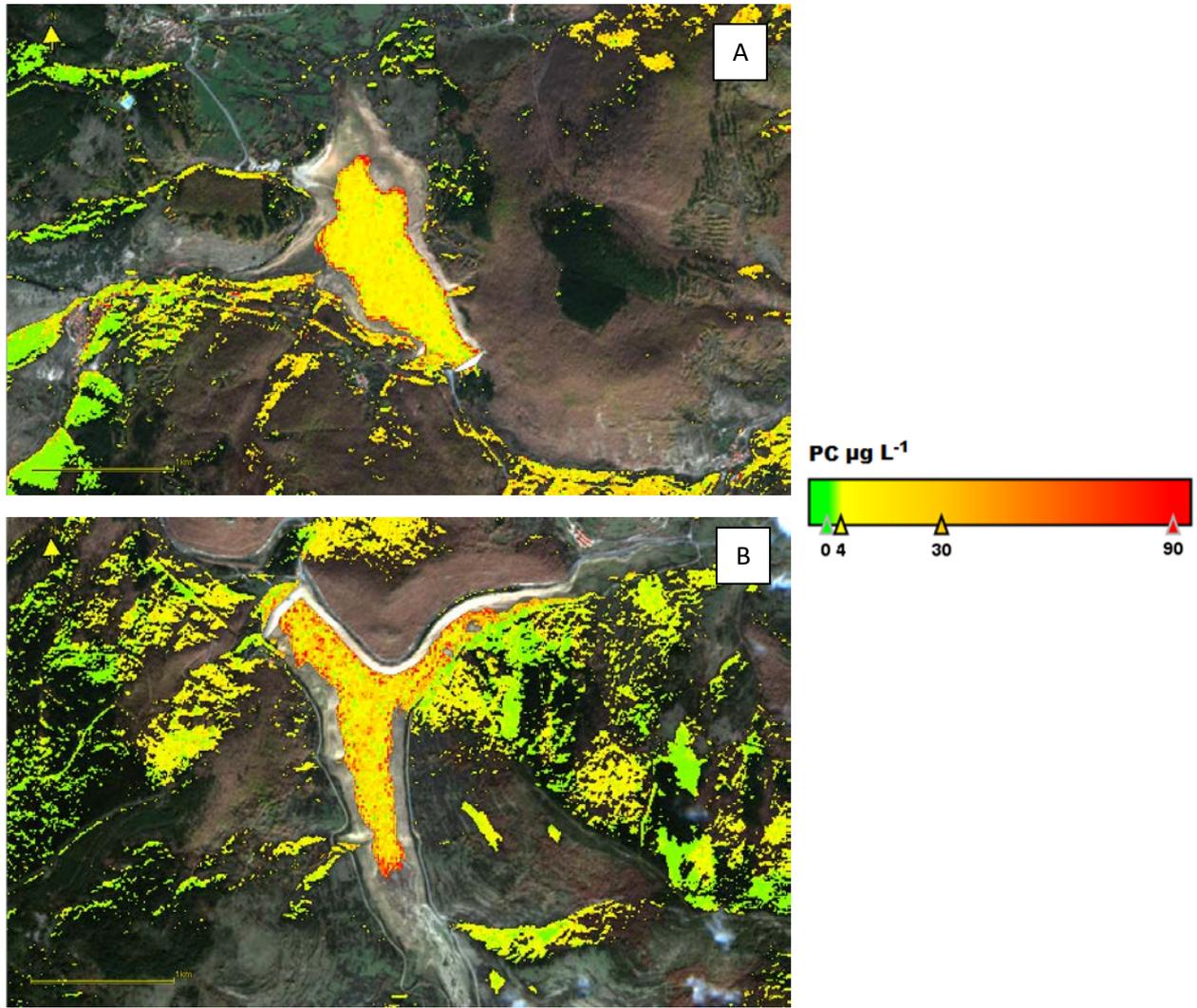


Imagen RGB Ortigosa 19-nov 2021



Mapas temáticos de clorofila a: Ortigosa (A) y Pajares (B) 19-nov-2021.

En ambos embalses se aprecia la mejoría de calidad del agua, pero más importante en Ortigosa que en Pajares.



Mapas temáticos ficocianina (PC) Ortigosa (A) y Pajares (B) 19-nov-2021.

El procesado de la imagen del día 19 nos muestra como la mejoría de Ortigosa se hace más evidente respecto a la evolución de los días anteriores, sobre todo, respecto al embalse de Pajares, ya que los datos de clorofila a de Ortigosa están por debajo de los de Pajares, situándose en su mayoría entorno a los  $2 \text{ mg/m}^3$ , mientras que en Pajares se encuentran entre  $4$  y  $6 \text{ mg/m}^3$ . Por lo que respecta a la ficocianina también vemos como Ortigosa está en mejores condiciones, respecto a la concentración, que Pajares, aunque cabe destacar que ambos embalses se encuentran en niveles de alerta I.

24 de noviembre de 2021

En la siguiente imagen se muestra la imagen satelital del día 24 de noviembre en la que se pueden observar nubes por lo que hace imposible el procesado de ambos embalses.

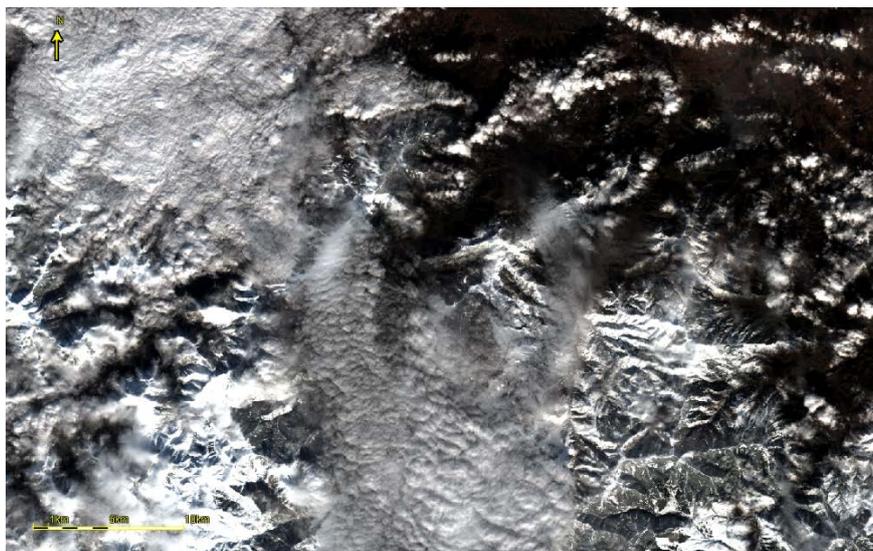


Imagen RGB 24-nov 2021

#### 29 de noviembre de 2021

En la siguiente imagen se puede apreciar la nubosidad presente el día 29 de noviembre por lo cual el procesado de datos no es posible.

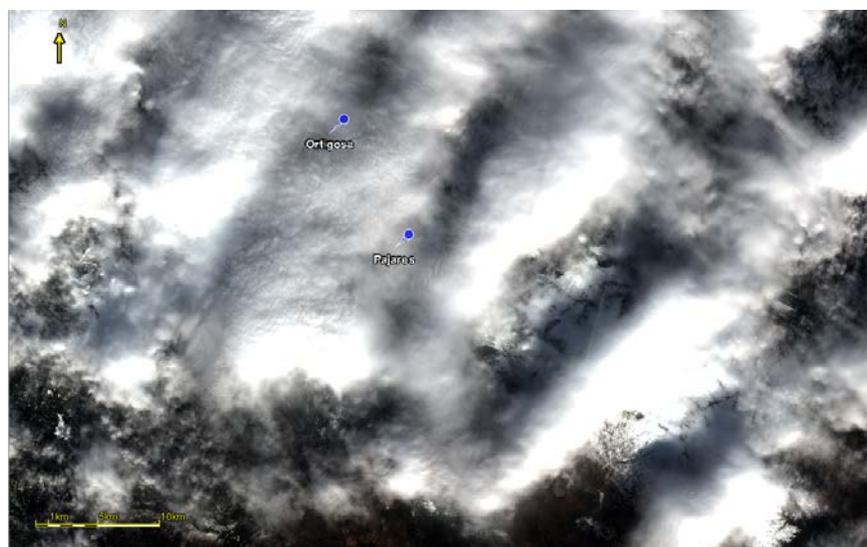


Imagen RGB 29-nov 2021

#### 4 de diciembre de 2021

La siguiente imagen satelital tampoco ofrece resultados ya que al haber mucha nubosidad debido al temporal no permite ver los embalses y por lo tanto, extraer datos de interés.



Imagen RGB 04-dic 2021

9 de diciembre de 2021

En el caso de esta imagen se vuelve a producir el mismo efecto que en las anteriores, la nubosidad y la borrasca que abarca gran parte de la Península Ibérica opacan la superficie terrestre impidiendo ver los embalses y por lo tanto hacer el análisis correspondiente.

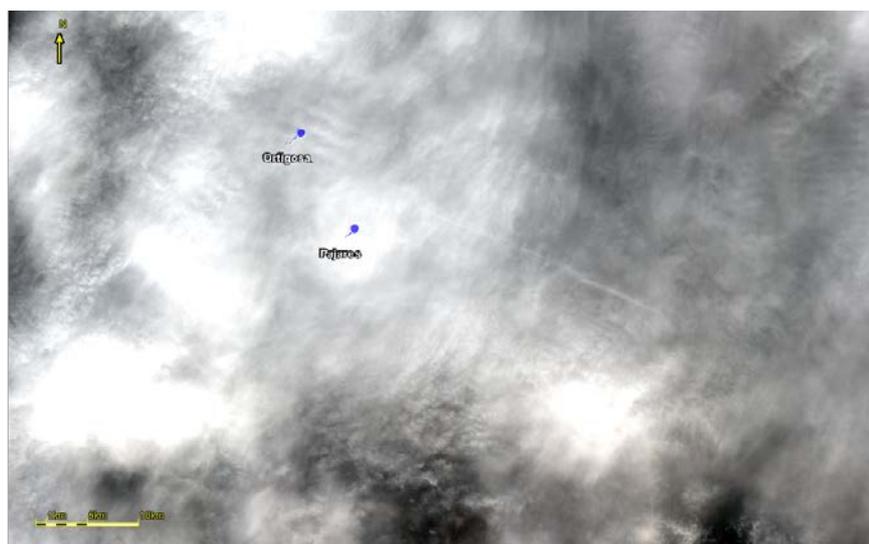


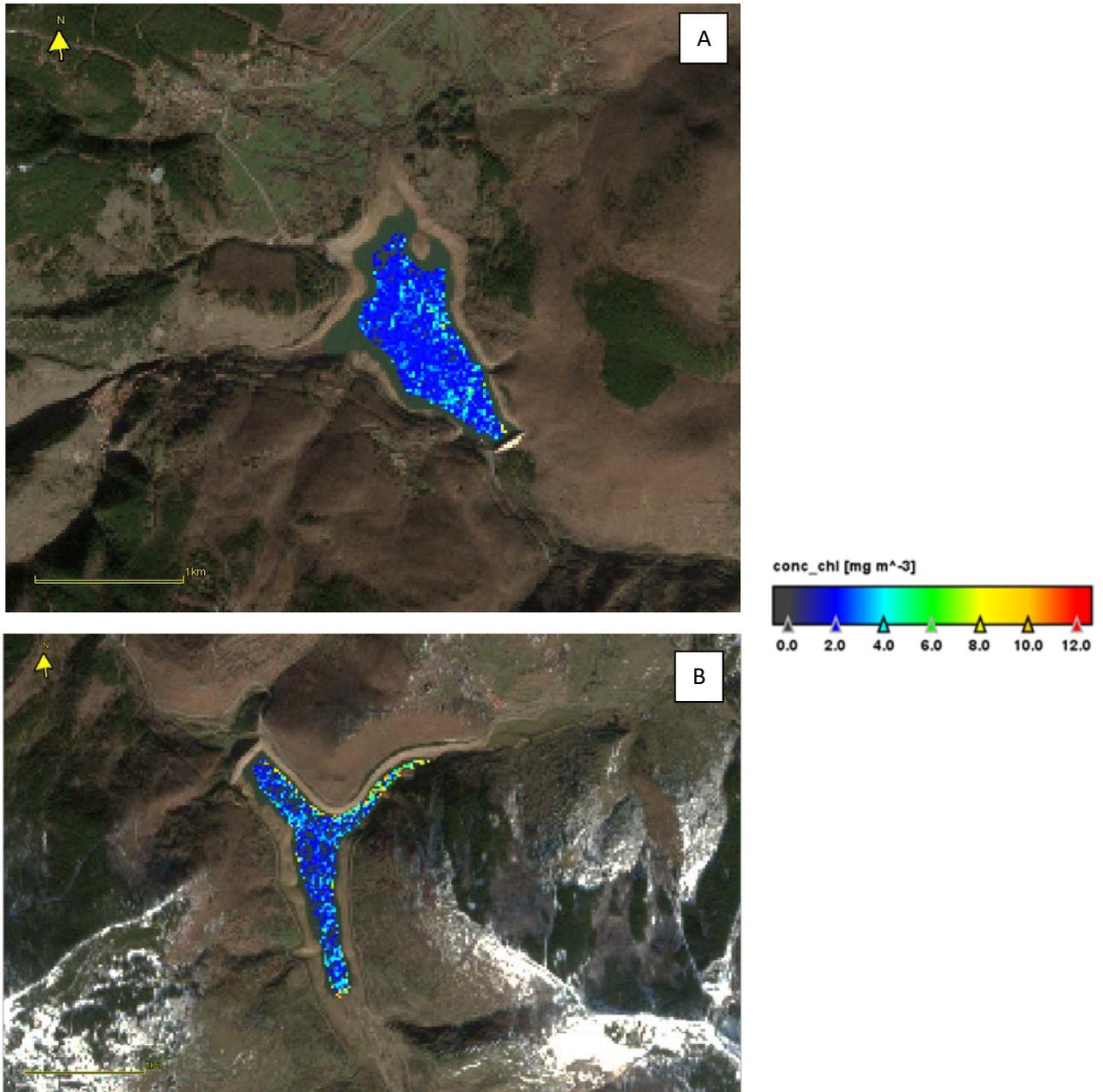
Imagen RGB 9-dic 2021

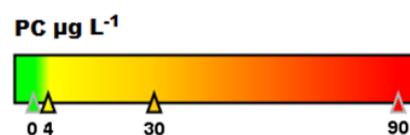
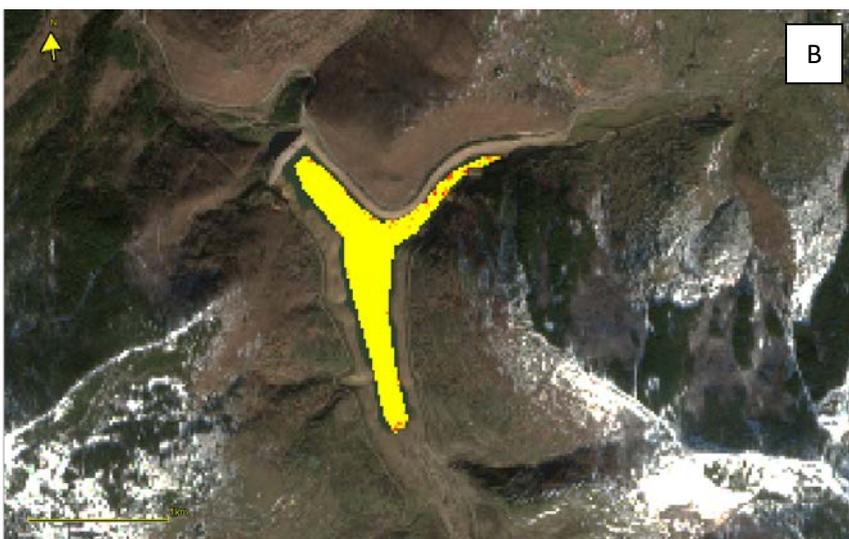
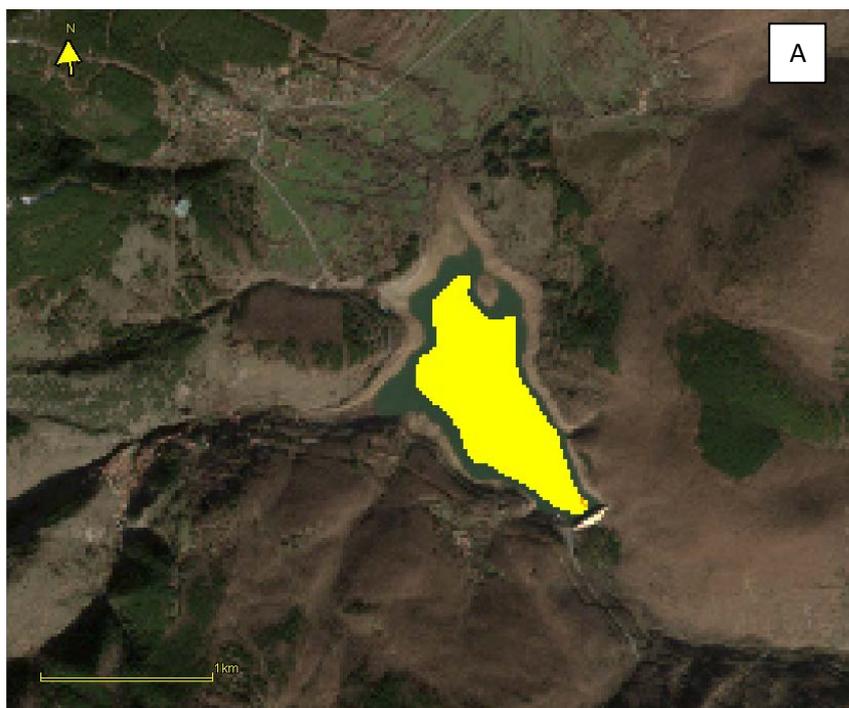
14 de diciembre de 2021



Imagen RGB Ortigosa 14-dic 2021

El temporal de nieve y lluvia de inicios de diciembre ha producido un llenado importante de los embalses, apreciándose su aumento de nivel y cambio de coloración del agua a un color verde terroso probablemente debido a la presencia de materia en suspensión fina procedente de las escorrentías superficiales.





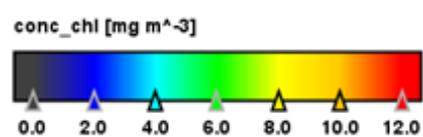
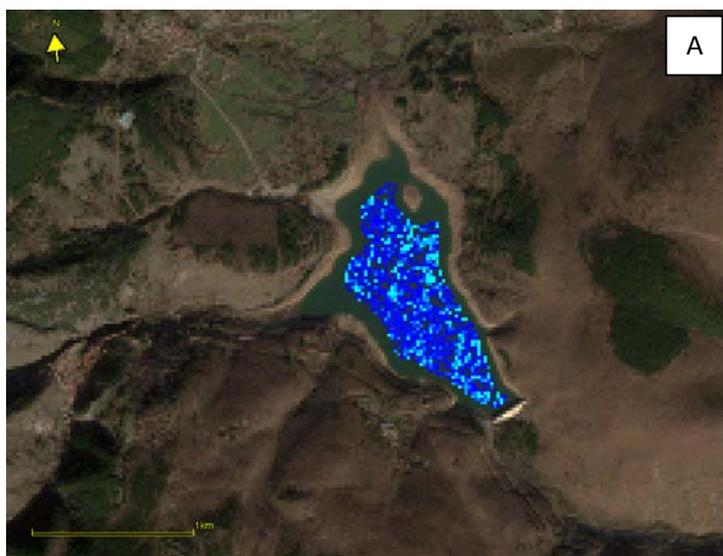
Mapa temático de ficocianina de los embalses de Ortigosa (A) y Pajares (B) 14-dic-2021

Después del largo episodio de lluvias y borrascas, ya se permite observar los embalses mediante satélites. En este caso vemos como las concentraciones de clorofila han disminuido notoriamente respecto a las últimas imágenes, al igual pasa con la ficocianina, la cual se mantiene constante en ambos embalses con una concentración en torno a los 4 µg/L. Esto puede ser debido a que las lluvias han mejorado la recirculación del agua y por lo tanto, las condiciones de los embalses han mejorado a nivel trófico.

19 de diciembre de 2021



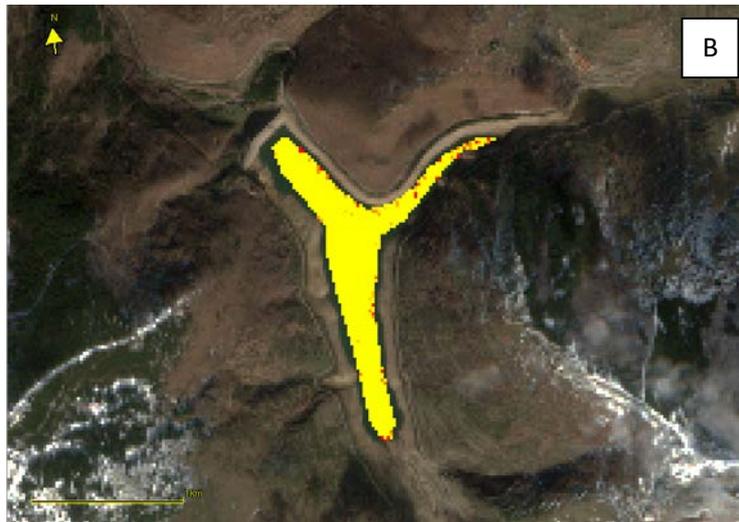
Imagen RGB 19-dic 2021



Mapas temáticos de clorofila de los embalses de Ortigosa (A) y Pajares (B) 19-dic-2021.



PC  $\mu\text{g L}^{-1}$



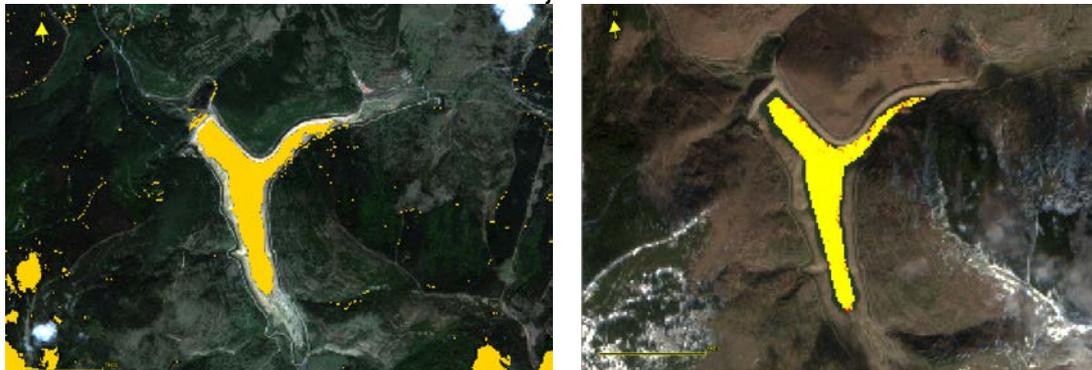
Mapas temáticos de ficocianina de los embalses de Ortigosa (A) y Pajares (B) 19-dic-2021.

En este caso se puede ver una continuidad desde la anterior imagen satelital, ya que las condiciones de los embalses apenas han variado, aunque si se aprecia un ligero aumento de la clorofila en el embalse de Pajares, respecto a la anterior imagen.

### Ortigosa

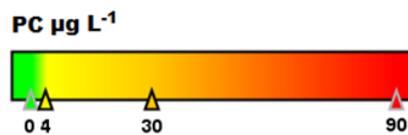


### Pajares



30-sep-21

19-dic-21



La comparativa entre las dos fechas inicial y final de este estudio muestran que las concentraciones de ficocianina han alcanzado a final de diciembre valores menores a los que se presentaban en septiembre, menores de 4, por lo cual desaparece el nivel de alerta.

Se debe tener en cuenta que las mediciones de satélite se realizan hacia las 11 h GMT, y que corresponden con la calidad del agua de la zona superficial del embalse, llamada epilimnion. Esta zona superficial se encuentra mezclada verticalmente por el viento en una profundidad máxima de unos 8 m, por lo cual no se detecta nada de lo que se encuentra por debajo de la capa de mezcla. Si se rompe la estratificación del embalse y se produce la mezcla de la columna, todo lo que estaba presente en las capas profundas, el hipolimnion, se detectará también en superficie mientras dure la mezcla vertical.





## **ANEXO 4. SEGUIMIENTO DE LA MATERIA EN SUSPENSIÓN EN EL BAJO EBRO**

---





### **Turbidez del agua en el bajo Ebro: Transporte de sólidos y sedimentación.**

Se conoce que el delta del Ebro está en regresión por la falta de aportaciones de sedimentos, que parece quedan retenidos en los embalses. Especialmente, los embalses de Mequinenza (en el Ebro) y Ribarroja (a continuación del anterior y tras la confluencia del Segre) retienen las aportaciones sólidas de la cuenca. La imagen del día 11 de diciembre de 2021 es un ejemplo de cómo en un momento de crecida, la entrada de Mequinenza transporta una concentración de sólidos en suspensión estimada en  $200 \text{ g/m}^3$ , mientras que la salida del embalse presenta valores inferiores a  $20 \text{ g/m}^3$ , por lo que la mayor parte del material en suspensión ha quedado retenido en el embalse.

El objeto del estudio es conocer cuáles son las aportaciones de sólidos en Mequinenza y Ribarroja mediante la herramienta de cálculo de materia total suspendida implementada en SNAP con imágenes de Sentinel-2. Asimismo, se estudiará cuáles son los sólidos que actualmente llegan al delta en la desembocadura. Con ello se podrá estimar cuánta es la pérdida de sólidos que se produce por la presencia de los embalses y también cuánta es la materia que llega a la desembocadura.

Se utilizarán imágenes de Sentinel-2 que deben ser sin corrección atmosférica (tipo L1C) para obtener mediante la aplicación SNAP el remuestreo a 20 m, el proceso de corrección de aguas tipo 2 (conocido como C2RCC) en su versión de aguas extremas (llamado C2X) y como parámetros la temperatura del agua de la estación del año y la salinidad 1. Se obtendrá los valores de clorofila-a, materia suspendida TSM y transparencia del agua según la variable de profundidad de penetración del 90% de la radiación incidente en superficie ( $kd\_z90max$ ).

Las fechas de las medidas en las que está previsto hacer el estudio serán las diferentes fechas en las que se han producido importantes entradas y salidas a los embalses por temporales y deshielo, observados a partir del caudal en las estaciones de aforo del río Ebro y Segre, que se obtendrá de la web de C.H.Ebro. Asimismo, se realizarán medidas si se producen episodios puntuales de suelta de caudales para movilización de sedimentos desde algún embalse.

Los valores obtenidos en el producto de SNAP se comparan con valores obtenidos en los embalses y en otros lugares entre los años 2015 y 2021, para comprobar su validez. Cabe la posibilidad incluso de obtener una ecuación mejor que la del producto automático, a partir de los datos propios.

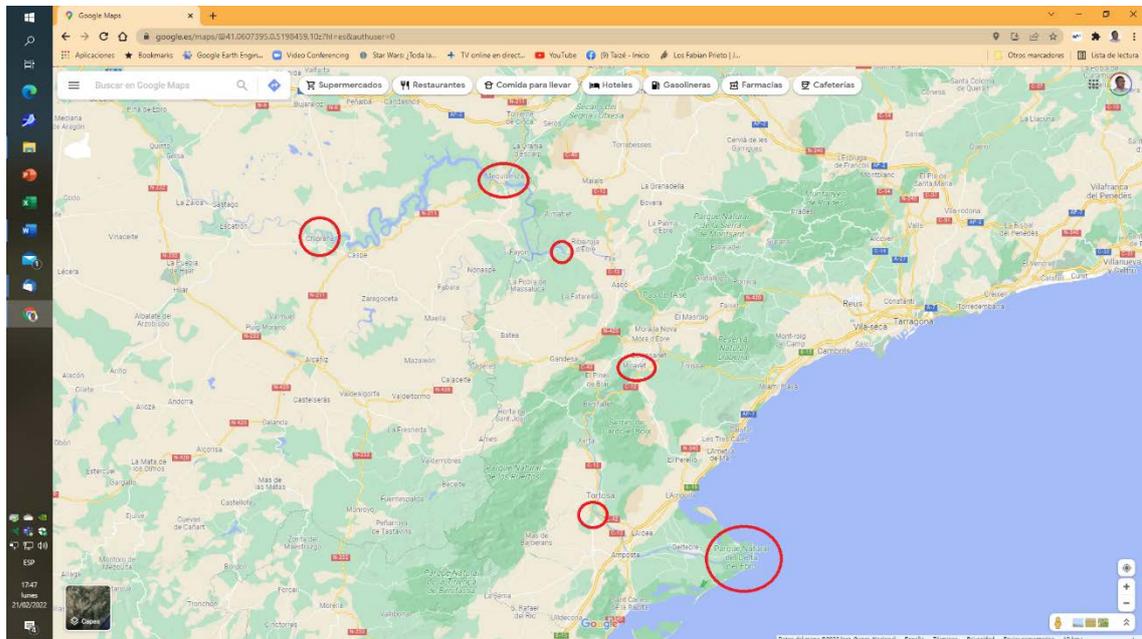
### **Puntos de muestreo**

Inicialmente se proponen diversos puntos en el tramo desde Caspe hasta Amposta en los cuales se puede tomar muestras de agua en el río para conocer las variables del agua. Las ubicaciones se presentan en la figura siguiente, y corresponden con diversos puentes que cruzan el cauce y desde donde es viable la toma de muestras.



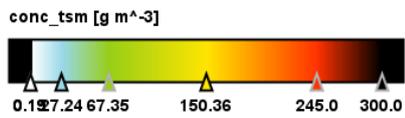
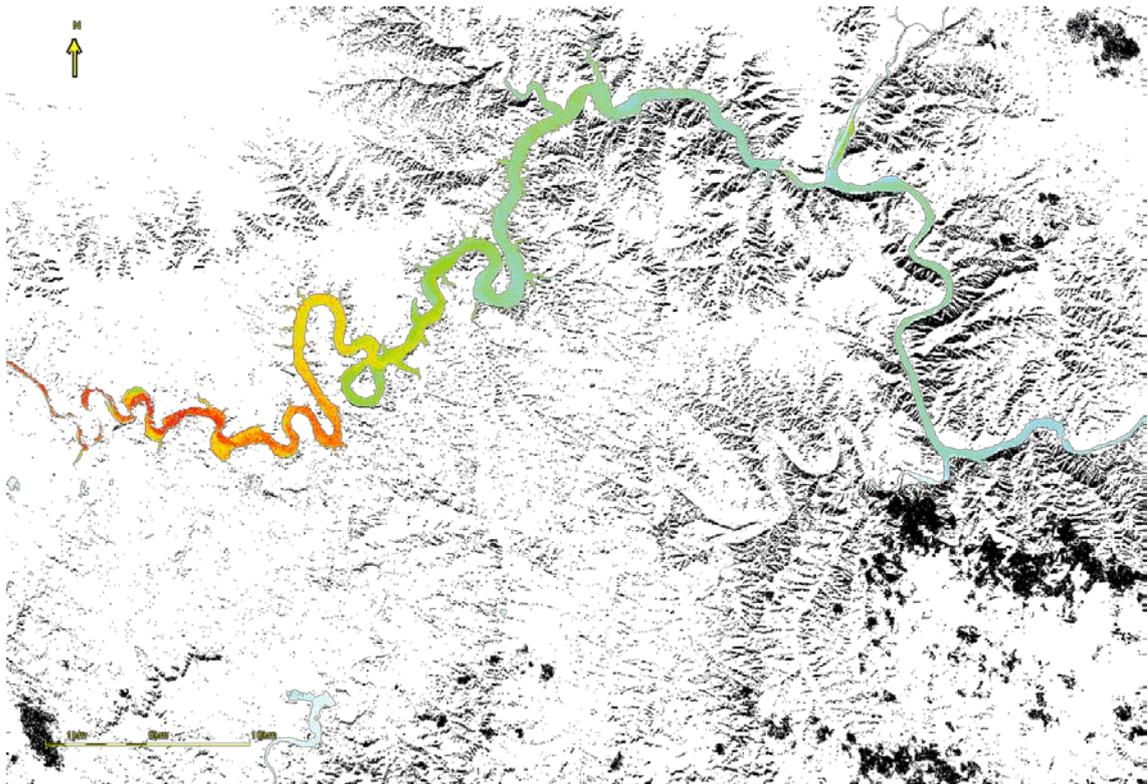
Los puntos propuestos de toma de medidas son:

- Puente A-230 aguas arriba del dique de Caspe.
- Puente N-211, aguas abajo de la presa de Mequinenza.
- Puente TV-7411, junto a Ribarroja de Ebro.
- Puente C-12, cerca de Ascó.
- Puente N-420a, cerca de Mora de Ebro.
- Pas de barca de Miravet, margen izquierda.
- Puente C-12, cerca de Benifallet.
- Puente de hierro de Tortosa, av, Cristóbal Colón.
- Puente colgante de Amposta.
- Puente pasarela de Deltebre.

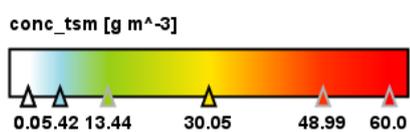


Posibles puntos de estudio.

Durante la crecida de mediados de diciembre de 2021 se analizaron algunas imágenes de los días 11 y 18 de diciembre con el fin de observar los valores de concentración de sólidos en suspensión a lo largo del cauce y en la desembocadura. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y permiten apreciar los valores de TSM en el tramo de Mequinenza y Ribarroja, así como en la desembocadura, por lo que la metodología es correcta y útil para los fines que se pretenden. Está previsto en 2022 realizar medidas en un posible episodio de suelta de agua, así como en las posibles crecidas que pueda haber.



Ejemplo de TSM el 11 de diciembre de 2021.



Ejemplo de TSM el 18 de diciembre de 2021.