



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

2022

SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2022

MEMORIA



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO





SEGUIMIENTO DE EMBALSES POR TELEDETECCIÓN 2022 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,
Juan Víctor Molner Polit.**

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

44.900 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA DEL INFORME

AÑO DE EJECUCIÓN:

2022

FECHA ENTREGA:

DICIEMBRE 2022



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

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

Inferior izquierda: Plantas flotantes en el embalse de Ribarroja en diciembre de 2022.

Inferior derecha: Vista del embalse del Ebro desde el punto de toma de muestras en julio de 2022.

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2022). Seguimiento de embalses por teledetección 2022. 202 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 TELEDECCION 2022

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 multiespectrales del satélite Sentinel-2, para estimar diferentes variables de calidad de agua. El estudio se ha realizado en un total de 286 imágenes obtenidas en el año 2022 que incluyen 70 embalses y 16 lagos de la cuenca; algunos embalses se han observado hasta en cuatro ocasiones, repartidos en las distintas estaciones a lo largo del año 2022. Se han utilizado ecuaciones para la estimación de 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 y el riesgo de eutrofización 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 with 286 images obtained during 2022 including 70 reservoirs and 16 lakes in the basin; some reservoirs have been observed throughout the four seasons of 2022. 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 and eutrophication risk 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

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. <i>OBJETIVO DEL ESTUDIO</i>	10
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	10
2.1. <i>EMBALSES ESTUDIADOS</i>	10
2.2. <i>DATOS DE VARIABLES DE CAMPO</i>	15
2.3. <i>DESCARGA DE IMÁGENES</i>	15
2.4. <i>CÁLCULO DE ÍNDICES</i>	17
2.5. <i>EXTRACCIÓN DE LOS VALORES DE REFLECTIVIDAD</i>	22
3. RESULTADOS	24
3.1. <i>TRANSPARENCIA</i>	25
3.2. <i>SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN</i>	26
3.3. <i>CLOROFILA-A</i>	27
3.4. <i>FICOCIANINA</i>	28
3.5. <i>CDOM</i>	29
3.6. <i>ESTUDIO DE LA CALIDAD DE EMBALSES</i>	30
3.7. <i>ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAGOS</i>	42
4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS	44
5. PROPUESTAS A MEJORAR	52
6. CONCLUSIONES	53
7. BIBLIOGRAFIA	53



ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 1. FICHAS DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS	56
ANEXO 2. FICHAS DE LOS LAGOS ESTUDIADOS	167
ANEXO 3. ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE PLANTAS FLOTANTES EN EL EMBALSE DE RIBARROJA	181

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. Bandas del satélite Sentinel-2	18
Tabla 4. Resumen de los índices propuestos para cada variable	22
Tabla 5. Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados	30
Tabla 6. Resumen de las variables indicadoras de estado trófico	31
Tabla 7. Resumen de las variables indicadoras de riesgo de eutrofia	31
Tabla 8. Tabla de decisiones para obtener el riesgo de eutrofización	33
Tabla 9. Comparativa de los resultados obtenidos del estado trófico en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en embalses	34
Tabla 10. Comparativa de resultados obtenidos del riesgo de eutrofización en embalses	38
Tabla 11. Comparativa de los resultados obtenidos en los trabajos de campo y los valores obtenidos de las imágenes de satélite en lagos	43
Tabla 12. Comparativa del riesgo de eutrofización en lagos	44



ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Gránulos necesarios para cubrir los embalses objeto de estudio en la Cuenca Hidrográfica del Ebro.....	16
Figura 2. Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A	24
Figura 3. Punto de extracción de valores de reflectividad próxima a la presa.....	24
Figura 4. Correlación entre el índice de transparencia propuesto y los valores de transparencia tomados en campo.....	26
Figura 5. Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo	27
Figura 6. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto, y los valores de clorofila-a tomados en campo	28
Figura 7. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.....	29
Figura 8. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo	30
Figura 9. Estado trófico del embalse de Yesa el 20-septiembre -2022	42
Figura 10. Gráfico de correlación los valores obtenidos de transparencia tomados en campo y mediante el satélite	46
Figura 11. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo y mediante el satélite.....	46
Figura 12. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de sólidos en suspensión tomados en campo y mediante el satélite.....	47
Figura 13. Evolución anual de la transparencia del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.....	49
Figura 14. Evolución anual de la Clorofila a del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.....	50
Figura 15. Evolución anual de sólidos en suspensión del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.....	51



1. INTRODUCCIÓN

El control del estado de los embalses es una obligación según la Directiva Marco del Agua (DMA; DOCE, 2000). Esta Directiva, en su artículo 8, obliga a los Estados miembros a establecer programas de 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. Estas obligaciones según la DMA se transponen al ordenamiento jurídico español 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; BOE, 2001).

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 teledetección ha demostrado tener una capacidad superior que los métodos tradicionales para una evaluación completa y exhaustiva de los ecosistemas acuáticos (Cheng *et al.*, 2022). En este contexto, la misión Sentinel-2 ofrece imágenes con una alta resolución (de hasta 10 m) y una frecuencia de revisita de cinco días (ESA, 2012). Esto 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.

Para conseguir analizar la calidad del agua mediante técnicas de teledetección es necesario un trabajo previo de campo y de procesamiento de imágenes satelitales mediante las correspondientes herramientas informáticas. Esta metodología se basa en la estimación de variables biofísicas, tales como clorofila o transparencia, a partir de la calibración de índices espectrales y la validación de algoritmos, correlacionando los resultados de campo con los obtenidos gracias a la información multispectral recogida en imágenes de satélite (Matthews, 2011). Estos algoritmos están dotados de fiabilidad para su aplicación en diferentes masas de agua y momentos extemporáneos.

Con este objetivo, los indicadores ambientales para las masas de agua de tipo embalse que se han de aplicar son los elementos de calidad biológicos y fisicoquímicos recogidos en el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Una vez obtenidos estos resultados, se podrá determinar el estado trófico de las masas de agua



consideradas (BOE, 2015). Posteriormente, en aplicación del Decreto 46/2022, se evalúa el riesgo de eutrofización.

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 70 embalses y 16 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 2022), con las imágenes generadas por los sensores remotos.

Además, se ha realizado el seguimiento de la presencia de plantas flotantes en otoño de 2022 en el embalse de Ribarroja, cuando se observó la aparición de este material biológico 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 el día 5 de mayo de 2022 durante la crecida controlada destinada a evaluar el movimiento de los sedimentos, juntamente con el personal del Centro de Experimentación (CEDEX) y de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. EMBALSES ESTUDIADOS

La zona de estudio se focaliza en los embalses más representativos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (DHE) 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 70 embalses y 16 lagos sobre los que se efectuará el seguimiento de calidad de la masa de agua. Se han 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	MUNICIPIO Y PROVINCIA	CC.AA.
1	Embalse del Ebro	Las Rozas de Valdearroyo (Cantabria) y Arijá (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 Bozoó (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	El Grado (Huesca)	Aragón
50	Embalse de Talam (Trep o San Antonio)	Talam (Lleida)	Cataluña
51	Embalse de Vadiello	Loporzano (Huesca)	Aragón



CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA	MUNICIPIO Y PROVINCIA	CC.AA.
53	Embalse de Oliana	Coll de Nargó (Lleida)	Cataluña
54	Embalse de Montearagón	Loporzano (Huesca)	Aragón
55	Embalse de Ardisa	Ardisa (Zaragoza)	Aragón
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
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



CÓDIGO	NOMBRE DE LA MASA	MUNICIPIO Y PROVINCIA	CC.AA.
82	Embalse de Calanda	Calanda (Teruel)	Aragón
85	Embalse de Santolea	Castellote (Teruel)	Aragón
86	Embalse de Itoiz	Lónguida (Navarra)	Navarra
87	Embalse de Lechago	Calamocha (Teruel)	Aragón
912	Embalse de Pena	Valderrobres (Teruel)	Aragón
913	Embalse de Gallipuéen	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	Bachimaña Alto	Panticosa (Huesca)	Aragón
996	Estany de San Maurici	Espot (Lérida)	Cataluña
1002	Tramacastilla de Tena	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
1003	Ibón recrecido de Ip	Canfranc (Huesca)	Aragón
1020	Lac Major de Colomers	Arties (Lérida)	Cataluña
1022	La Estanca de Alcañiz	Alcañiz (Zaragoza)	Aragón
1033	Embalse de Respomuso	Sallent de Gállego (Huesca)	Aragón
1039	Ibón recrecido 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
1053	Embalse de Llauset	Montanuy (Huesca)	Aragón
1679	Humedal de Utchesa Seca	Torres de Segre (Lérida)	Cataluña
1680	La Loteta	Magallón (Zaragoza)	Aragón
1681	Monteagudo de las Vicarías	Monteagudo de las Vicarías (Soria)	Castilla y León
1804	Embalse de Maidevera	Pomer (Zaragoza)	Aragón
1807	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	MUNICIPIO Y PROVINCIA	CC.AA.
965	Estany Romedo de Baix	Lladorre (Lérida)	Cataluña
970	Lac Redon	Viella (Lérida)	Cataluña
979	Estany Fondo	Alins (Lérida)	Cataluña
983	Ibón de Cregüeña	Benasque (Huesca)	Aragón
990	Laguna Salada de Chiprana	Chiprana (Zaragoza)	Aragón
1001	Lago de Urdiceto	Bielsa (Huesca)	Aragón
1008	Estany Negre (Espot)	Espot (Lérida)	Cataluña
1010	Estany de la Gola	Guingueta de Aneo (Lérida)	Cataluña
1016	Laguna de Pitillas	Pitillas (Navarra)	Navarra
1018	Lac Tort de Rius	Alto Arán (Lérida)	Cataluña
1019	Lago de Arreo	Lantarón (Álava)	País Vasco
1027	Lago de Marboré	Sobrarbe (Huesca)	Aragón
1032	Estany de Certascan	Lladorre (Lérida)	Cataluña
1035	Laguna de Lor	Cascante (Navarra)	Navarra
1040	Estany Major de la Gallina	Lladorre (Lérida)	Cataluña
1646	Estany Gran de Mainera	Llesúy (Lérida)	Cataluña



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 y 2022 así como los resultados de los trabajos de campo realizados por el Grupo de Limnología. También se ha utilizado los datos de cuarenta y cuatro embalses obtenidos en los estudios comprendidos entre 2016 hasta 2019 para calcular inicialmente las ecuaciones 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 se pueden observar en la Figura 1 y son los siguientes: T30TVN, T30TWN, T30TXN, T31TBH, T31TCH, T30TVM, T30TWM, T30TXM, T31TBG, T31TCG, T30TXL, T30TBF y T30TCF.



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 multiespectrales 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 trece 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 tabla 3 que se muestra a continuación presenta toda la información referente a las bandas que porta este satélite.

Tabla 3. Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: Technical Guides, Sentinel 2 – MSI Instrument, ESA.

	S2A		S2B		
	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Resolución espacial (nm)
B1	442,7	20	442,3	20	60
B2	492,7	65	492,3	65	10
B3	559,8	35	558,9	35	10
B4	664,6	30	664,9	31	10
B5	704,1	14	703,8	15	20
B6	740,5	14	739,1	13	20
B7	782,8	19	779,7	19	20
B8	832,8	105	832,9	104	10
B8a	864,7	21	864,0	21	20
B9	945,1	19	943,2	20	60
B10	1373,5	29	1376,9	29	60
B11	1613,7	90	1610,4	94	20
B12	2202,4	174	2185,7	184	20

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

Los parámetros que se 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*

La transparencia del agua está relacionada con la cantidad de partículas y materiales en suspensión que se encuentran en el agua, por lo tanto, un descenso de la visibilidad del disco de Secchi puede indicar una mayor cantidad de estos materiales y a consecuencia, una peor calidad del agua. Como estudiaron Pereira-Sandoval *et al.*, (2018), en el caso de la transparencia se han realizado estudios que demuestran que, en algunos casos, el cociente entre las bandas del azul y rojo lejano (1) pueden calibrarse para estimarla adecuadamente.

$$X = \frac{R490}{R705} \quad (1)$$

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

$$X = \frac{R490}{R560} \quad (2)$$

En este estudio, ha obtenido un mayor coeficiente de correlación una ligera modificación de la ecuación (2). En el numerador se ha considerado el valor máximo entre las dos bandas azules (R443 y R490), para obtener el valor de azul más reflectivo en cada embalse, mientras que en el denominador se ha mantenido la banda verde de 560 nm. El fundamento de esta decisión se basa en que existen embalses cuyas aguas son tan claras que no reflejan apenas luz, por lo que los sensores remotos los detectan con tonos más oscuros.

Una vez obtenida estas relaciones entre bandas, serán correlacionadas con las medidas obtenidas *in situ* para obtener una ecuación calibrada que mejor correlación obtenga entre el valor del índice con el valor real de la transparencia. Así, la ecuación calibrada nos permitirá estimar la transparencia a partir de la reflectividad de las bandas azul y verde de Sentinel-2.

De manera adicional, el software SNAP durante la corrección atmosférica mediante la herramienta C2RCC, es capaz de calcular una serie de productos automáticos de 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 estimación.

2.4.2. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión ([SST]) muestran alta reflectividad en las bandas roja e infrarroja y se han establecido diferentes índices para la posterior calibración de este parámetro. El primer método (ISO-112023-1997), para valores de concentraciones inferiores a 20 mg/L, correlaciona los datos de campo directamente con la reflectividad de las bandas de 665 nm y 560 nm (4) y, para concentraciones superiores a 20 mg/L, repite la operación con el cociente entre las bandas de 783 y 492 nm respectivamente (6).

$$[STT] < 20mg/L \rightarrow [STT](mg/L) \propto \frac{R665}{R560} \quad (3)$$

$$[SST] > 20 mg/L \rightarrow [SST] \left(\frac{mg}{L}\right) \propto \frac{R(783)}{R(492)} \quad (4)$$

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 máximos de reflectividad de la clorofila-a se dan en el rango desde el rojo al infrarrojo cercano 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 el cociente entre la banda del rojo lejano y la roja (7), propuesta por Shafique *et al.*, (2003):

$$[Chl_a](mg/m^3 \text{ o } \mu g/L) \propto \frac{R(705)}{R(665)} \quad (5)$$

La ecuación anterior es la más adecuada para la mayoría de los embalses estudiados, pero a continuación se muestra otro cociente de bandas más adecuado para lagos de alta montaña, entre la banda del rojo lejano y la banda verde:

$$[Chla] (mg/m^3 \text{ o } \mu g/L) \propto \frac{R705}{R560} \quad (6)$$

Uno de los primeros índices calibrados fue el modelo tribanda de Dall'Olmo (TBDO) (7-8), que sirve para la monitorización de la [Chl-a] en aguas turbias (Dall'Olmo *et al.* 2003). A partir de una



modificación de este modelo, basado en las reflectancias de las bandas 4, 5 y 6 de Sentinel-2, se consiguió validar un algoritmo para la estimación de la [Chl-a] en el lago de la Albufera de Valencia (Soria *et al.*, 2017) y diversos embalses de la cuenca del Júcar (Pereira-Sandoval *et al.* 2018):

$$[Chl_a](mg/m^3 \text{ o } \mu g/L) \propto TBDO \quad (7)$$

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

Aunque este modelo se ha testado para los embalses del estudio, no se seleccionó debido a que en su mayoría se obtienen valores negativos, ya que está diseñado para sistemas eutróficos. Dado el estado oligo-mesotrófico de los embalses de estudio, este algoritmo se descarta.

El cociente de Shafique tampoco obtiene correlaciones fuertes con los datos de campo proporcionados, en su lugar se ha seleccionado por el índice R665/R560. Su fundamento físico se da en que a 665 nm ocurre uno de los máximos de absorbancia de la clorofila-a, mientras que en la banda verde a 560 nm se da un mínimo de absorción de la combinación de los pigmentos fotosintéticos (Delegido *et al.*, 2014), partículas suspendidas y CDOM (Gurlin *et al.*, 2011).

Al igual que en la transparencia y los sólidos en suspensión, se ha aplicado la herramienta C2RCC para establecer cuál es el mejor método para la estimación de esta variable.

2.4.4. Concentración de ficocianina

Debido a su alta reflectividad en el rango del rojo al infrarrojo cercano, se va a analizar la correlación entre estas bandas y los datos de campo. En el estudio realizado por Sòria-Perpinyà *et al.*, (2020), se realizan distintas regresiones utilizando cocientes de las bandas del rojo lejano y roja, obteniendo mejor resultado con el cociente de las bandas de 740 y 665 nm.

$$[PC](mg/m^3 \text{ o } \mu g/L) \propto \frac{R(740)}{R(665)} \quad (9)$$

Sin embargo, para este estudio, se ha obtenido un mayor coeficiente de correlación empleando el índice $2 \times R705/(R560+R665)$, basándose su fundamento físico en que a 705 nm se da el máximo de retrodispersión de la luz por parte del fitoplancton y que a 620 nm (cerca del punto medio entre 560 y 665 nm) ocurre el máximo de absorción de la luz por parte de la ficocianina.

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

Tabla 4. Resumen de los índices propuestos para cada variable.

Parámetro	Índice	Referencia
Transparencia o profundidad de visión del disco de Secchi (Z_{DS})	$\frac{R(490)}{R(705)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> (2018)
	$\frac{R(490)}{R(560)}$	Pereira-Sandoval <i>et al.</i> (2018)
Sólidos en Suspensión Totales ([SST])	$R(842) - R(665)$	Carmiña (2017)
	$[SST] < 20 \frac{mg}{L} \rightarrow \frac{R(665)}{R(560)}$ $[SST] > 20 \frac{mg}{L} \rightarrow \frac{R(783)}{R(492)}$	ISO-11923-1997
Clorofila a ([Chl-a])	$\frac{R(705)}{R(665)}$ $\frac{R(705)}{R(560)}$	Shafique <i>et al.</i> (2003)
	$R(740) \cdot \left(\frac{1}{R(665)} - \frac{1}{R(705)} \right)$	Dall'Olmo <i>et al.</i> (2003), testado en Pereira-Sandoval <i>et al.</i> (2018) y Soria <i>et al.</i> (2017)
Ficocianina ([PC])	$\frac{R(740)}{R(665)}$	Beck <i>et al.</i> (2017), utilizado por Sòria-Perpinyà <i>et al.</i> (2020)

2.5. EXTRACCIÓN DE LOS VALORES DE REFLECTIVIDAD

Para poder realizar cálculos entre las distintas bandas se ha realizado un proceso integrado dentro del propio software de SNAP llamado *Batch Processing*. Existen dos formas de aplicar este proceso, una es mediante el propio SNAP que nos permite establecer una ruta llamada *My Graph* a partir de la cual se seleccionan los distintos procesos a los que queremos someter las imágenes, tales como el *resampling* y el *subset*, este proceso nos permite agilizar el procesado de imágenes, aunque es un proceso bastante limitado para trabajar con imágenes sin corrección atmosférica o nivel L1C. Por otro lado, este mismo proceso se puede ejecutar de una forma más



extensa y completa mediante la consola de comandos integrada en Windows, CMD. Con este último método se diseña un código para que se ejecuten en bucle las imágenes previamente descargadas y sacar directamente los valores de reflectividad de cada uno de los embalses. Para realizar este proceso en primer lugar se debe ejecutar SNAP en la consola con el comando GPT (*Graph Processing Tool*), que nos abre una lista con todos los comandos disponibles en SNAP. Por otro lado, también es necesario establecer el directorio donde tenemos todas las imágenes, que en este caso se encuentran agrupadas en carpetas según sus coordenadas geográficas. Por lo tanto, en primer lugar, se debe cargar la ruta hacia la carpeta con la que queremos trabajar. Una vez cargada se empieza a trabajar con los operadores bio-ópticos que nos ofrece el sistema. Se empieza a describir en el código los operadores que se necesitan ejecutar para obtener las bandas de las imágenes en cuestión, para ello se eligen los siguientes operadores: *Resample*, *c2rcc.msi* y *PixEX*. En cada uno de estos operadores se deben definir las características que necesitamos en las imágenes, en el caso de *Resample* se escoge una resolución de 20 m para todas las bandas, en el operador *c2rcc.msi* se selecciona el tipo de corrección atmosférica *C2X-nets*, ya que es la óptima a la hora de trabajar con masas de agua entre las que existe variabilidad trófica. Finalmente, con el operador *PixEX* se introducen las coordenadas de los embalses presentes en la imagen de la ruta y se selecciona la extracción de una cuadrícula 3x3 alrededor de la coordenada inicial (Kutser, 2012). Al ejecutar el código se obtiene un archivo de texto con todos los datos que se necesitan para trabajar. Este proceso se repite en las otras carpetas del directorio con las distintas coordenadas geográficas para cada uno de los embalses del estudio. A continuación, en la siguiente figura 2 se muestra una imagen procesada en el nivel L2A tras aplicar el cambio de resolución a 20 metros en todas las bandas y un recorte de la imagen con ampliación en el embalse del Ebro. En la figura 3 se muestra la zona de influencia en la extracción de valores de reflectividad en las coordenadas de la toma de campo.



Figura 2. Imagen correspondiente al gránulo T30TVN procesada en el nivel L2A tras aplicar la corrección atmosférica, remuestreo y recorte en el embalse del Ebro.

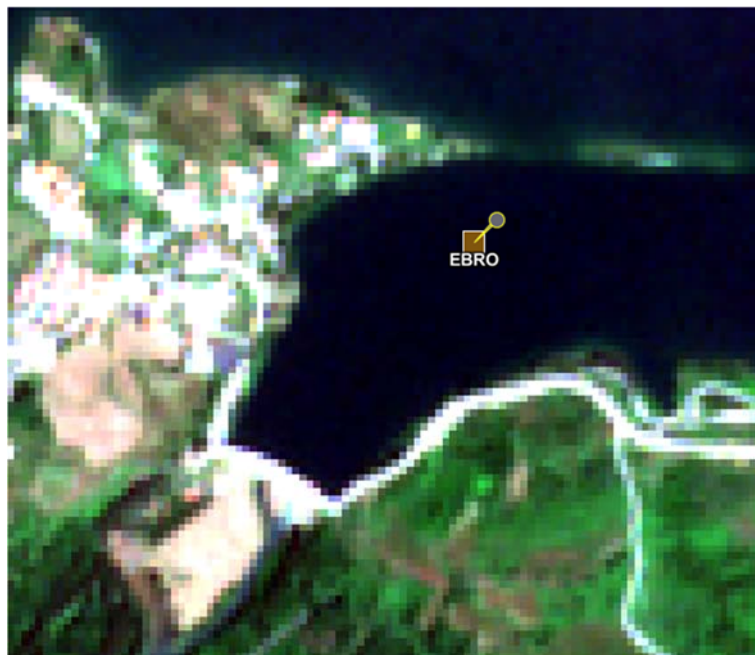


Figura 3. Punto de extracción de valores de reflectividad próxima a la presa con su zona de influencia.

3. RESULTADOS

Tras realizar un análisis previo de los datos de campaña proporcionados por la CHE de 2022, se considera que todavía 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 372 datos de campo de este parámetro entre todos los embalses y lagos teniendo una variación de valores entre 0,13 metros, siendo el valor mínimo en la Laguna de Pitillas, y con 21,1 metros en el Estany Fondo, siendo éste el valor máximo. Los datos de algunos 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 2022 un resultado significativo, alcanzando una correlación de $R^2=0,6954$, siendo el índice que mejor correlaciona este parámetro, aunque cabe destacar que ha bajado respecto al año anterior, ya que se ha trabajado con casi 400 datos, a diferencia de otros años que se ha hecho el mismo procedimiento con alrededor de 100 datos de campo. El hecho de tener un coeficiente de determinación (R^2) menor está asociado a la mayor variabilidad de datos. La ecuación obtenida que calibra el índice con la transparencia es la siguiente:

$$y = 3,4878 \times \frac{MAX[R(443), R(490)]}{R(560)} \quad (10)$$

A continuación, se muestra en la siguiente figura 4 el gráfico resultante de la correlación entre el índice y las muestras de campo.

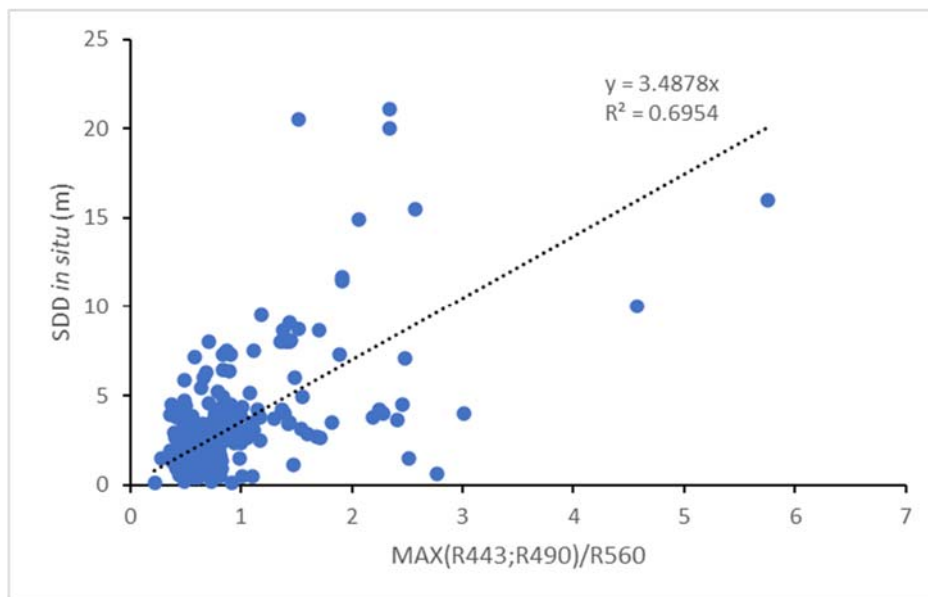


Figura 4. Correlación entre el índice de transparencia propuesto y los valores de transparencia tomados en campo.

3.2. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para el estudio de esta variable se han utilizado 251 datos de campo, al igual que con la transparencia.

Otros años, se ha utilizado la herramienta C2RCC de SNAP para calcular la concentración de materia disuelta, pero en este caso se ha decidido utilizar otro método, ya que por un lado hay más datos que otros años y eso supone una variabilidad más alta, dentro del estudio de los propios sólidos, también existe mucha variabilidad.

Se ha establecido una correlación de las bandas R665 y R560 entre los datos de sólidos en suspensión de campo, obteniendo un $R^2 = 0,4765$, aunque es cierto que es inferior al presentado en otros años, es la correlación que mejor se ajusta para embalses con < 20 mg/L de TSM. A continuación, se muestra la ecuación que se aplica y la figura de correlación:

$$y = 12.795 \times \frac{R(665)}{R(560)} \quad (11)$$

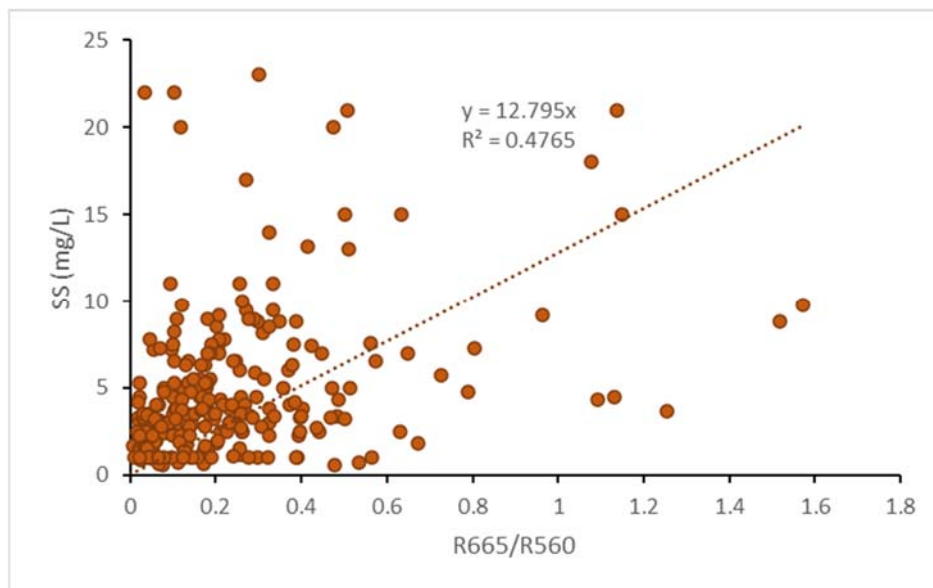


Figura 5. Correlación entre el resultado con el índice propuesto y los valores de concentración de sólidos en suspensión tomados en campo.

3.3. CLOROFILA-A

En el estudio de esta variable se ha realizado con un total de 155 datos en embalses y lagos. El rango de valores fue de 0,10 – 23,13 $\mu\text{g/L}$ en el embalse de Mansilla y laguna de La Estanca respectivamente, y un valor promedio es de 3,11 $\mu\text{g/L}$.

Se utilizaron tres métodos distintos para la calibración de la clorofila-a en 2022, aunque tal y como se ha comentado anteriormente, el método de Dall’Olmo no se presenta debido a los valores negativos.

La ecuación obtenida con un mayor sentido físico y mejor resultado ha sido la siguiente:

$$[Chl_a] \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \text{ o } \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \right) = 25,8867 \times \left[\frac{R(665)}{R(560)} - 0,1 \right] \quad (13)$$

A continuación, en la siguiente figura 6 se muestra la correlación obtenida explicada anteriormente.

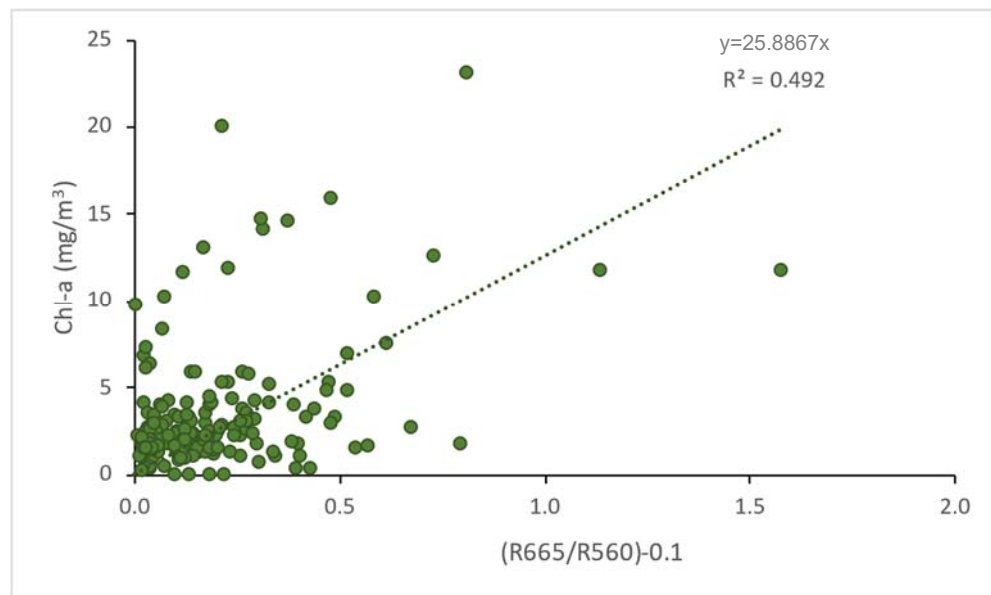


Figura 6. Correlación obtenida entre el índice R665/R560 y los valores de clorofila-a tomados en campo.

Una vez alcanzados los resultados presentados anteriormente, se procedió a realizar la validación de los parámetros de transparencia y clorofila-a que se comentarán más adelante.

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

El índice aplicado para calibrar este parámetro ha sido la relación entre la banda del rojo lejano de 705 nm, correspondiente a la banda 5, y el promedio entre la banda verde y roja.

La correlación obtenida ha sido buena, con un $R^2=0,54$ y la ecuación calibrada:

$$[PC](\text{mg}/\text{m}^3 \text{ o } \mu\text{g}/\text{L}) = 23,727 \times \frac{2 \times R(705)}{R(560) + R(665)} \quad (18)$$

En la siguiente figura 7 se muestra el gráfico de correlación entre el índice de bandas de reflectividad y las muestras de campo.

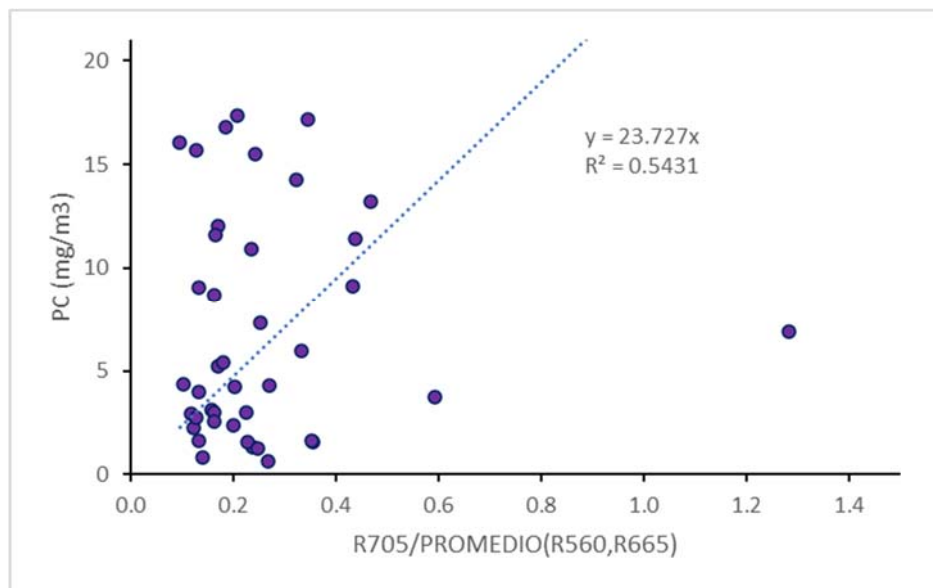


Figura 7. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de ficocianina tomados en campo.

3.5. CDOM

La variable Materia Orgánica Cromofórica Disuelta (CDOM) ha sido calibrada con 44 medidas y en un rango de valores entre 14 y 83 $\mu\text{g/L}$, siendo el valor promedio de 55 $\mu\text{g/L}$.

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:

$$[CDOM] = 87,125 \times \frac{R(665)}{R(490)} \quad (19)$$

En la siguiente figura 8 se muestra el gráfico con los resultados alcanzados en la correlación entre las bandas de reflectividad del satélite y las muestras de campo.

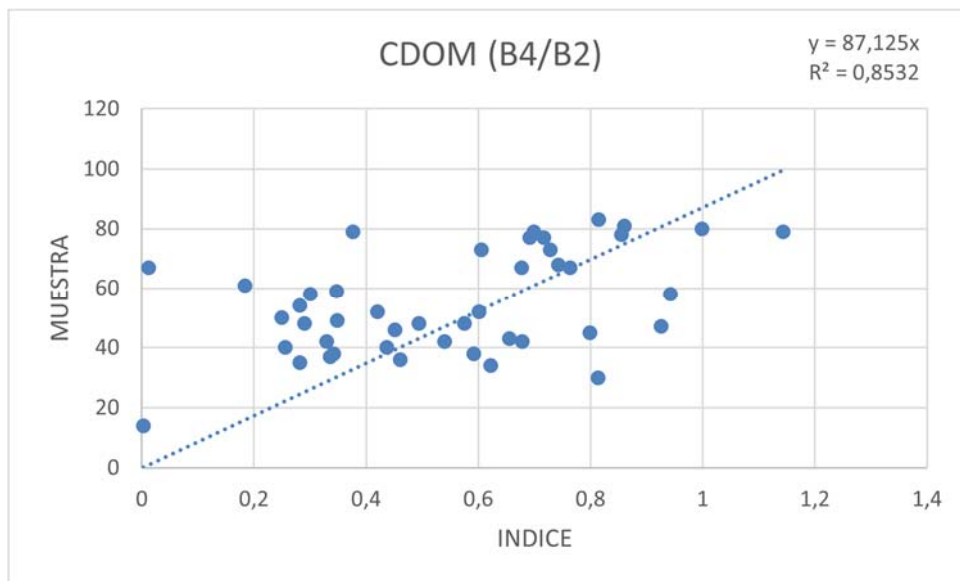


Figura 8. Correlación entre el resultado hallado con el índice propuesto y los valores de concentración de materia orgánica cromofórica tomados en campo.

3.6. ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS EMBALSES

La tabla 5 presenta las ecuaciones seleccionadas para los cálculos del estudio.

Tabla 5. Resumen de ecuaciones calibradas para los distintos parámetros de calidad estudiados.

Variable	Ecuación Calibrada	Correlación (R ²)
Transparencia	$y = 3,4878 \times \left(\frac{MAX[B1; B2]}{B3}\right)$	R ² =0,69
Sólidos en suspensión	$y = 12,795 \times \left(\frac{B4}{B3}\right)$	R ² =0,48
Clorofila-a	$y = 25,8867 \times \left(\frac{B4}{B3} - 0,1\right)$	R ² =0,49
Ficocianina	$y = 23,727 \times \left(\frac{2 \times B5}{B3 + B4}\right)$	R ² =0,54
CDOM	$y = 87,13 \times \left(\frac{B4}{B2}\right)$	R ² =0,85

Una vez obtenidas las ecuaciones calibradas para los diferentes parámetros, se pueden realizar mapas de calidad de los diferentes embalses y visualizar su evolución a lo largo del año 2022.



Los resultados obtenidos en los trabajos de campo realizados para la Confederación Hidrográfica del Ebro durante 2022 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 217 medidas de campo. En el caso de la clorofila, el número de medidas ha sido de 155, en general correspondientes sólo a la segunda parte del año, verano y otoño.

Mediante las imágenes del satélite se han obtenido los datos en los 284 casos considerados para el estudio, incluyendo los embalses donde no se han tomado datos de campo este año 2022, para las dos variables que se utilizan para evaluar el estado trófico.

En enero de 2022 se ha modificado 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, a través del RD 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. En este RD se fija la forma de estimar el estado trófico de embalses y lagos. En este informe de 2022 se va a hacer una comparativa entre los parámetros utilizados por la OCDE (que se han venido utilizando hasta ahora) y los que recoge el RD 47/2022 (que serán los que se utilicen de ahora en adelante). Los rangos de calidad aplicables al estado trófico de los embalses y lagos de acuerdo con el criterio de la OCDE son los presentados en la tabla 6:

Tabla 6. Resumen de las variables indicadoras de estado trófico de acuerdo con la OCDE.

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

Tras la promulgación del RD 47/2022, los valores umbral que se utilizarán en la caracterización del estado trófico son los recogidos en la tabla 7; estos valores se considerarán como valores mínimos aplicables.

Tabla 7. Resumen de las variables indicadoras de riesgo de eutrofia según RD 47/2022.

Variables Estado Trófico	No eutrófico	Eutrófico
Fósforo Total (µg/L) media anual	≤ 35	> 35
Clorofila a (µg/L) media anual	≤ 8	> 8
Clorofila a (µg/L) máximo anual	≤ 25	> 25
Disco de Secchi (m) media anual	≥ 2	< 2



Para clasificar el estado trófico de las masas de agua superficial continentales se aplicarán, al menos, los indicadores fósforo total y clorofila a. La media anual y el valor máximo de los indicadores se calculan a partir de un mínimo de 6 muestras anuales. Se tomará, al menos, una muestra cada trimestre del año.

Una masa de agua se clasifica como eutrófica si la media anual de fósforo total y la media anual de clorofila a superan el valor umbral que figura en la tabla 7. Si la media anual de fósforo total supera el valor umbral y la media anual de la clorofila a es menor al valor umbral, pero existen valores superiores al máximo anual, la eutrofia se valorará a través de juicio de experto. Además, se tendrán en cuenta otros indicadores como la transparencia.

Si soporta presiones significativas que puedan causar el aumento de nutrientes, aunque no se superen los valores umbral, se considerará en riesgo de eutrofización.

Una masa de agua se clasifica como no eutrófica cuando no se superan los valores umbral de la tabla 7 en ninguna de las dos variables y no soporta presiones significativas que puedan causar el incremento de nutrientes.

Al haber bastante casuística, en algunos ocasiones se debe recurrir al criterio del experto en eutrofización, por lo que la tabla para obtener el estado aplicable para las distintas posibilidades de las variables se presenta en la tabla 8.



Tabla 8. Tabla de decisiones para obtener el riesgo de eutrofización en un embalse según dispone el RD 47/2022.

Casuística	Criterio	Fósforo Total	Clorofila		Disco Secchi	Presiones significativas	Estado
		MA	MA	Max	MA		
		µg/L	µg/L		m		
1	RD	>35 (EU)	>8 (EU)	No en cuenta	No en cuenta	No en cuenta	Eutrófico (EU)
2	RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	>25 (EU)	<2,0 (EU)	Existen (ER)	Eutrófico (EU) (Juicio experto)
3	RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	>25 (EU)	≥2,0 (NE)	Existen (ER)	Eutrófico (EU) (Juicio experto)
4	RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	>25 (EU)	<2,0 (EU)	No existen (NE)	Eutrófico (EU) (Juicio experto)
5	RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	>25 (EU)	≥2,0 (NE)	No existen (NE)	En riesgo de eutrofización (ER) (Juicio experto)
6	No RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	≤25 (NE)	No en cuenta	Existen (ER)	En riesgo de eutrofización (ER) (Juicio experto)
7	No RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	≤25 (NE)	No en cuenta	No existen (NE)	En riesgo de eutrofización (ER) (Juicio experto)
7.1	No RD	>35 (EU)	≤8 (NE)	≤25 (NE)	No en cuenta	Sin datos	En riesgo de eutrofización (ER) (Juicio experto)
8	RD	≤35 (NE)	≤8 (NE)	≤25 (NE)	No en cuenta	Existen (ER)	En riesgo de eutrofización (ER)
9	RD	≤35 (NE)	≤8 (NE)	≤25 (NE)	≥2,0 (NE)	No existen (NE)	No eutrófico (NE)
9.1	No RD	≤35 (NE)	>8 (EU)	≤25 (NE)	No en cuenta	No existen (NE)	En riesgo de eutrofización (ER) (Juicio experto)

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 9, donde se utilizan los colores normalizados para indicar el estado trófico según el criterio de la OCDE y en la tabla 10 considerando las indicaciones del nuevo Real Decreto 47/2022.



Tabla 9. 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) según el criterio de la OCDE. El número en algunos embalses indica que la muestra ha sido tomada por la Universitat de València, en varios puntos del embalse en la misma fecha.

MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
1	Embalse del Ebro	28/02/2022	10/02/2022		1,80	3,92	1,26	5,00	4,70
1	Embalse del Ebro	04/07/2022	10/07/2022	2,32	4,40	1,78	2,80	3,80	2,77
1	Embalse del Ebro 1	18/07/2022	17/07/2022	1,88	0,94	3,50	5,03	2,45	1,41
1	Embalse del Ebro 2	18/07/2022	17/07/2022	1,92	1,02	3,40	4,55	1,62	1,40
1	Embalse del Ebro 3	18/07/2022	17/07/2022	1,50	10,28	3,70	2,61	1,54	1,43
1	Embalse del Ebro	09/09/2022	19/08/2022	5,30	8,38	1,08	2,16	8,50	4,35
2	Embalse de Urrúnaga	01/03/2022	12/03/2022		10,18	2,19	2,37	2,30	5,06
2	Embalse de Urrúnaga	05/07/2022	10/07/2022	4,98	13,32	2,85	1,44	5,00	6,30
2	Embalse de Urrúnaga 1	19/07/2022	17/07/2022	2,74	0,91	3,10	5,38	1,55	1,38
2	Embalse de Urrúnaga 2	19/07/2022	17/07/2022	2,07	0,93	2,60	5,98	1,50	1,36
2	Embalse de Urrúnaga	05/09/2022	05/09/2022	2,49	7,37	3,24	3,04	3,30	3,95
2	Embalse de Urrúnaga	13/12/2022	11/12/2022		11,58	4,18	1,60	7,00	5,62
4	Embalse de Irabia		17/07/2022		0,33		11,72		1,16
5	Embalse de Albiña	02/03/2022	12/03/2022		12,63	1,30	1,33	4,30	6,03
5	Embalse de Albiña	05/07/2022	10/07/2022		16,79	1,65	2,22	7,00	7,68
5	Embalse de Albiña	05/09/2022	05/09/2022		4,55	4,30	3,20	2,80	2,83
5	Embalse de Albiña	13/12/2022	11/12/2022		12,98	2,89	1,38	15,00	6,17
6	Embalse de Eugui		17/07/2022		0,32		11,60		1,15
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	01/03/2022	12/03/2022		2,96	0,88	2,25	6,50	6,92
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	05/07/2022	12/07/2022	4,95	2,03	2,65	1,96	3,30	5,83
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	07/09/2022	05/09/2022	1,38	3,02	6,36	3,13	3,00	3,41
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	13/12/2022	11/12/2022		10,01	7,19	2,05	8,80	4,99
19	Embalse de Lanuza		14/07/2022		0,17		7,67		1,09
22	Embalse de Sobrón	01/03/2022	22/02/2022		4,79	1,35	2,88	4,30	2,92
22	Embalse de Sobrón	05/07/2022	10/07/2022	4,23	4,85	1,69	2,43	7,00	2,95
22	Embalse de Sobrón	07/09/2022	05/09/2022	4,54	4,67	1,76	2,22	7,00	2,87
25	Embalse de Búbal		14/07/2022		1,08		4,32		1,45
27	Embalse de Alloz		12/07/2022		2,40		2,72		1,97
34	Embalse de Baserca		14/07/2022		0,20		10,17		1,10
37	Embalse de Yesa	02/03/2022	01/03/2022		1,92	3,27	2,18	2,80	1,79
37	Embalse de Yesa	06/07/2022	07/07/2022	1,09	2,86	1,32	2,83	9,00	2,16
37	Embalse de Yesa	20/09/2022	20/09/2022	2,31	6,21	1,44	1,83	6,50	3,48
37	Embalse de Yesa	14/12/2022	24/12/2022		2,76	0,64	2,57	21,00	12,69
42	Embalse de Mediano		14/07/2022		2,58		2,74		2,05
43	Embalse de Escales		14/07/2022		0,85		5,42		1,36
44	Embalse de La Peña		14/07/2022		4,30		2,30		2,73
47	Embalse de El Grado 1	21/06/2022	19/06/2022	0,41	0,90	8,70	4,80	1,05	1,38
47	Embalse de El Grado 2	21/06/2022	19/06/2022	0,52	1,77	8,00	5,04	0,66	1,73
47	Embalse de El Grado 3	21/06/2022	19/06/2022	0,53	0,90	8,12	5,05	1,30	1,38
50	Embalse de Talarn 1	24/10/2022	22/10/2022	2,81	5,34	3,50	3,32	1,94	3,14
50	Embalse de Talarn 2	24/10/2022	22/10/2022	3,48	3,26	3,15	3,72	1,41	2,32



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
50	Embalse de Talarn 3	24/10/2022	22/10/2022	3,07	12,37	4,00	2,69	0,58	5,93
51	Embalse de Vadiello		14/07/2022		10,87		3,37		5,33
53	Embalse de Oliana	04/03/2022	03/03/2022		7,87		1,59	2,30	4,35
53	Embalse de Oliana 1	14/06/2022	11/06/2022	4,25	1,89	4,20	4,14	1,34	1,21
53	Embalse de Oliana 2	14/06/2022	11/06/2022	2,80	1,69	3,90	3,66	1,81	7,93
53	Embalse de Oliana 3	14/06/2022	11/06/2022	7,36	7,43	3,80	2,68	2,09	1,30
53	Embalse de Oliana	20/07/2022	19/07/2022	3,66	0,78	3,90	2,91	3,50	1,33
53	Embalse de Oliana	21/09/2022	22/09/2022	6,03	6,80	3,06	2,07	2,50	3,72
53	Embalse de Oliana	13/12/2022	11/12/2022		3,74	3,65	1,76	1,00	2,51
54	Embalse de Montearagón	03/03/2022	01/03/2022		1,74	2,32	2,63	4,00	1,71
54	Embalse de Montearagón	07/07/2022	09/07/2022	1,60	2,40	1,77	2,63	4,50	2,04
54	Embalse de Montearagón	21/09/2022	22/09/2022	2,46	2,56	1,22	2,70	7,50	2,04
55	Embalse de Ardisa		14/07/2022		8,74		1,78		4,49
56	Embalse de Barasona 1	22/06/2022	19/06/2022	1,87	2,03	3,60	3,10	2,45	1,83
56	Embalse de Barasona 2	22/06/2022	19/06/2022	2,52	1,29	3,90	3,29	1,56	1,54
56	Embalse de Barasona 3	22/06/2022	19/06/2022	2,14	1,52	3,20	3,12	1,90	1,63
58	Embalse de Canelles		14/07/2022		3,45		2,39		2,39
59	Embalse de Terradets		14/07/2022		8,54		1,59		4,41
61	Embalse de Mansilla	07/03/2022	22/02/2022		3,91	2,39	2,91	3,00	4,37
61	Embalse de Mansilla	12/07/2022	07/07/2022	0,10	3,37	2,60	2,87	6,30	2,36
61	Embalse de Mansilla	15/09/2022	20/09/2022	1,32	4,96	3,96	2,92	1,00	2,99
61	Embalse de Mansilla	20/12/2022	21/12/2022		5,41	3,32	2,35	7,00	3,17
62	Embalse de La Sotonera		14/07/2022		6,69		1,90		
63	Embalse de Rialb	07/03/2022	01/03/2022		4,57	4,20	1,53	5,30	2,84
63	Embalse de Rialb 1	15/06/2022	19/06/2022	2,90	1,07	1,80	2,41	3,47	1,45
63	Embalse de Rialb 2	15/06/2022	19/06/2022	3,55	1,17		2,34	2,32	1,49
63	Embalse de Rialb	20/07/2022	19/07/2022	1,15	3,67	2,00	1,98	4,80	2,48
63	Embalse de Rialb	21/09/2022	22/09/2022	11,86	9,46	1,43	1,56	4,50	12,62
63	Embalse de Rialb	13/12/2022	11/12/2022		6,68	1,69	1,93	2,70	3,67
64	Embalse de Pajares	07/03/2022	22/02/2022		6,01	4,34	3,52	3,80	3,41
64	Embalse de Pajares	11/07/2022	12/07/2022	1,77	1,90	4,01	4,27	3,50	2,41
64	Embalse de Pajares	19/09/2022	20/09/2022	1,47	4,90	3,80	4,08	7,50	2,97
64	Embalse de Pajares	20/12/2022	21/12/2022		5,32	3,12	3,12	4,20	4,96
65	Embalse de Camarasa		14/07/2022		1,82		2,90		1,75
66	Embalse de Santa Ana 1	24/10/2022	22/10/2022	2,07	3,15	7,50	3,89	3,77	2,27
66	Embalse de Santa Ana 2	24/10/2022	22/10/2022	1,60	2,94	7,50	3,03	0,69	2,19
66	Embalse de Santa Ana 3	24/10/2022	22/10/2022	1,71	2,53	7,30	2,92	0,98	2,03
66	Embalse de Santa Ana 4	24/10/2022	22/10/2022	1,67	5,19	7,30	3,18	3,49	3,08
67	Embalse de San Lorenzo	07/03/2022	01/03/2022		2,35	3,15	2,55	3,00	1,96
67	Embalse de San Lorenzo	20/07/2022	19/07/2022	2,72	3,11	2,10	2,77	4,30	2,26
67	Embalse de San Lorenzo	22/09/2022	22/09/2022	4,45	6,15	2,00	1,98	4,00	3,46
67	Embalse de San Lorenzo	14/12/2022	11/12/2022		7,03	2,32	3,47	3,50	3,81
68	Embalse de El Val	04/03/2022	22/02/2022		3,66	4,32	3,11	1,00	2,48
68	Embalse de El Val	08/07/2022	10/07/2022	44,50	8,62	1,35	1,93	9,50	4,44
68	Embalse de El Val	20/09/2022	20/09/2022	47,70	13,23	1,83	2,21	13,00	6,27
68	Embalse de El Val 1	18/10/2022	15/10/2022	88,92	14,56	1,60	2,32	7,58	6,80
68	Embalse de El Val 2	18/10/2022	15/10/2022		24,90	1,50	3,43	9,22	8,20



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
68	Embalse de El Val	19/12/2022	24/12/2022		5,72	3,40	2,28	7,80	3,29
70	Embalse de Mequinenza	07/03/2022	01/03/2022		8,38	1,90	2,11	3,80	4,35
70	Embalse de Mequinenza	20/07/2022	19/07/2022	4,05	1,58	3,50	2,57	1,00	1,65
70	Embalse de Mequinenza	22/09/2022	12/09/2022	14,83	1,89	3,17	2,09	2,80	4,17
71	Embalse de Mezalocha		14/07/2022		4,78		2,29		1,92
72	Embalse de Margalef	19/07/2022	19/07/2022	1,90	0,82	4,00	10,51	3,30	1,35
73	Embalse de Ciurana	19/07/2022	19/07/2022	1,00	0,82	2,50	4,09	3,20	1,35
74	Embalse de Flix	08/03/2022	01/03/2022		5,91	2,50	1,73	3,00	3,52
74	Embalse de Flix	21/07/2022	19/07/2022	1,22	3,03	5,20	2,75	1,00	2,31
75	Embalse de Las Torcas	03/03/2022	01/03/2022		2,04	2,72	2,70	5,00	1,84
75	Embalse de Las Torcas	13/07/2022	14/07/2022	1,65	1,13	2,31	3,27	7,80	1,50
75	Embalse de Las Torcas	27/09/2022	27/09/2022	1,26	2,95	1,32	2,47	9,80	2,27
75	Embalse de Las Torcas	15/12/2022	24/12/2022		2,56	1,80	1,85	8,80	4,60
76	Embalse de La Tranquera	14/07/2022	14/07/2022	2,17	2,10	2,39	2,50	5,50	2,70
76	Embalse de La Tranquera	26/09/2022	20/09/2022	1,21	2,09	3,60	2,36	6,00	3,65
76	Embalse de La Tranquera 1	19/10/2022	15/10/2022	2,76	2,60	6,30	2,36	1,05	3,49
76	Embalse de La Tranquera 2	19/10/2022	15/10/2022	2,56	3,68	6,00	2,34	1,47	2,85
76	Embalse de La Tranquera	16/12/2022	24/12/2022		2,22	2,40	2,07	7,30	3,12
77	Embalse de Moneva	03/03/2022	01/03/2022		4,14	2,36	2,36	4,50	4,04
77	Embalse de Moneva	13/07/2022	14/07/2022	1,45	4,09	3,41	2,88	5,00	2,64
77	Embalse de Moneva	27/09/2022	27/09/2022	4,24	4,89	2,82	1,93	14,00	4,36
77	Embalse de Moneva	15/12/2022	24/12/2022		9,67	3,21	2,42	4,00	4,86
78	Embalse de Caspe	07/03/2022	01/03/2022		2,91	3,05	2,56	3,50	2,18
78	Embalse de Caspe	20/07/2022	19/07/2022	2,00	3,07	2,90	2,44	2,30	2,24
78	Embalse de Caspe	22/09/2022	22/09/2022	2,93	5,49	3,82	1,96	2,50	3,20
78	Embalse de Caspe 1	27/11/2022	26/11/2022	3,59	3,74	1,80	1,76	0,62	2,79
78	Embalse de Caspe 2	27/11/2022	26/11/2022	3,81	3,96	1,80	1,75	4,46	3,70
78	Embalse de Caspe 3	27/11/2022	26/11/2022	3,59	3,43	1,80	2,41	4,04	3,78
78	Embalse de Caspe	14/12/2022	24/12/2022		3,33	2,58	2,29	5,00	2,86
79	Embalse de Guiamets	22/07/2022	19/07/2022	1,44	0,59	1,50	8,75	5,30	1,26
80	Embalse de Cueva Foradada	01/03/2022	01/03/2022		3,57	6,44	2,93	2,30	2,44
80	Embalse de Cueva Foradada	19/07/2022	14/07/2022	3,37	2,68	3,60	2,71	22,00	2,09
80	Embalse de Cueva Foradada	19/09/2022	22/09/2022	5,41	5,88	4,22	4,01	3,70	13,88
80	Embalse de Cueva Foradada	28/11/2022	26/11/2022		6,36	1,70	1,92	6,50	3,55
82	Embalse de Calanda	08/03/2022	01/03/2022		1,68	4,30	2,86	3,00	1,69
82	Embalse de Calanda 1	05/07/2022	04/07/2022	1,79	2,77	2,90	2,81	3,82	2,12
82	Embalse de Calanda 2	05/07/2022	04/07/2022	1,29	2,70	2,90	2,87	3,66	2,09
82	Embalse de Calanda 3	05/07/2022	04/07/2022	1,40	2,56	3,00	2,84	3,47	2,04
82	Embalse de Calanda	21/07/2022	19/07/2022	1,52	0,59	3,85	3,48	3,00	1,26
82	Embalse de Calanda	27/09/2022	27/09/2022	1,93	3,58	2,70	2,35	2,80	2,45
82	Embalse de Calanda	14/12/2022	24/12/2022		2,57	3,95	2,97	2,30	2,04
86	Embalse de Itoiz		14/07/2022		1,01		4,23		1,42
87	Embalse de Lechago	08/03/2022	01/03/2022		4,10	5,14	3,75	1,00	2,65
87	Embalse de Lechago	13/07/2022	14/07/2022	4,23	3,22	2,74	2,71	5,00	2,30
87	Embalse de Lechago	27/09/2022	27/09/2022	4,99	7,47	1,39	2,29	9,00	3,99
87	Embalse de Lechago	15/12/2022	24/12/2022		5,98	3,67		8,80	16,58
98	Embalse de Pte de Santolea	01/03/2022	01/03/2022		2,73	2,90	2,60	3,20	2,11



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
98	Embalse de Pte de Santolea	18/07/2022	19/07/2022	0,90	2,67	4,20	2,82	5,30	2,09
98	Embalse de Pte de Santolea	19/09/2022	22/09/2022	1,34	1,50	2,96	3,30	3,20	1,62
98	Embalse de Pte de Santolea	28/11/2022	26/11/2022		4,30	1,45	2,21	6,30	2,73
912	Embalse de Pena	01/03/2022	01/03/2022		3,94	5,42	2,25	3,50	2,59
912	Embalse de Pena	18/07/2022	19/07/2022	1,42	4,37	4,60	2,46	4,50	2,76
912	Embalse de Pena	19/09/2022	22/09/2022	0,80	7,74	5,89	1,72	1,00	4,09
912	Embalse de Pena	28/11/2022	26/11/2022		1,55	2,65	3,69	4,00	1,64
913	Embalse de Gallipué	01/03/2022	01/03/2022		4,71	2,05	2,19	5,30	2,89
913	Embalse de Gallipué	18/07/2022	19/07/2022	1,31	2,83	3,50	2,76	3,80	2,15
913	Embalse de Gallipué	20/09/2022	22/09/2022	6,17	0,60	2,86	3,32	4,50	1,26
913	Embalse de Gallipué	29/11/2022	26/11/2022		4,00	2,40	2,48	5,00	2,61
916	Embalse de Ortigosa	08/03/2022	22/02/2022		6,79	4,29	2,85	2,50	3,72
916	Embalse de Ortigosa	11/07/2022	12/07/2022	1,85	1,12	3,46	6,34	3,50	1,47
916	Embalse de Ortigosa	19/09/2022	20/09/2022	2,41	3,54	4,22	3,16	5,30	2,43
916	Embalse de Ortigosa 1	18/10/2022	15/10/2022	2,26	4,55	4,50	3,16	1,70	2,83
916	Embalse de Ortigosa 2	18/10/2022	15/10/2022	2,06	3,02		2,91	1,90	2,22
916	Embalse de Ortigosa	20/12/2022	21/12/2022		8,07	2,41	2,57	5,50	4,22
949	Embalse de Ribarroja	08/03/2022	01/03/2022		3,63	3,00	2,20	3,30	5,09
949	Embalse de Ribarroja	21/07/2022	19/07/2022	11,96	5,89	3,60	2,64	2,50	3,36
949	Embalse de Ribarroja	22/09/2022	22/09/2022	14,68	9,58	1,60	1,88	6,00	4,82
949	Embalse de Ribarroja	16/11/2022	11/11/2022		8,70	1,45	1,57	3,38	4,47
949	Embalse de Ribarroja 1	26/11/2022	26/11/2022	1,11	1,73	1,50	1,55	3,38	5,14
949	Embalse de Ribarroja 2	26/11/2022	26/11/2022	0,44	10,97	0,90	1,48	7,40	5,37
949	Embalse de Ribarroja	15/12/2022	24/12/2022		7,18	3,20	1,89	1,00	3,87
986	Bachimaña Alto		14/07/2022		3,19		5,44		2,29
996	Estany de Sant Maurici	02/09/2022	28/08/2022	1,13	0,24	15,50	8,98	1,00	1,12
1002	Tramacastilla de Tena	06/07/2022	09/07/2022	3,16	3,27	1,62	2,51	3,50	3,67
1002	Tramacastilla de Tena	21/09/2022	22/09/2022	2,30	2,04	3,28	3,17	4,80	1,84
1003	Ibón recrecido de Ip		14/07/2022		0,66		7,10		1,29
1020	Lac Major de Colomers	07/09/2022	28/08/2022	1,68	2,06	7,30	6,60	1,00	1,84
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	08/03/2022	01/03/2022		1,82	1,35	2,53	7,30	1,75
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	21/07/2022	19/07/2022	4,07	4,66	1,00	2,21	4,20	2,87
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	27/09/2022	27/09/2022	5,36	12,20	0,56	1,54	5,00	5,86
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	14/12/2022	24/12/2022		3,65	3,34	2,22	3,00	3,41
1033	Embalse de Respomuso		14/07/2022		20,51		2,93		9,15
1039	Embalse de Brazato		14/07/2022		10,63		2,49		5,24
1043	Estany de Cavallers	09/09/2022	28/08/2022	1,74	1,38	11,50	6,69	2,30	1,57
1049	Embalse de Balaguer		14/07/2022		13,70		2,30		6,45
1051	Embalse de Escarra		14/07/2022		0,67		5,06		1,29
1052	Embalse de Sallente		14/07/2022		0,92		9,48		1,39
1053	Embalse de Llauset		14/07/2022		0,32		8,14		1,15
1679	Humedal de Utchesa-Seca	28/02/2022	01/03/2022		3,58	2,20	0,71	3,20	6,17
1679	Humedal de Utchesa-Seca	19/07/2022	19/07/2022	31,40	6,80	0,70	1,48	22,00	1,36
1680	La Loteta	03/03/2022	01/03/2022		5,21	1,69	2,17	8,50	3,09
1680	La Loteta	07/07/2022	07/07/2022	7,06	13,31	0,90	1,48	38,00	6,30
1680	La Loteta	02/10/2022	22/09/2022	2,68	7,01	1,18	2,04	9,50	3,81
1680	La Loteta	19/12/2022	21/12/2022		5,42	1,59	2,83	9,20	3,17



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
1681	Monteagudo de las Vicarías	09/03/2022	01/03/2022		2,70	1,32	2,43	8,20	2,10
1681	Monteagudo de las Vicarías	14/07/2022	12/07/2022	1,42	2,70	1,10	1,43	6,50	2,10
1681	Monteagudo de las Vicarías	26/09/2022	20/09/2022	3,19	7,04	0,72	1,81	17,00	3,81
1681	Monteagudo de las Vicarías	16/12/2022	24/12/2022		6,63	1,78	2,05	11,00	3,65
1804	Embalse de Maidevera	04/03/2022	22/02/2022		1,54	2,33	1,62	3,50	2,99
1804	Embalse de Maidevera	08/07/2022	10/07/2022	3,14	1,83	2,38	1,35	6,50	2,41
1804	Embalse de Maidevera	26/09/2022	20/09/2022	5,41	2,26	2,54	1,33	7,80	3,17
1804	Embalse de Maidevera	16/12/2022	24/12/2022		3,52	2,19	1,40	10,00	3,70
1807	San Salvador 1	12/11/2022	11/11/2022	1,60	4,56	1,50	2,21	0,69	6,50
1807	San Salvador 2	12/11/2022	11/11/2022	2,07	4,32	1,50	2,15	3,77	2,74
1807	San Salvador 3	12/11/2022	11/11/2022	1,67	4,73	2,00	2,51	3,50	2,90
1807	San Salvador 4	13/11/2022	11/11/2022	1,70	4,95	2,00	2,80	0,98	6,83

Tabla 10. 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 (metros) y la concentración de clorofila a (microgramos por litro). Se indica la evaluación del riesgo de incumplir los objetivos medioambientales de la DMA. El color de la celda indica eutrófico EU (naranja), en riesgo de eutrofia ER (amarillo) y no eutrófico NE (verde).

MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	EVAL RIES	CAMPO	SAT
1	Embalse del Ebro	28/02/2022	10/02/2022		1,80	3,92	1,26	Alto	NE	ER
1	Embalse del Ebro	04/07/2022	10/07/2022	2,32	4,40	1,78	2,80	Alto	ER	NE
1	Embalse del Ebro	18/07/2022	17/07/2022	1,88	0,94	3,50	5,03	Alto	NE	NE
1	Embalse del Ebro	09/09/2022	19/08/2022	9,30	8,38	1,08	2,16	Alto	EU	EU
2	Embalse de Urrúnaga	01/03/2022	12/03/2022		10,18	2,19	2,37	Alto	NE	EU
2	Embalse de Urrúnaga	05/07/2022	10/07/2022	4,98	13,22	2,85	1,44	Alto	NE	EU
2	Embalse de Urrúnaga	19/07/2022	17/07/2022	2,74	0,91	3,10	5,38	Alto	NE	NE
2	Embalse de Urrúnaga	05/09/2022	05/09/2022	2,49	7,37	3,24	3,04	Alto	NE	NE
2	Embalse de Urrúnaga	13/12/2022	11/12/2022		11,58	4,18	1,60	Alto	NE	EU
4	Embalse de Irabia		17/07/2022		0,33		11,72	Medio	NE	NE
5	Embalse de Albiña	02/03/2022	12/03/2022		12,63	1,30	1,33	Medio	ER	EU
5	Embalse de Albiña	05/07/2022	10/07/2022		16,79	1,65	2,22	Medio	ER	EU
5	Embalse de Albiña	05/09/2022	05/09/2022		4,55	4,30	3,20	Medio	NE	NE
5	Embalse de Albiña	13/12/2022	11/12/2022		12,98	2,89	1,38	Medio	NE	EU
6	Embalse de Eugui		17/07/2022		0,32		11,60	Medio	NE	NE
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	01/03/2022	12/03/2022		2,96	0,88	2,25	Medio	ER	NE
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	05/07/2022	12/07/2022	4,95	2,03	2,65	1,96	Medio	NE	EU
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	07/09/2022	05/09/2022	1,38	3,02	6,36	3,13	Medio	NE	NE
7	Embalse de Ullívarri-Gamboa	13/12/2022	11/12/2022		10,01	7,19	2,05	Medio	NE	NE
19	Embalse de Lanuza		14/07/2022		0,17		7,67	Medio	NE	NE
22	Embalse de Sobrón	01/03/2022	22/02/2022		4,79	1,35	2,88	Alto	ER	NE
22	Embalse de Sobrón	05/07/2022	10/07/2022	4,23	4,85	1,69	2,43	Alto	ER	NE
22	Embalse de Sobrón	07/09/2022	05/09/2022	4,54	4,67	1,76	2,22	Alto	ER	NE
25	Embalse de Búbal		14/07/2022		1,08		4,32	Medio	NE	NE
27	Embalse de Alloz		12/07/2022		2,40		2,72	Medio	NE	NE
34	Embalse de Baserca		14/07/2022		0,20		10,17	Bajo	NE	NE
37	Embalse de Yesa	02/03/2022	01/03/2022		1,92	3,27	2,18	Bajo	NE	NE



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	EVAL RIES	CAMPO	SAT
37	Embalse de Yesa	06/07/2022	07/07/2022	1,09	2,86	1,32	2,83	Bajo	ER	NE
37	Embalse de Yesa	20/09/2022	20/09/2022	2,31	6,21	1,44	1,83	Bajo	ER	ER
37	Embalse de Yesa	14/12/2022	24/12/2022		2,76	0,64	2,57	Bajo	ER	NE
42	Embalse de Mediano		14/07/2022		2,58		2,74	Bajo	NE	NE
43	Embalse de Escales		14/07/2022		0,85		5,42	Medio	NE	NE
44	Embalse de La Peña		14/07/2022		4,30		2,30	Bajo	NE	NE
47	Embalse de El Grado	21/06/2022	19/06/2022	0,41	0,90	8,70	5,95	Medio	NE	NE
50	Embalse de Talarn	24/10/2022	22/10/2022	2,81	5,34	3,50	3,32	Medio	NE	NE
51	Embalse de Vadiello		14/07/2022		10,87		3,37	Bajo	NE	EU
53	Embalse de Oliana	04/03/2022	03/03/2022		7,87	2,25	1,59	Medio	NE	ER
53	Embalse de Oliana	14/06/2022	11/06/2022	4,25	1,89	4,20	4,14	Medio	NE	NE
53	Embalse de Oliana	20/07/2022	19/07/2022	3,66	0,78	3,90	2,91	Medio	NE	NE
53	Embalse de Oliana	21/09/2022	22/09/2022	6,03	6,80	3,06	2,07	Medio	NE	NE
53	Embalse de Oliana	13/12/2022	11/12/2022		3,74	3,65	1,76	Medio	NE	ER
54	Embalse de Montearagón	03/03/2022	01/03/2022		1,74	2,32	2,63	Alto	NE	NE
54	Embalse de Montearagón	07/07/2022	09/07/2022	1,60	2,40	1,77	2,63	Alto	ER	NE
54	Embalse de Montearagón	21/09/2022	22/09/2022	2,46	2,56	1,22	2,70	Alto	ER	NE
55	Embalse de Ardisa		14/07/2022		8,74		1,78	Medio	NE	EU
56	Embalse de Barasona	22/06/2022	19/06/2022	1,87	2,03	3,60	3,10	Medio	NE	NE
58	Embalse de Canelles		14/07/2022		3,45		2,39	Medio	NE	NE
59	Embalse de Terradets		14/07/2022		8,54		1,59	Medio	NE	EU
61	Embalse de Mansilla	07/03/2022	22/02/2022		3,91	2,39	2,91	Medio	NE	EU
61	Embalse de Mansilla	12/07/2022	07/07/2022	0,10	3,37	2,60	2,87	Medio	NE	NE
61	Embalse de Mansilla	15/09/2022	20/09/2022	1,32	4,96	3,96	2,92	Medio	NE	NE
61	Embalse de Mansilla	20/12/2022	21/12/2022		5,41	3,32	2,35	Medio	NE	NE
62	Embalse de La Sotonera		14/07/2022		6,69		1,90	Medio	NE	ER
63	Embalse de Rialb	07/03/2022	01/03/2022		4,57	4,20	1,53	Alto	NE	ER
63	Embalse de Rialb	15/06/2022	19/06/2022	2,90	1,07	1,80	2,41	Alto	EU	NE
63	Embalse de Rialb	20/07/2022	19/07/2022	1,15	3,67	2,00	1,98	Alto	NE	ER
63	Embalse de Rialb	21/09/2022	22/09/2022	11,86	9,46	1,43	1,56	Alto	EU	EU
63	Embalse de Rialb	13/12/2022	11/12/2022		6,68	1,69	1,93	Alto	ER	ER
64	Embalse de Pajares	07/03/2022	22/02/2022		6,01	4,34	3,52	Bajo	NE	NE
64	Embalse de Pajares	11/07/2022	12/07/2022	1,77	1,90	4,01	4,27	Bajo	NE	NE
64	Embalse de Pajares	19/09/2022	20/09/2022	1,47	4,90	3,80	4,08	Bajo	NE	NE
64	Embalse de Pajares	20/12/2022	21/12/2022		5,32	3,12	3,12	Bajo	NE	NE
65	Embalse de Camarasa		14/07/2022		1,82		2,90	Medio	NE	NE
66	Embalse de Santa Ana	24/10/2022	22/10/2022	2,07	3,15	7,50	3,89	Medio	NE	NE
67	Embalse de San Lorenzo	07/03/2022	01/03/2022		2,35	3,15	2,55	Bajo	NE	NE
67	Embalse de San Lorenzo	20/07/2022	19/07/2022	2,72	3,11	2,10	2,77	Bajo	NE	NE
67	Embalse de San Lorenzo	22/09/2022	22/09/2022	4,45	6,15	2,00	1,98	Bajo	NE	ER
67	Embalse de San Lorenzo	14/12/2022	11/12/2022		7,03	2,32	3,47	Bajo	NE	NE
68	Embalse de El Val	04/03/2022	22/02/2022		3,66	4,32	3,11	Alto	NE	NE
68	Embalse de El Val	08/07/2022	17/07/2022	44,50	8,09	1,35	1,93	Alto	EU	EU
68	Embalse de El Val	20/09/2022	20/09/2022	47,70	13,23	1,83	2,21	Alto	EU	EU
68	Embalse de El Val	18/10/2022	15/10/2022	88,92	14,56	1,60	2,32	Alto	EU	EU
68	Embalse de El Val	19/12/2022	24/12/2022		5,72	3,40	2,28	Alto	NE	NE
70	Embalse de Mequinenza	07/03/2022	01/03/2022		6,86	1,90	2,11	Medio	ER	NE



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA	CHLA	ZDS	ZDS	EVAL	RIES	CAMPO	SAT
				CAMPO	SAT	CAMPO	SAT				
70	Embalse de Mequinenza	20/07/2022	19/07/2022	4,05	1,58	3,50	2,57	Medio	NE	NE	NE
70	Embalse de Mequinenza	22/09/2022	12/09/2022	14,83	1,89	3,17	2,09	Medio	EU	ER	ER
71	Embalse de Meزالocha		14/07/2022		4,78		2,29	Medio	NE	NE	NE
72	Embalse de Margalef	19/07/2022	19/07/2022	1,90	0,82	4,00	10,51	Medio	NE	NE	NE
73	Embalse de Ciurana	19/07/2022	19/07/2022	1,00	0,82	2,50	4,09	Medio	NE	NE	NE
74	Embalse de Flix	08/03/2022	01/03/2022		5,91	2,50	1,73	Alto	NE	ER	ER
74	Embalse de Flix	21/07/2022	19/07/2022	1,22	3,03	5,20	2,75	Alto	NE	NE	NE
75	Embalse de Las Torcas	03/03/2022	01/03/2022		2,04	2,72	2,70	Bajo	NE	NE	NE
75	Embalse de Las Torcas	13/07/2022	14/07/2022	1,65	1,13	2,31	3,27	Bajo	NE	NE	NE
75	Embalse de Las Torcas	27/09/2022	27/09/2022	1,26	2,95	1,32	2,47	Bajo	ER	NE	NE
75	Embalse de Las Torcas	15/12/2022	24/12/2022		2,56	1,80	1,85	Bajo	ER	ER	ER
76	Embalse de La Tranquera	14/07/2022	14/07/2022	2,17	2,10	2,39	2,50	Alto	NE	NE	NE
76	Embalse de La Tranquera	26/09/2022	20/09/2022	1,21	2,09	3,60	2,36	Alto	NE	NE	NE
76	Embalse de La Tranquera	19/10/2022	15/10/2022	2,76	2,60	6,30	2,36	Alto	NE	NE	NE
76	Embalse de La Tranquera	16/12/2022	24/12/2022		2,22	2,40	2,07	Alto	NE	NE	NE
77	Embalse de Moneva	03/03/2022	01/03/2022		4,14	2,36	2,36	Medio	NE	NE	NE
77	Embalse de Moneva	13/07/2022	14/07/2022	1,45	4,09	3,41	2,88	Medio	NE	NE	NE
77	Embalse de Moneva	27/09/2022	27/09/2022	4,24	4,89	2,82	1,93	Medio	NE	NE	NE
77	Embalse de Moneva	15/12/2022	24/12/2022		9,07	3,21	2,42	Medio	NE	EU	EU
78	Embalse de Caspe	07/03/2022	01/03/2022		2,91	3,05	2,56	Medio	NE	NE	NE
78	Embalse de Caspe	20/07/2022	19/07/2022	2,00	3,07	2,90	2,44	Medio	NE	NE	NE
78	Embalse de Caspe	22/09/2022	22/09/2022	2,93	5,49	3,82	1,96	Medio	NE	ER	ER
78	Embalse de Caspe	27/11/2022	26/11/2022	3,59	3,96	1,80	1,76	Medio	ER	ER	ER
78	Embalse de Caspe	14/12/2022	24/12/2022		3,33	2,58	2,29	Medio	NE	NE	NE
79	Embalse de Guiamets	22/07/2022	19/07/2022	1,44	0,59	1,50	8,75	Alto	ER	NE	NE
80	Embalse de Cueva Foradada	01/03/2022	01/03/2022		3,57	6,44	2,93	Alto	NE	NE	NE
80	Embalse de Cueva Foradada	19/07/2022	14/07/2022	3,37	2,52	3,60	2,71	Alto	NE	NE	NE
80	Embalse de Cueva Foradada	19/09/2022	22/09/2022	5,41	5,88	4,22	4,01	Alto	NE	NE	NE
80	Embalse de Cueva Foradada	28/11/2022	26/11/2022		6,36	1,70	1,92	Alto	ER	ER	ER
82	Embalse de Calanda	08/03/2022	01/03/2022		1,68	4,30	2,86	Alto	NE	NE	NE
82	Embalse de Calanda	05/07/2022	04/07/2022	1,79	2,77	2,90	2,81	Alto	NE	NE	NE
82	Embalse de Calanda	21/07/2022	19/07/2022	1,52	0,59	3,85	3,48	Alto	NE	NE	NE
82	Embalse de Calanda	27/09/2022	27/09/2022	1,93	3,58	2,70	2,35	Alto	NE	NE	NE
82	Embalse de Calanda	14/12/2022	24/12/2022		2,57	3,95	2,97	Alto	NE	NE	NE
86	Embalse de Itoiz		14/07/2022		1,01		4,23	Medio	NE	NE	NE
87	Embalse de Lechago	08/03/2022	01/03/2022		4,10	5,14	3,75	Medio	NE	NE	NE
87	Embalse de Lechago	13/07/2022	14/07/2022	4,23	3,22	2,74	2,71	Medio	NE	NE	NE
87	Embalse de Lechago	27/09/2022	27/09/2022	4,99	7,47	1,39	2,29	Medio	ER	NE	NE
87	Embalse de Lechago	15/12/2022	24/12/2022		5,98	3,67	8,40	Medio	NE	NE	NE
98	Embalse de Pte de Santolea	01/03/2022	01/03/2022		2,73	2,90	2,60	Medio	NE	NE	NE
98	Embalse de Pte de Santolea	18/07/2022	19/07/2022	0,90	2,67	4,20	2,82	Medio	NE	NE	NE
98	Embalse de Pte de Santolea	19/09/2022	22/09/2022	1,34	1,50	2,96	3,30	Medio	NE	NE	NE
98	Embalse de Pte de Santolea	28/11/2022	26/11/2022		4,30	1,45	2,21	Medio	ER	NE	NE
912	Embalse de Pena	01/03/2022	01/03/2022		3,94	5,42	2,25	Medio	NE	NE	NE
912	Embalse de Pena	18/07/2022	19/07/2022	1,42	4,37	4,60	2,46	Medio	NE	NE	NE
912	Embalse de Pena	19/09/2022	22/09/2022	0,80	7,74	5,89	1,72	Medio	NE	ER	ER
912	Embalse de Pena	28/11/2022	26/11/2022		1,55	2,65	3,69	Medio	NE	NE	NE



MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	EVAL RIESG	CAMPO	SAT
913	Embalse de Gallipuéen	01/03/2022	01/03/2022		4,71	2,05	2,19	Medio	NE	NE
913	Embalse de Gallipuéen	18/07/2022	19/07/2022	1,31	2,83	3,50	2,76	Medio	NE	NE
913	Embalse de Gallipuéen	20/09/2022	22/09/2022	6,17	0,60	2,86	3,32	Medio	NE	NE
913	Embalse de Gallipuéen	29/11/2022	26/11/2022		4,00	2,40	2,48	Medio	NE	NE
916	Embalse de Ortigosa	08/03/2022	22/02/2022		6,79	4,29	2,85	Medio	NE	NE
916	Embalse de Ortigosa	11/07/2022	12/07/2022	1,85	1,12	3,46	6,34	Medio	NE	NE
916	Embalse de Ortigosa	19/09/2022	20/09/2022	2,41	3,54	4,22	3,16	Medio	NE	NE
916	Embalse de Ortigosa	18/10/2022	15/10/2022	2,26	4,55	4,50	3,16	Medio	NE	NE
916	Embalse de Ortigosa	20/12/2022	21/12/2022		8,07	2,41	2,57	Medio	NE	EU
949	Embalse de Ribarroja	08/03/2022	01/03/2022		3,63	3,00	2,20	Medio	NE	NE
949	Embalse de Ribarroja	21/07/2022	19/07/2022	11,96	5,89	3,60	2,64	Medio	EU	NE
949	Embalse de Ribarroja	22/09/2022	22/09/2022	14,68	9,58	1,60	1,88	Medio	EU	EU
949	Embalse de Ribarroja	16/11/2022	11/11/2022		8,70	1,45	1,57	Medio	ER	EU
949	Embalse de Ribarroja	26/11/2022	26/11/2022	1,11	1,73	1,50	1,55	Medio	ER	ER
949	Embalse de Ribarroja	15/12/2022	24/12/2022		7,18	3,20	1,89	Medio	NE	ER
986	Bachimaña Alto		14/07/2022		3,19		5,44	Bajo		NE
996	Estany de Sant Maurici	02/09/2022	28/08/2022	1,13	0,24	15,50	8,98	Medio	NE	NE
1002	Tramacastilla de Tena	06/07/2022	09/07/2022	3,16	3,27	1,62	2,51	Alto	ER	NE
1002	Tramacastilla de Tena	21/09/2022	22/09/2022	2,30	2,04	3,28	3,17	Alto	NE	NE
1003	Ibón recrecido de Ip		14/07/2022		0,66		7,10	Medio		NE
1020	Lac Major de Colomers	07/09/2022	28/08/2022	1,68	2,06	7,30	6,60	Medio	NE	NE
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	08/03/2022	01/03/2022		1,82	1,35	2,53	Alto	ER	NE
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	21/07/2022	19/07/2022	4,07	4,66	1,00	2,21	Alto	ER	NE
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	27/09/2022	27/09/2022	5,36	12,20	0,56	1,54	Alto	ER	EU
1022	Embalse Estanca de Alcañiz	14/12/2022	24/12/2022		3,65	3,34	2,22	Alto	NE	NE
1033	Embalse de Resposuso		14/07/2022		0,41		7,32	Medio		NE
1039	Embalse de Brazato		14/07/2022		0,72		6,07	Medio		NE
1043	Estany de Cavallers	09/09/2022	28/08/2022	1,74	1,38	11,50	6,69	Medio	NE	NE
1049	Embalse de Balaguer		14/07/2022		13,70		2,30	Medio		EU
1051	Embalse de Escarra		14/07/2022		0,67		5,06	Medio		NE
1052	Embalse de Sallente		14/07/2022		0,92		9,48	Bajo		NE
1053	Embalse de Llauset		14/07/2022		0,32		8,14	Medio		NE
1679	Humedal de Utchesa-Seca	28/02/2022	01/03/2022		3,58	2,20	0,71	Alto	NE	ER
1679	Humedal de Utchesa-Seca	19/07/2022	19/07/2022	31,40	6,80	0,70	1,48	Alto	EU	ER
1680	La Loteta	03/03/2022	01/03/2022		5,21	1,69	2,17	Bajo	ER	NE
1680	La Loteta	07/07/2022	07/07/2022	7,06	13,31	0,90	1,48	Bajo	ER	EU
1680	La Loteta	20/09/2022	02/10/2022	2,68	7,01	1,18	2,04	Bajo	ER	NE
1680	La Loteta	19/12/2022	21/12/2022		5,42	1,59	2,83	Bajo	ER	NE
1681	Monteagudo de las Vicarías	09/03/2022	01/03/2022		2,70	1,32	2,43	Medio	ER	NE
1681	Monteagudo de las Vicarías	14/07/2022	12/07/2022	1,42	2,70	1,10	1,43	Medio	ER	ER
1681	Monteagudo de las Vicarías	26/09/2022	20/09/2022	3,19	7,04	0,72	1,81	Medio	ER	ER
1681	Monteagudo de las Vicarías	16/12/2022	24/12/2022		6,63	1,78	2,05	Medio	ER	NE
1804	Embalse de Maidevera	04/03/2022	22/02/2022		1,54	2,33	1,62	Alto	NE	ER
1804	Embalse de Maidevera	08/07/2022	10/07/2022	3,14	1,83	2,38	1,35	Alto	NE	ER
1804	Embalse de Maidevera	26/09/2022	20/09/2022	5,41	2,26	2,54	1,33	Alto	NE	ER
1804	Embalse de Maidevera	16/12/2022	24/12/2022		3,52	2,19	1,40	Alto	NE	ER
1807	San Salvador	12/11/2022	11/11/2022	1,60	4,73	1,50	2,21	Medio	ER	NE

A continuación, se presenta en la siguiente figura 9 como ejemplo el estado trófico del embalse de Yesa el 20 de septiembre de 2022 en las variables de calidad de transparencia y clorofila-a, así como la materia en suspensión.

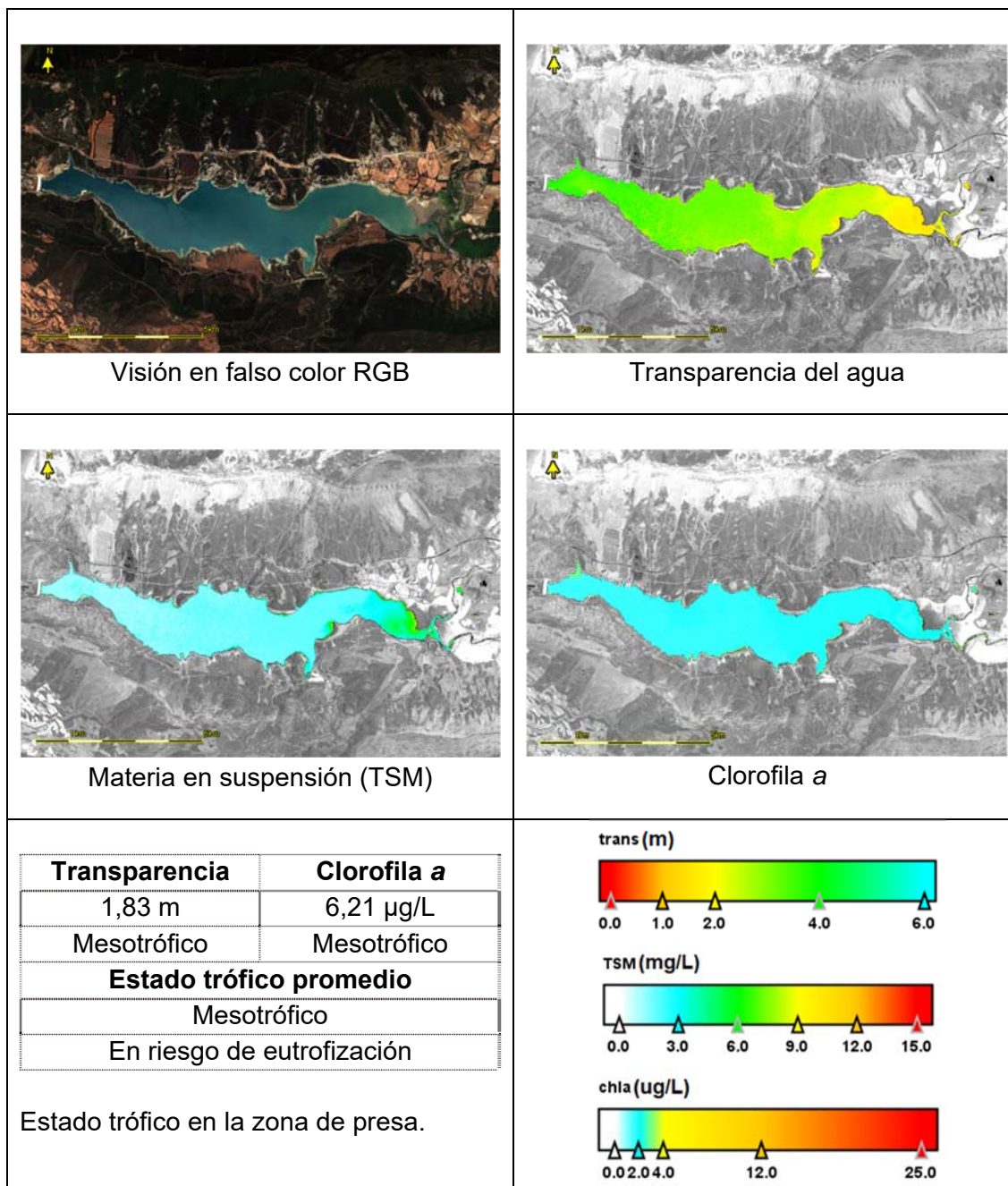


Figura 9. Estado trófico del embalse de Yesa mediante la transparencia, materia en suspensión y clorofila a en el embalse de Yesa el 20 de septiembre de 2022.



3.7. ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS LAGOS

Con respecto a los dieciséis lagos estudiados, los valores obtenidos en la comparativa de campo y satélite se han utilizado tanto la medida de la transparencia del agua, como la concentración de clorofila en los casos que se tenía estos resultados de campo. En cinco casos se ha estimado el estado a partir del satélite únicamente, presentando la Tabla 11 los valores de estado trófico y la tabla 12 el estudio de riesgo de eutrofización.

Tabla 11. 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).

MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	SS CAMPO	SS SAT
965	Estany Romedo de Baix	04/08/2022	03/08/2022		0,56	10,00	10,42	1,00	1,26
970	Lac Redon		14/07/2022		1,51		8,70		1,67
979	Estany Fondo	03/08/2022	03/08/2022	0,28	0,31	21,10	7,19	39,00	1,16
983	Ibón de Cregüeña		03/08/2022		0,96		5,89		1,40
990	Laguna Salada de Chiprana	28/02/2022	01/03/2022		10,61	1,88	1,11	33,00	5,51
990	Laguna Salada de Chiprana	12/07/2022	14/07/2022	5,82	6,75	2,10	2,18	9,00	3,87
990	Laguna Salada de Chiprana	20/09/2022	22/09/2022		6,43	2,24	1,68	30,00	3,74
990	Laguna Salada de Chiprana	20/11/2022	26/11/2022		10,30	2,00	1,56	411,00	5,38
1001	Lago de Urdiceto		03/08/2022		1,62		6,89		3,09
1008	Estany Negre (Espot)		03/08/2022		3,63		6,28		2,47
1010	Estany de la Gola	07/09/2022	28/08/2022	1,02	0,43	16,00	12,58	2,50	1,21
1016	Laguna de Pitillas	04/05/2022	13/05/2022	75,57	27,60	0,22	2,26	47,00	12,69
1016	Laguna de Pitillas	30/06/2022	26/06/2022	86,98	21,41	0,13	1,72	200,00	10,40
1016	Laguna de Pitillas	02/12/2022	16/11/2022		32,27	0,15	0,68	624,00	15,06
1018	Lac Tort de Rius	08/09/2022	28/08/2022	4,03	1,64	9,50	3,62	1,00	1,72
1019	Lago Arreo	03/03/2022	22/02/2022		15,32	8,05	2,16	2,50	7,50
1019	Lago Arreo	07/07/2022	10/07/2022	2,03	9,21	3,10	2,96	6,30	4,91
1019	Lago Arreo	08/09/2022	05/09/2022	3,81	10,61	2,74	2,71	2,70	5,51
1019	Lago Arreo	02/12/2022	26/11/2022		7,78	2,84	4,77	1,00	4,31
1027	Lago de Marboré		03/08/2022		2,55		3,40		2,27
1032	Estany de Certascan	04/08/2022	03/08/2022	1,65	1,03	14,90	6,34	1,00	1,46
1035	Laguna de Lor	05/05/2022	10/05/2022	12,67	17,66	2,60	2,73	5,70	8,48
1035	Laguna de Lor	28/06/2022	02/07/2022	4,07	9,41	4,50	1,17	1,00	5,00
1040	Estany Major de la Gallina	31/08/2022	28/08/2022	1,59	0,52	20,00	7,18	2,30	1,24
1646	Estany Gran de Mainera	06/09/2022	28/08/2022		3,01	9,10	4,42	1,00	2,30



Se puede observar que la coincidencia de los estados es alta en el caso de la transparencia, pero no es así en el caso de la clorofila. A pesar de que hay una diferencia de hasta diez días entre las dos medidas, en general las coincidencias de estado son correctas. 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.

Tabla 12. 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 eutrófico EU (naranja) y no eutrófico NE (verde). Se indica la evaluación del riesgo de incumplir los objetivos medioambientales de la DMA.

MASA	EMBALSE	F/CAMPO	F/SAT	CHLA CAMPO	CHLA SAT	ZDS CAMPO	ZDS SAT	EVAL RIES	CAMPO	SAT
965	Estany Romedo de Baix	04/08/2022	03/08/2022		0,56	10,00	10,42	Medio	NE	NE
970	Lac Redon		14/07/2022		1,51		8,70	Bajo		NE
979	Estany Fondo	03/08/2022	03/08/2022	0,28	0,31	21,10	7,19	Bajo	NE	NE
983	Ibón de Cregüeña		03/08/2022		0,96		5,89	Bajo		NE
990	Laguna Salada de Chiprana	28/02/2022	01/03/2022		10,61	1,88	1,88	Medio	ER	EU
990	Laguna Salada de Chiprana	12/07/2022	14/07/2022	5,82	6,75	2,10	2,18	Medio	NE	NE
990	Laguna Salada de Chiprana	20/09/2022	22/09/2022		6,43	2,24	1,68	Medio	NE	ER
990	Laguna Salada de Chiprana	20/11/2022	26/11/2022		10,30	2,00	1,56	Medio	NE	EU
1001	Lago de Urdiceto		03/08/2022		1,62		6,89	Alto		NE
1008	Estany Negre (Espot)		03/08/2022		3,63		6,28	Medio		NE
1010	Estany de la Gola	07/09/2022	28/08/2022	1,02	0,43	16,00	12,58	Medio	NE	NE
1016	Laguna de Pitillas		22/02/2022		24,61		1,26	Medio		EU
1016	Laguna de Pitillas	30/06/2022	22/06/2022	86,98	21,41	0,13	1,72	Medio	EU	EU
1016	Laguna de Pitillas	02/12/2022	16/11/2022		32,27	0,15	0,68	Medio	ER	EU
1018	Lac Tort de Rius	08/09/2022	28/08/2022	4,03	1,64	9,50	3,62	Bajo	NE	NE
1019	Lago Arreo	03/03/2022	22/02/2022		15,32	8,05	2,16	Medio	NE	EU
1019	Lago Arreo	07/07/2022	10/07/2022	2,03	9,21	3,10	2,96	Medio	NE	EU
1019	Lago Arreo	08/09/2022	05/09/2022	3,81	10,61	2,74	2,71	Medio	NE	EU
1019	Lago Arreo	02/12/2022	26/11/2022		7,78	2,84	4,77	Medio	NE	NE
1027	Lago de Marboré		03/08/2022		2,55		3,40	Medio		NE
1032	Estany de Certascan	04/08/2022	03/08/2022	1,65	1,03	14,90	6,34	Bajo	NE	NE
1035	Laguna de Lor	05/05/2022	10/05/2022	12,67	17,66	2,60	2,73	Medio	EU	EU
1035	Laguna de Lor	28/06/2022	02/07/2022	4,07	9,41	4,50	1,17	Medio	NE	EU
1040	Estany Major de la Gallina	31/08/2022	28/08/2022	1,59	0,52	20,00	7,18	Bajo	NE	NE
1646	Estany Gran de Mainera	06/09/2022	28/08/2022		3,01	9,10	4,42	Bajo	NE	NE



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 desde 2016 a 2022. En este caso, se ha tenido acceso a las variables de transparencia, concentración de clorofila-a y sólidos en suspensión. 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 los datos totales, en este caso 298 medidas. La transparencia medida en satélite con la medida en el campo ha mostrado una correlación positiva de $R^2=0,6954$ con la siguiente recta de ajuste (figura 10).

En el caso de la clorofila-a se utilizaron los datos de campo tomados principalmente en fechas primaverales y estivales, ya que de los otros períodos no hay apenas datos. En total, la validación se ha realizado con el total de 173 muestras, y se ha obtenido una correlación positiva con un $R^2=0,4920$, con la siguiente recta de ajuste (figura 11).

En el caso de los sólidos en suspensión se utilizaron los datos de campo tomados a lo largo de todo el año, realizando la validación con todos los datos que se encuentran por debajo de 20 mg/L tal y como se había propuesto en la recta de calibración, lo que supone un total de 132 datos, obteniendo una correlación positiva con un $R^2=0,3967$, con la siguiente recta de ajuste (figura 12).

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

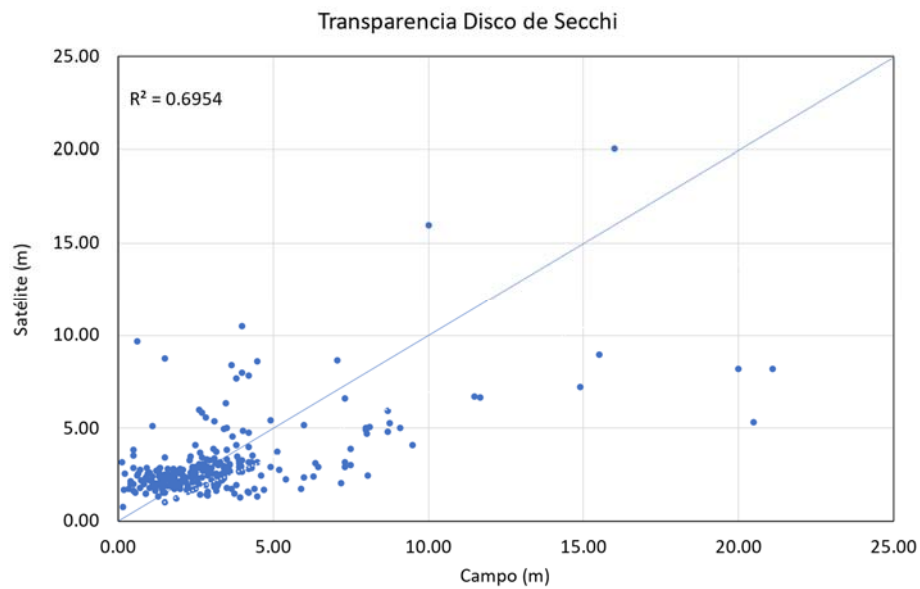


Figura 10. Gráfico de correlación los valores obtenidos de transparencia tomados en campo y mediante el satélite.

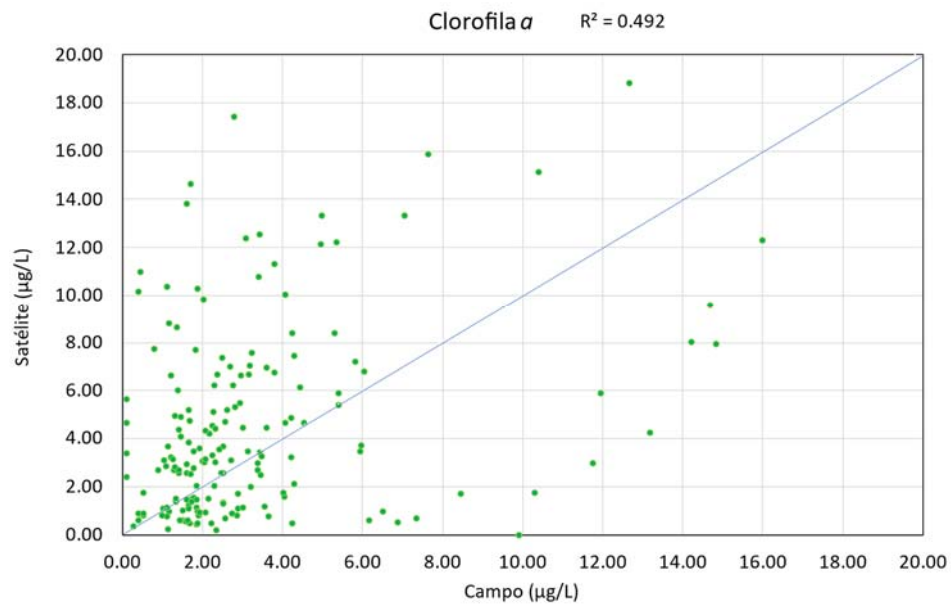


Figura 11. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de clorofila-a tomados en campo y mediante el satélite.

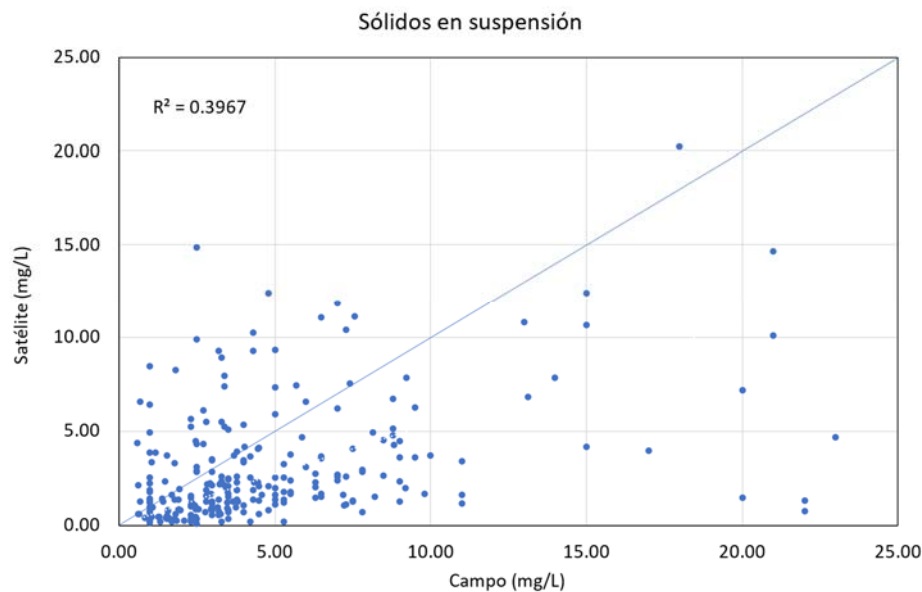


Figura 12. Gráfico de correlación entre los valores obtenidos de sólidos en suspensión tomados en campo y mediante el satélite.

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 6), y, después se ha realizado lo mismo con los valores hallados mediante el satélite.

En las tablas 7 y 8, 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 ultraoligotrófico en color azul, 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 2021 con menos embalses, mientras que en la tabla calculada a partir de los datos de campo se encontraron todos los 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 2022, 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 el Humedal de Utchesa Seca, 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 13 a 15 como ejemplo un mapa resumen del embalse de Cueva Foradada en el que se representa una visualización de mapa de calidad de clorofila-a, transparencia y sólidos en suspensión utilizando las ecuaciones calibradas para febrero, mayo, julio y noviembre de 2022 pudiendo observar el estado trófico del embalse en las cuatro estaciones del año.

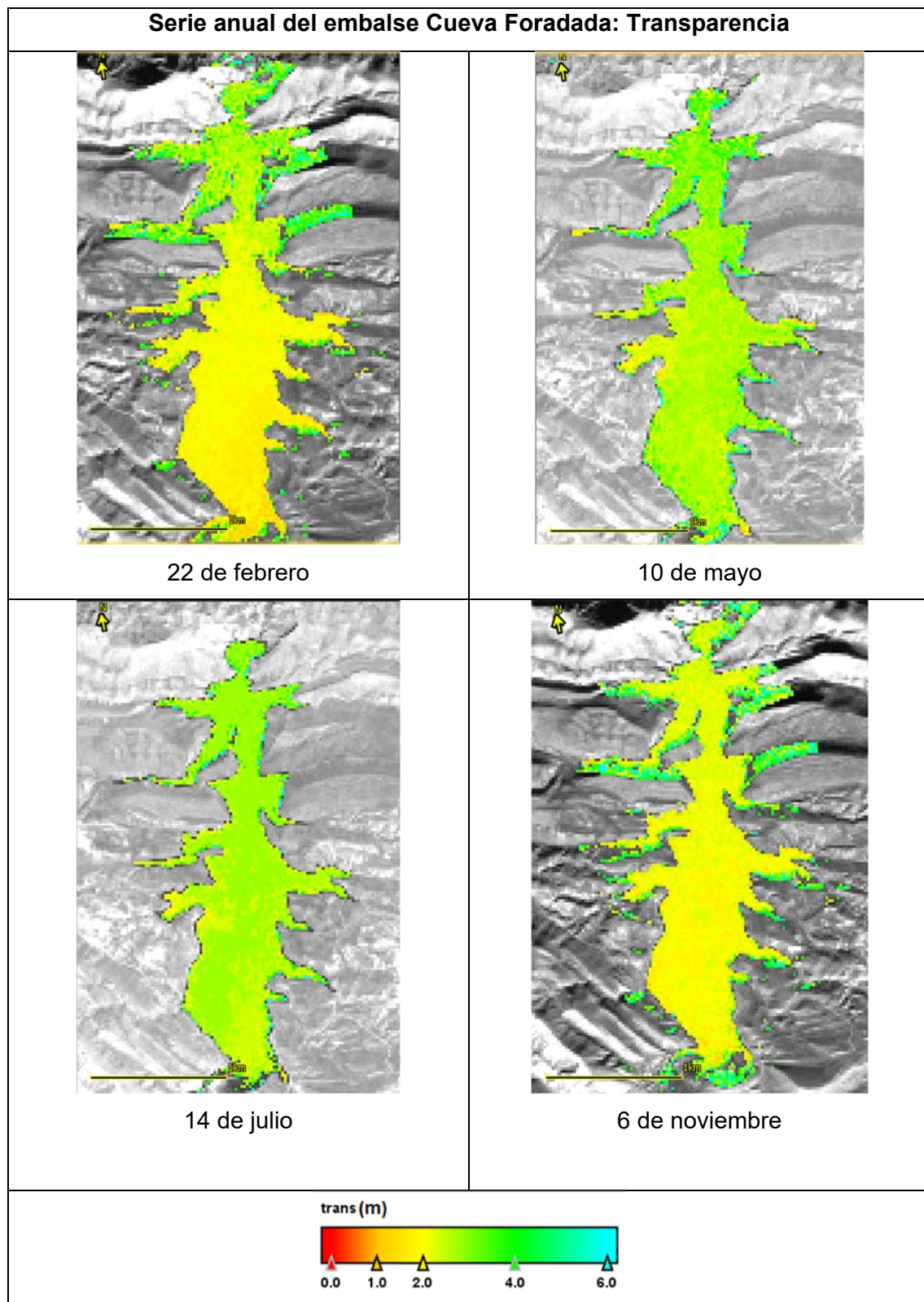


Figura 13. Evolución anual de la transparencia del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.

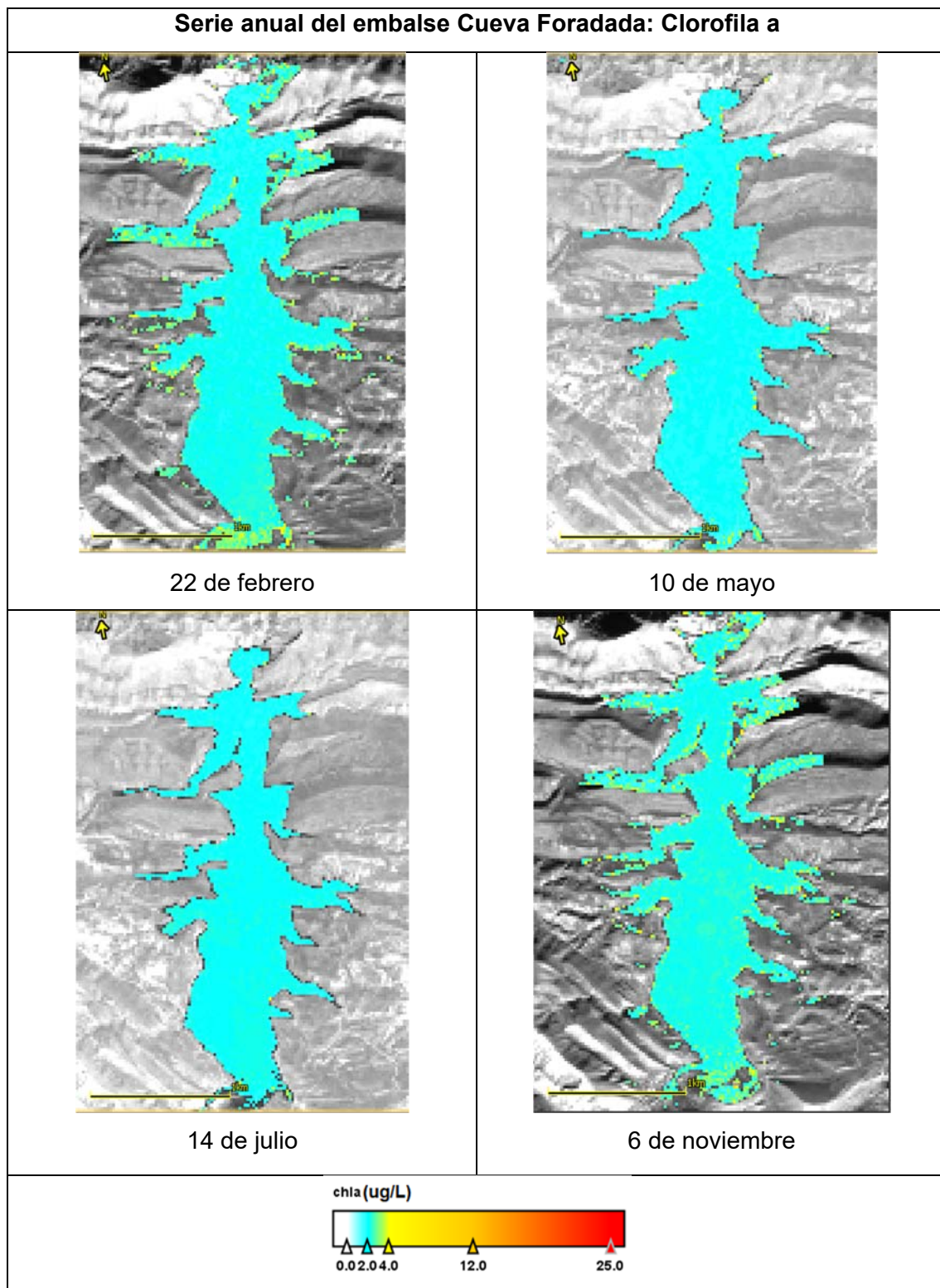


Figura 14. Evolución anual de la Clorofila a del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.

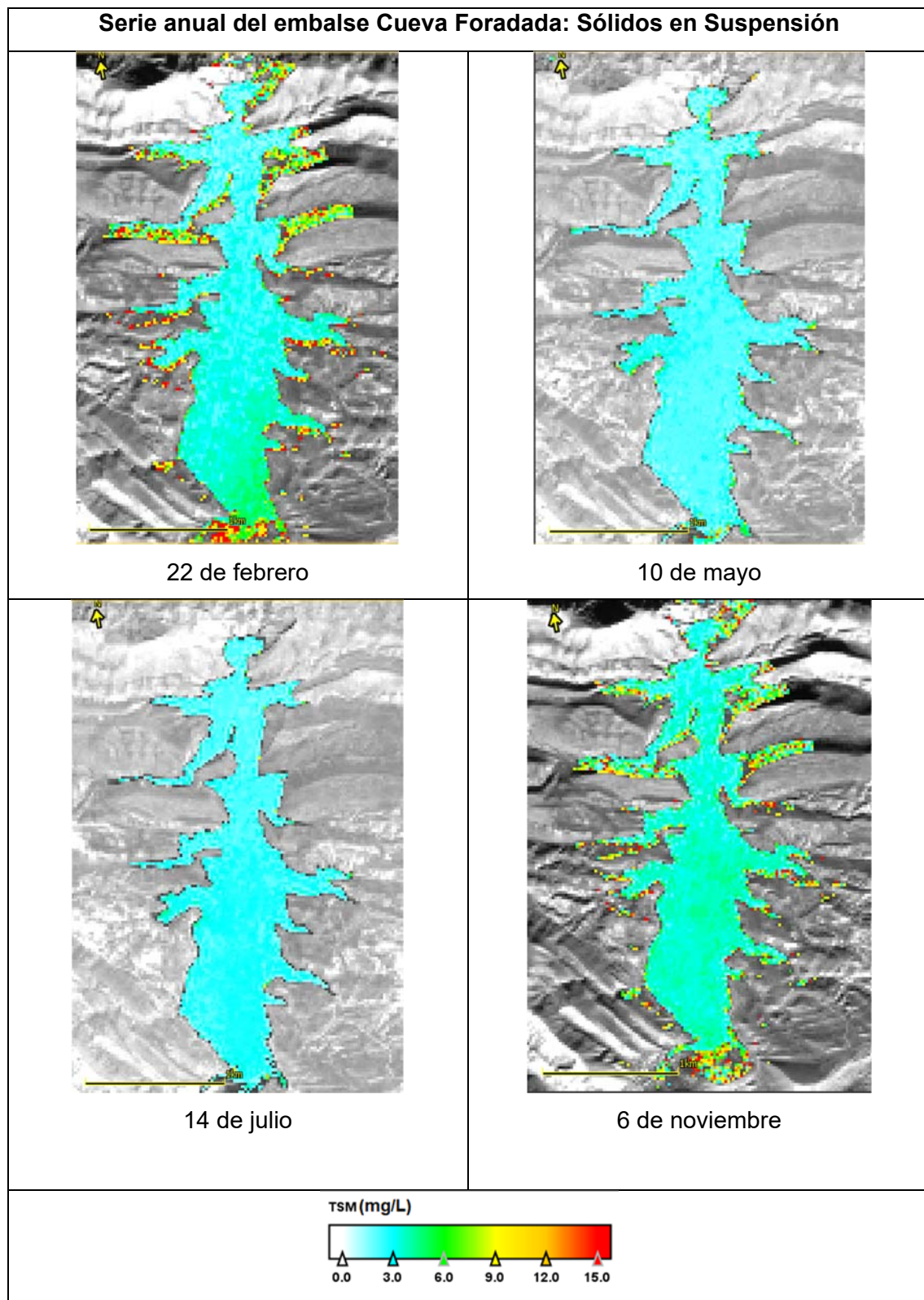


Figura 15. Evolución anual de sólidos en suspensión del embalse de Cueva Foradada. (A) 22 de febrero, (B) 10 de mayo, (C) 14 de julio y (D) 06 de noviembre.



5. PROPUESTAS A MEJORAR

Para futuros estudios es necesario obtener más datos de campo en embalses y lagos 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. No obstante es probable que sea posible obtener ecuaciones propias para uno o varios embalses, dadas la diferentes características ópticas que se observa entre ellos.

Con respecto a la estima del riesgo de eutrofización, una propuesta a mejorar sería incluir el valor de fósforo total para determinar el estado trófico tanto con datos de campo y así intentar una aproximación semicuantitativa con las imágenes de satélite, ya que así el criterio de evaluación se ajustaría más al RD 47/2022.

También se ha observado en el estudio de 2022 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.

Para futuros estudios se prevé diseñar unos modelos mediante herramientas de *Machine Learning*, que permitan crear un sistema de decisiones para así poder conocer, antes del procesado, las características ópticas de las masas de agua y aplicar los algoritmos que mejor se ajusten para cada uno de ellos. Con este procedimiento, separando las masas de agua según sus propiedades ópticas *a priori*, se pueden llegar a obtener R^2 muy cercanas a 1.



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 en su mayor parte 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.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Espacial Europea (ESA). (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. K. Fletcher (ed.). ESA Communications, Noordwijk. The Netherlands, 77 pp.

Beck, R., Xu, M., Zhan, S., Liu, H., Johansen, R., Tong, S., Yang, B., Shu, S., Wu, Q., Wang, S., Berling, K., Murray, A., Emery, E., Reif, M., Harwood, J., Young, J., Martin, M., Stillings, G., Stumpf, R., Su, H., Ye, Z., & Huang, Y. (2017). Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating phycocyanin values and cyanobacterial total biovolume in a temperate reservoir using



coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations. *Remote Sensing*, 9(6), 538.

Boletín Oficial del Estado (BOE). (2001) Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. BOE nº 173: 26791-26817, de 24 de julio de 2001. Madrid.

Boletín Oficial del Estado (BOE). (2015). Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE nº 219: 80582-80677, de 12 de septiembre de 2015. Madrid.

Boletín Oficial del Estado (BOE). (2022). Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE nº 17: 20 págs, de 20 de enero de 2022. Madrid.

Cheng, C., Zhang, F., Shi, J., & Kung, H. T. (2022). What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 56887-56907.

Dall'Olmo, G., Gitelson, A. A., & Rundquist, D. C. (2003). Towards a unified approach for remote estimation of chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters. *Geophysical Research Letters*, 30(18), 1938.

Delegido, J., Tenjo, C., Ruiz-verdú, A., Peña, R., & Moreno, J. (2014). Modelo empírico para la determinación de clorofila-a en aguas continentales a partir de los futuros Sentinel-2 y 3. Validación con imágenes HICO. *Revista de Teledetección*, (41), 37-47.

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

Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE). (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE nº L 327: 1-73, de 22 de diciembre de 2000. Bruselas.



Gurlin, D., Gitelson, A. A., & Moses, W. J. (2011). Remote estimation of Chl-a concentration in turbid productive waters—Return to a simple two-band NIR-red model?. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3479-3490.

Kutser, T. (2012). The possibility of using the Landsat image archive for monitoring long time trends in coloured dissolved organic matter concentration in lake waters. *Remote Sensing of Environment*, 123, 334-338.

Matthews, M.W. (2011). A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near coastal transitional waters. *International Journal of Remote Sensing*, 32(21), 6855-6899.

Pereira-Sandoval, M., Urrego, E. P., Ruiz-Verdu, A., Tenjo, C., Delegido, J., Soria-Perpinya, X., Vicente, E., Soria, J., Moreno J. & Moreno, J. (2019). Calibration and validation of algorithms for the estimation of chlorophyll-a concentration and Secchi depth in inland waters with Sentinel-2. *Limnetica*, 38(1), 471-487.

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

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

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

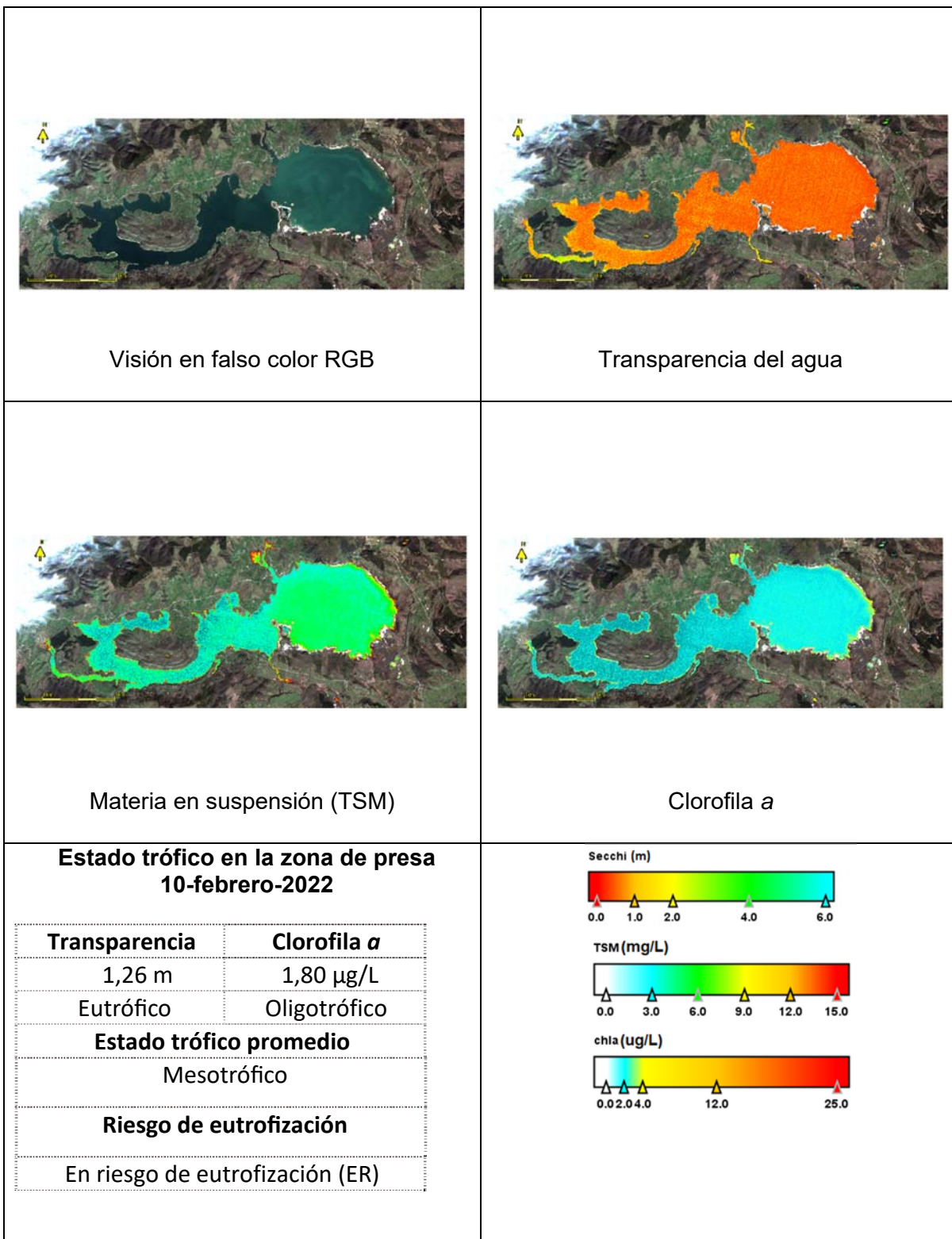
Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Urrego, P., Pereira-Sandoval, M., Ruíz-Verdú, A., Delegido, J., ... & Moreno, J. (2020). Remote sensing of cyanobacterial blooms in a hypertrophic lagoon (Albufera of València, Eastern Iberian Peninsula) using multitemporal Sentinel-2 images. *Science of the Total Environment*,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

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

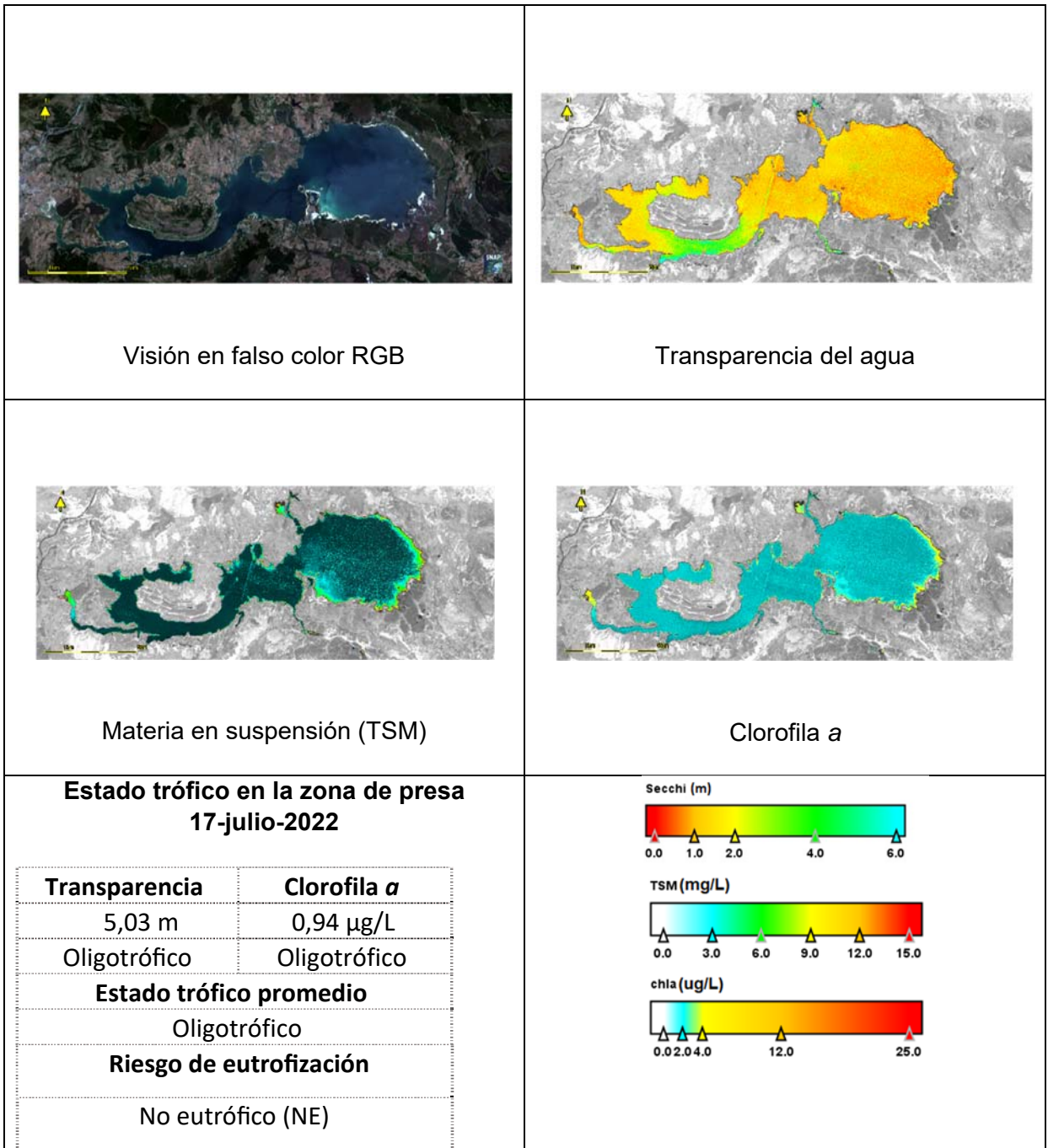


ANEXO 1. FICHAS DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS

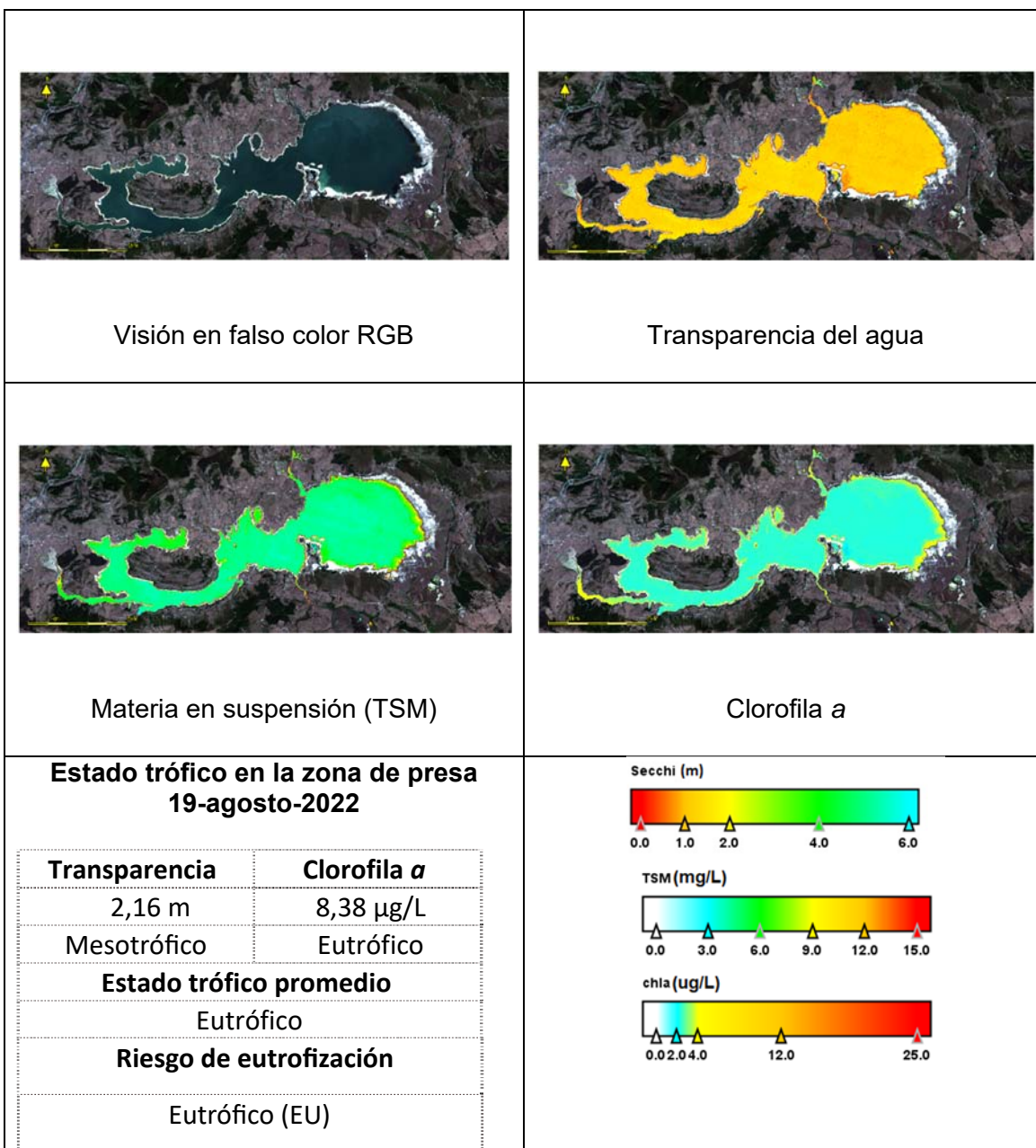
MASA 1. EMBALSE DEL EBRO



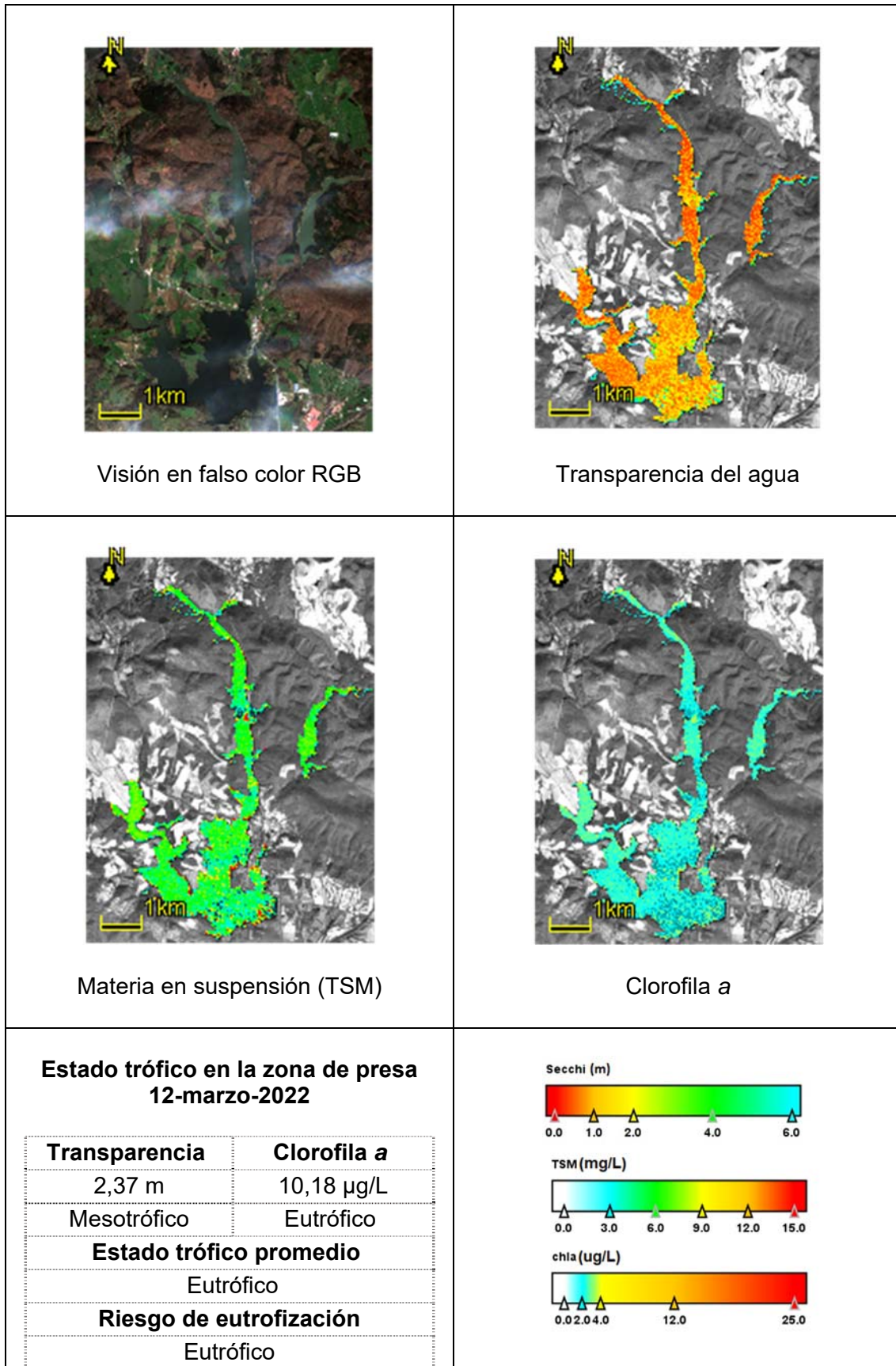
MASA 1. EMBALSE DEL EBRO



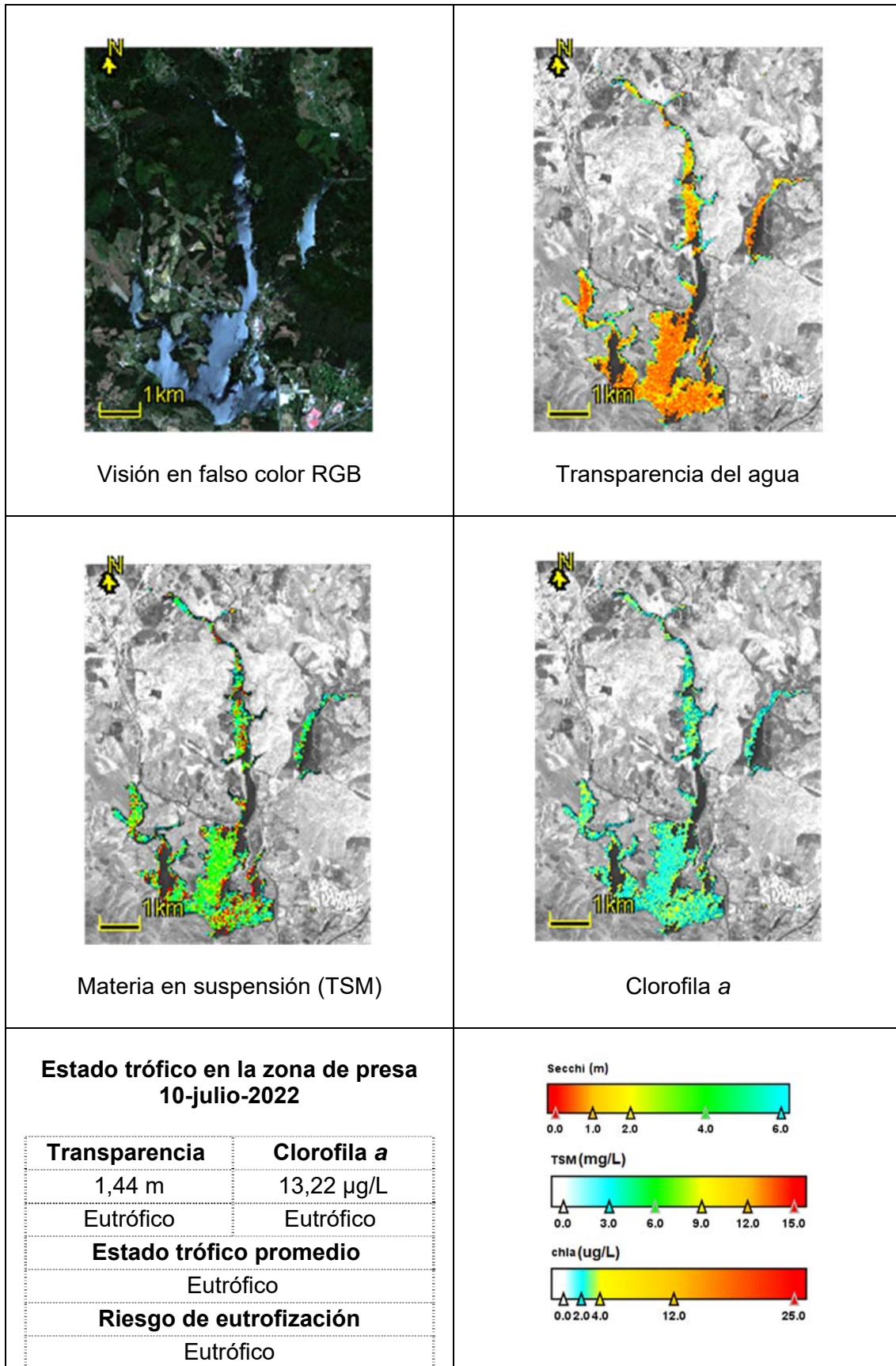
MASA 1. EMBALSE DEL EBRO



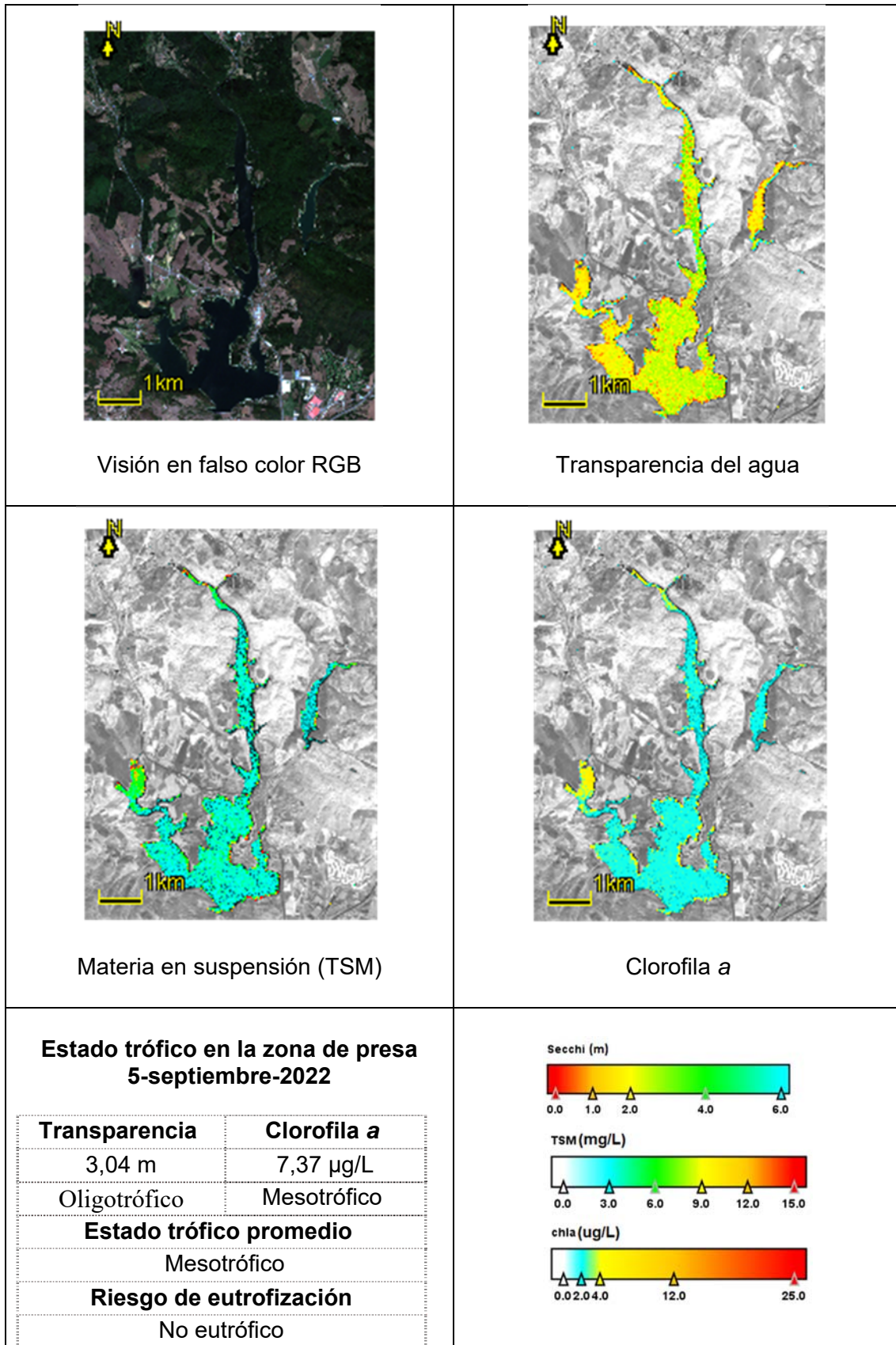
MASA 2. EMBALSE DE URRÚNAGA.



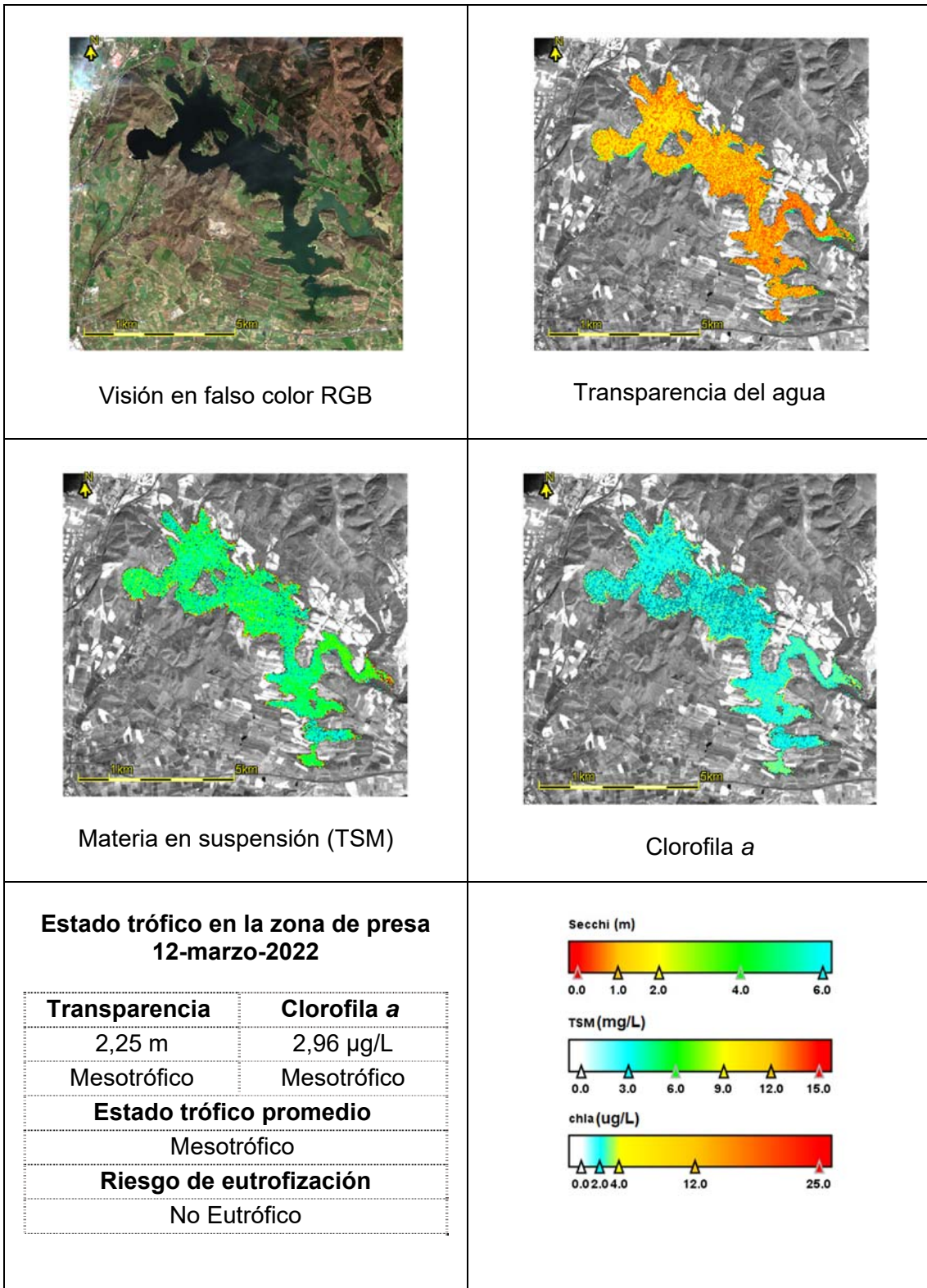
MASA 2. EMBALSE DE URRÚNAGA.



MASA 2. EMBALSE DE URRÚNAGA.



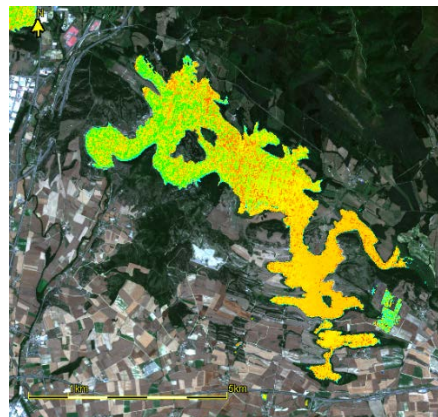
MASA 7. EMBALSE DE ULLÍVARRI-GAMBOA



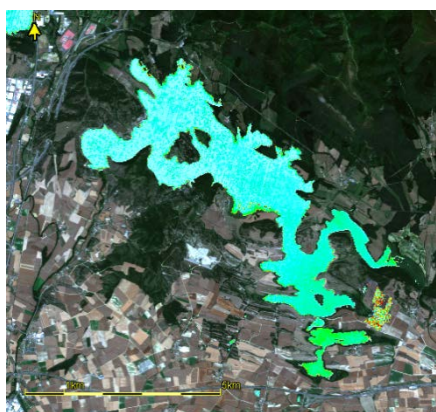
MASA 7. EMBALSE DE ULLÍVARRI-GAMBOA



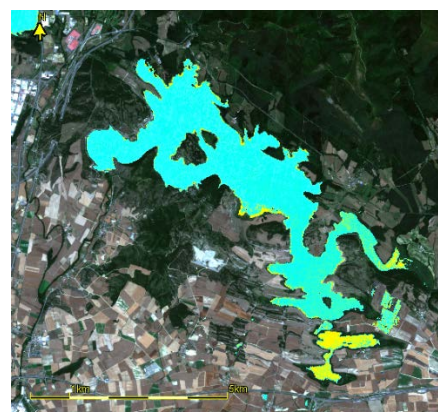
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



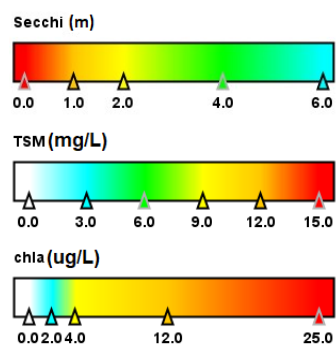
Materia en suspensión (TSM)



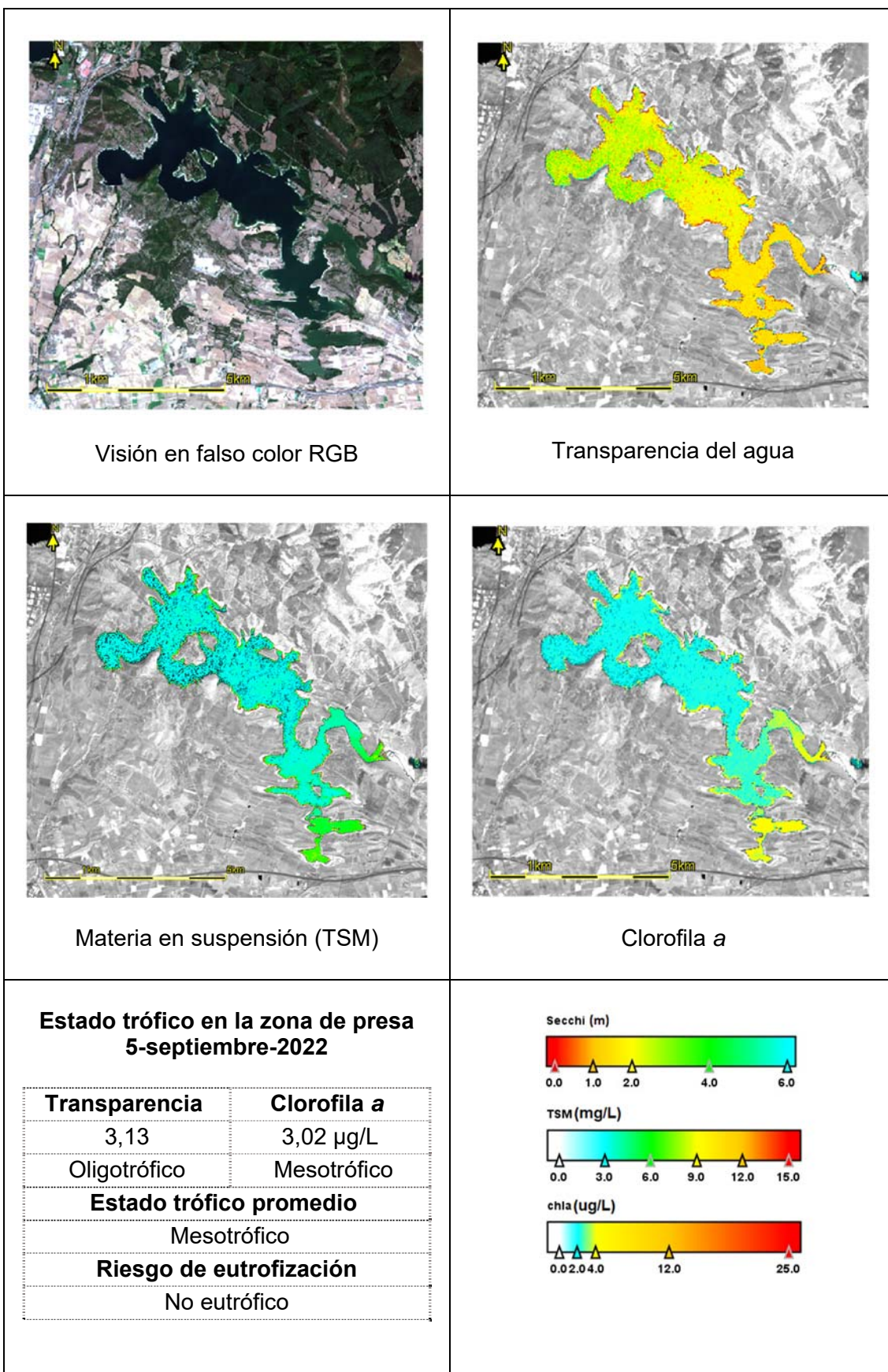
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
12-julio-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,96 m	2,03 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



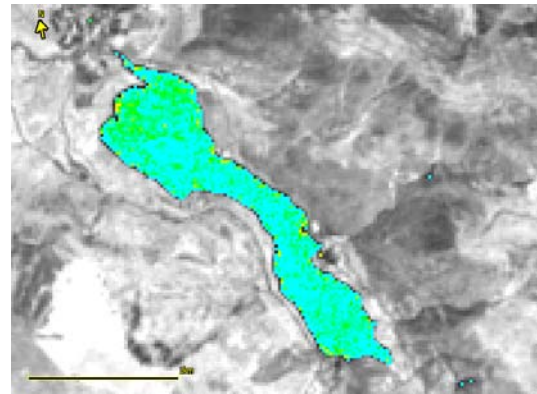
MASA 7. EMBALSE DE ULLÍVARRI-GAMBOA



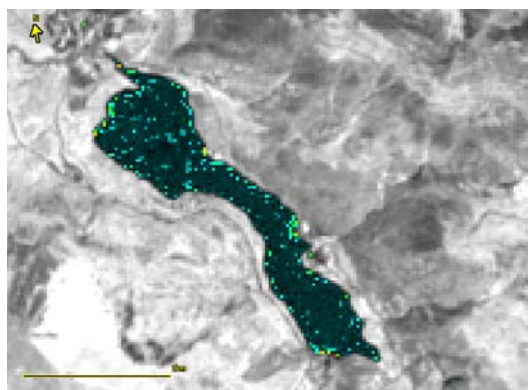
MASA 19. EMBALSE DE LANUZA



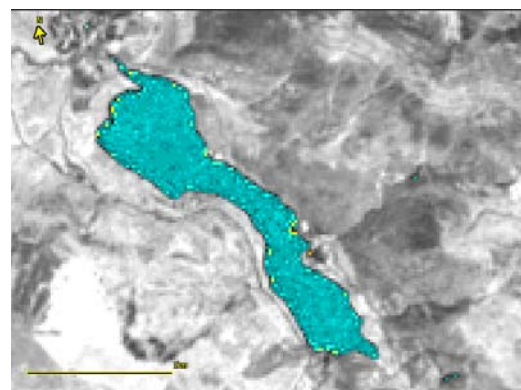
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



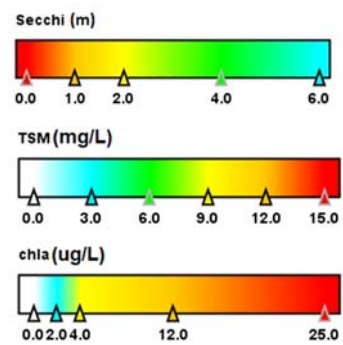
Materia en suspensión (TSM)



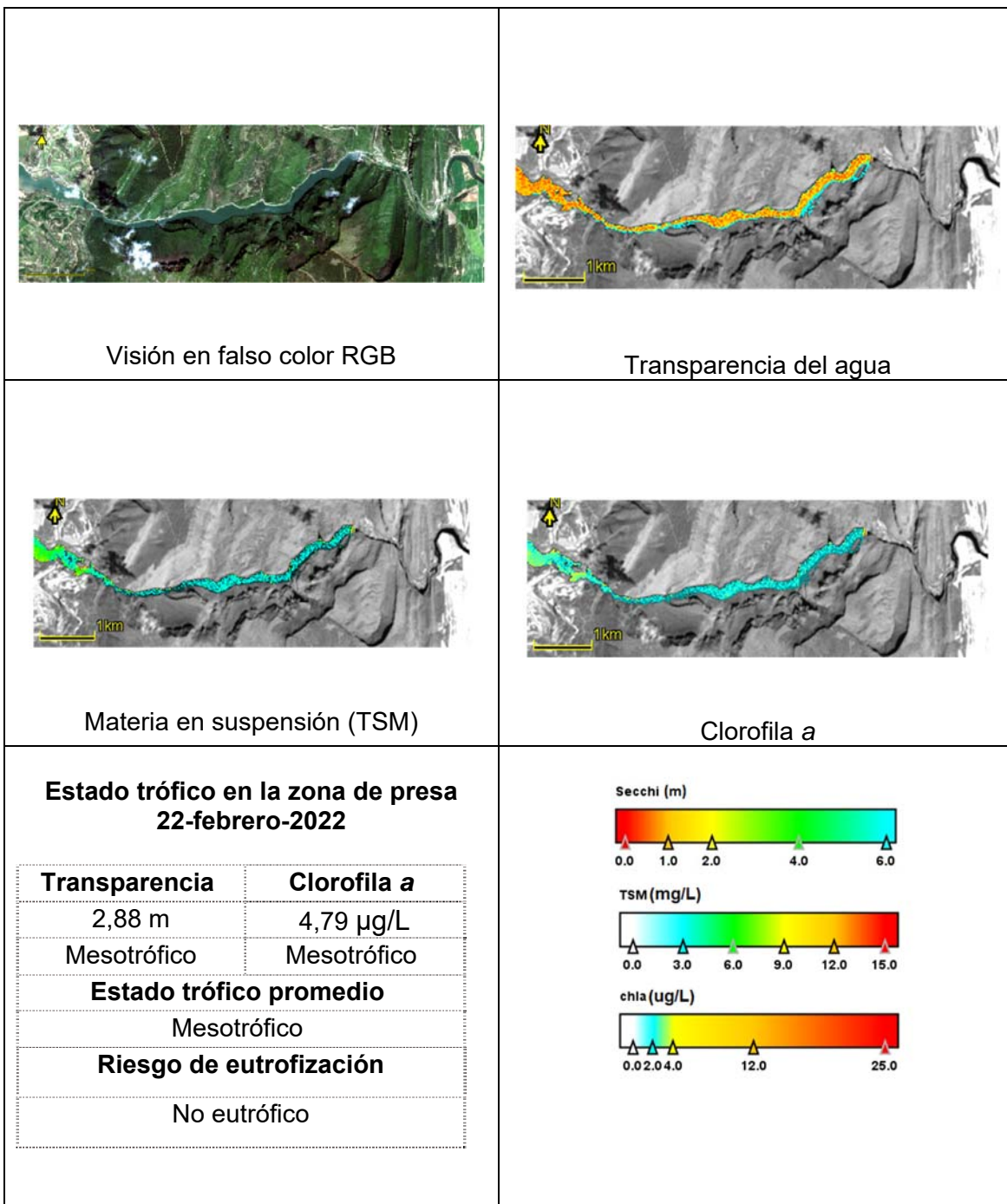
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

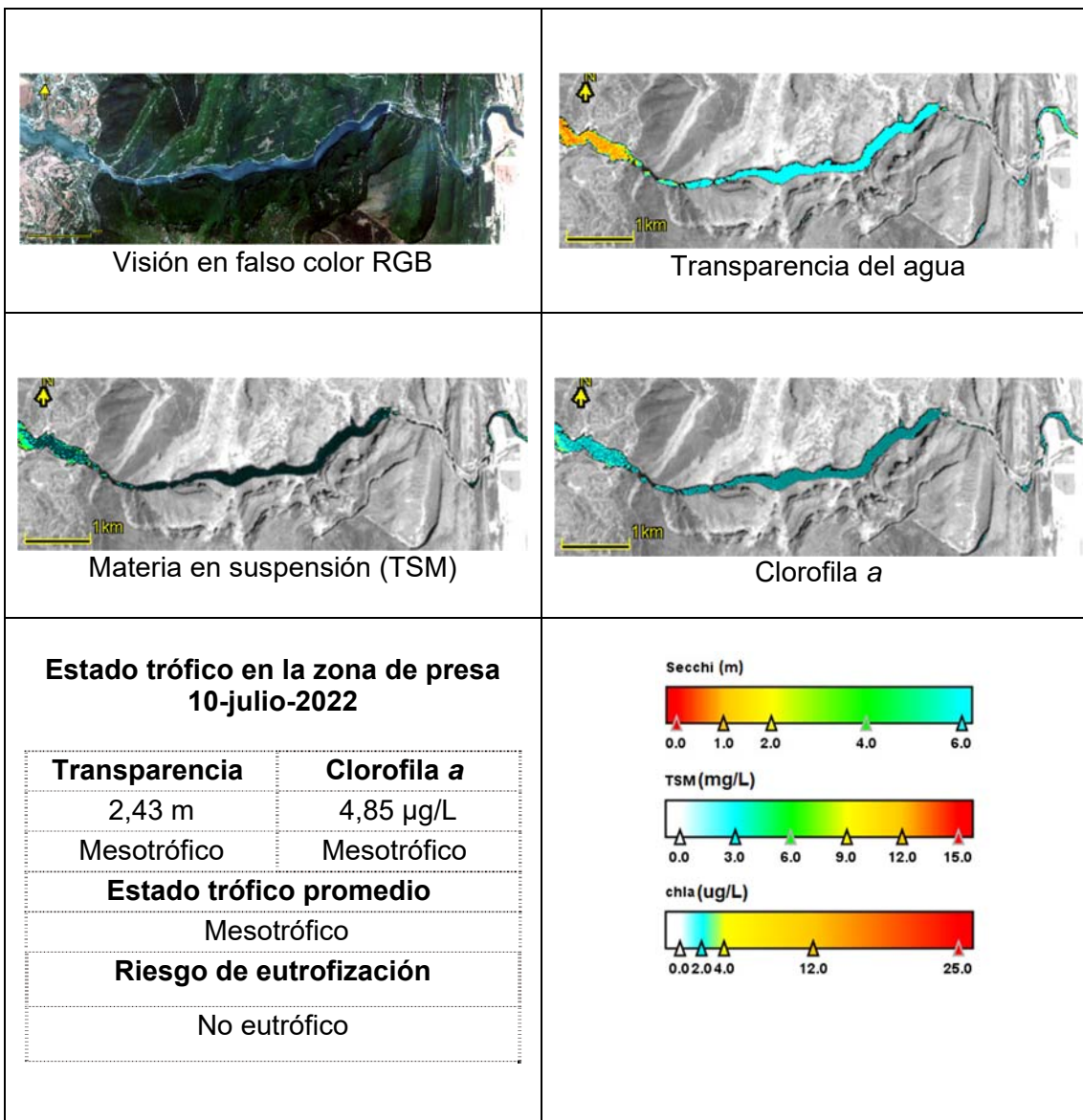
Transparencia	Clorofila a
7,67 m	0,17 µg/L
Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
Estado trófico promedio	
Ultraoligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



MASA 22. EMBALSE DE SOBRÓN



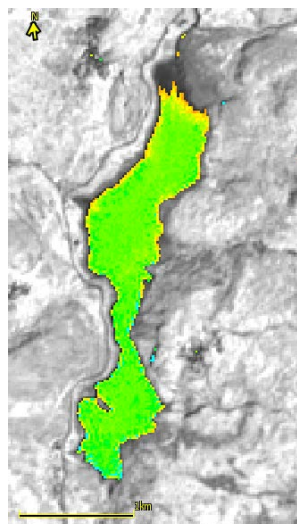
MASA 22. EMBALSE DE SOBRÓN



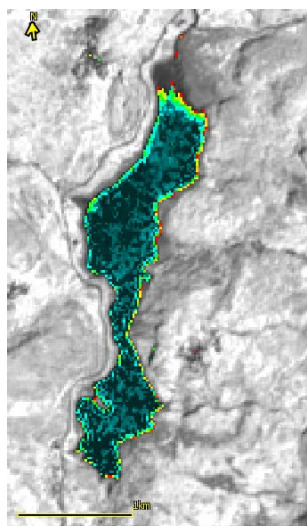
MASA 25. EMBALSE DE BÚBAL



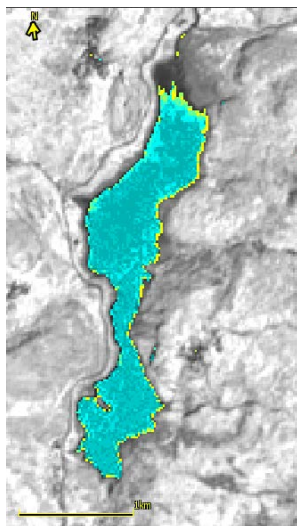
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



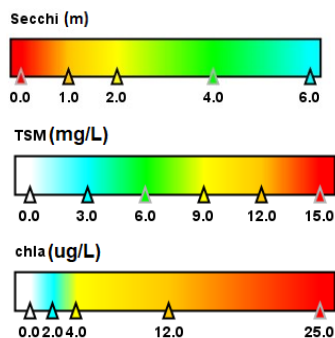
Materia en suspensión (TSM)



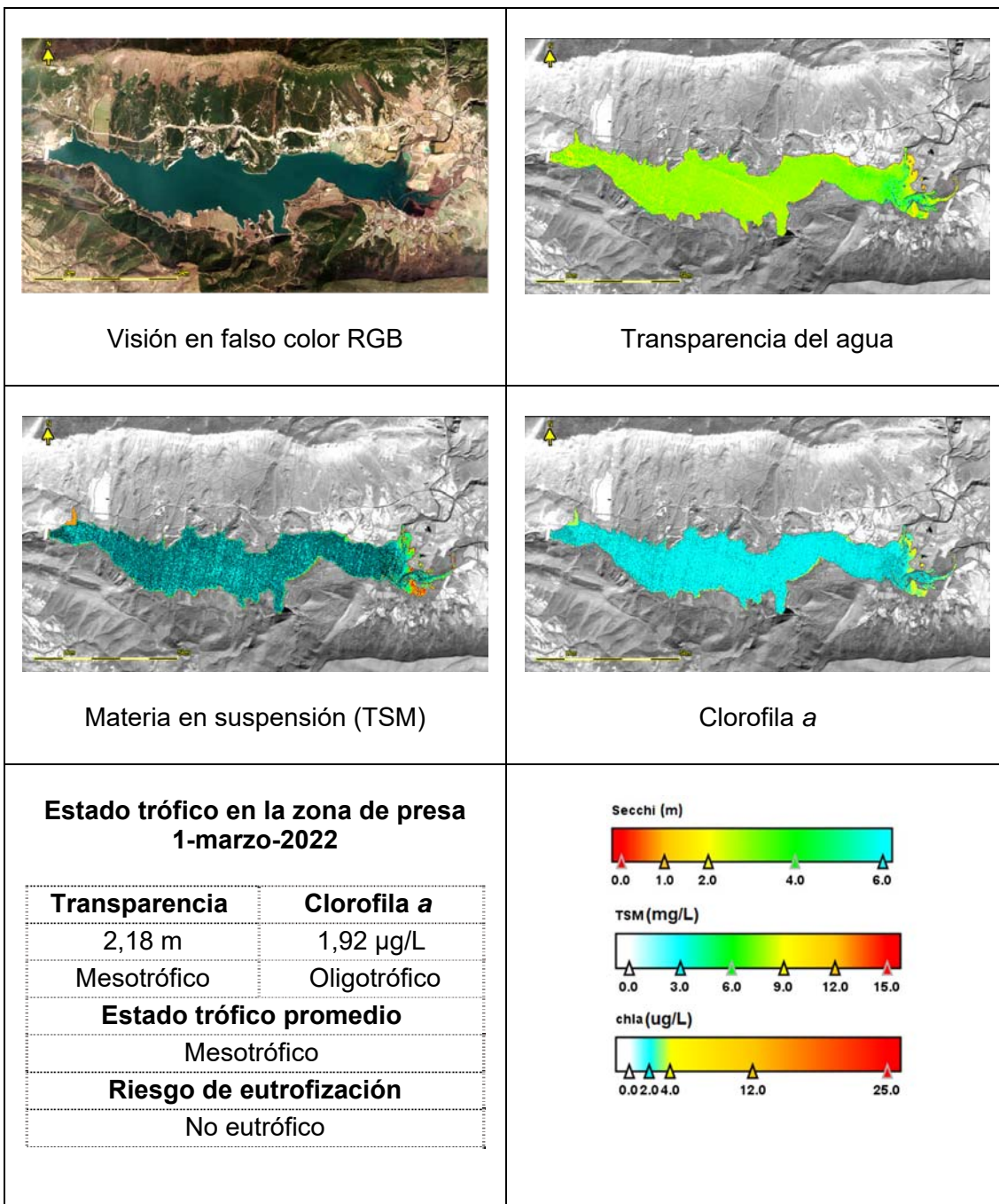
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

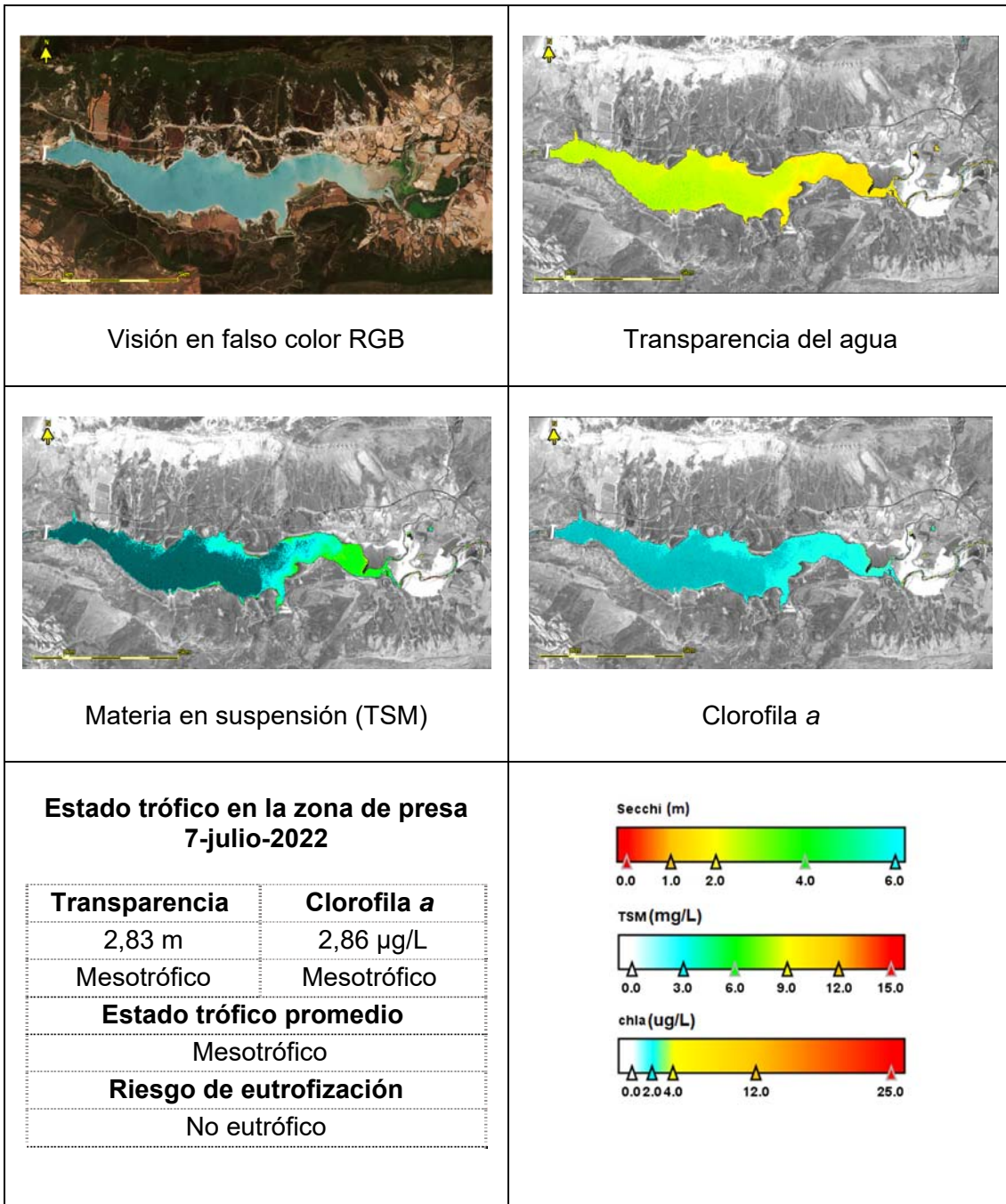
Transparencia	Clorofila a
4,32 m	1,08 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



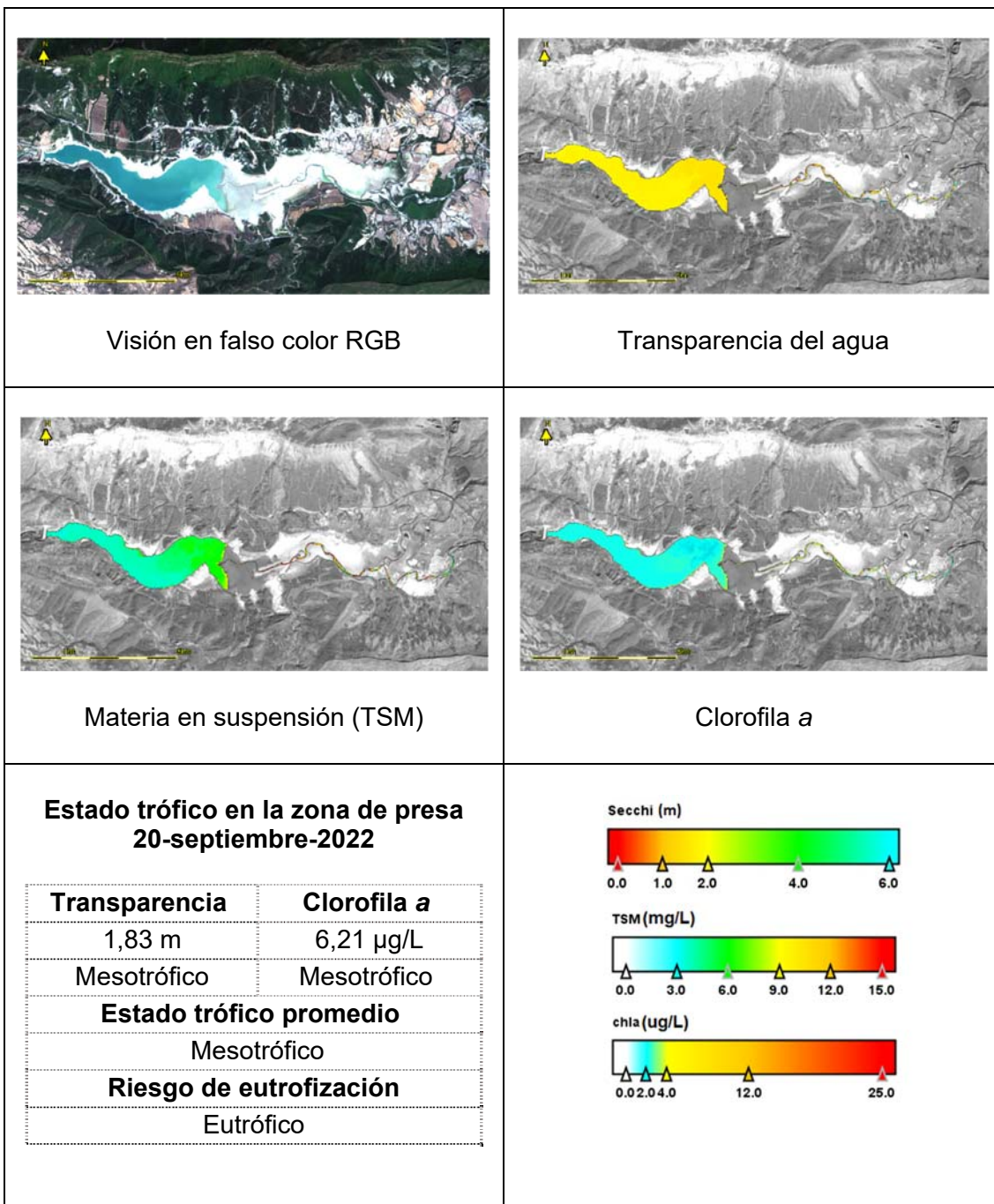
MASA 37. EMBALSE DE YESA



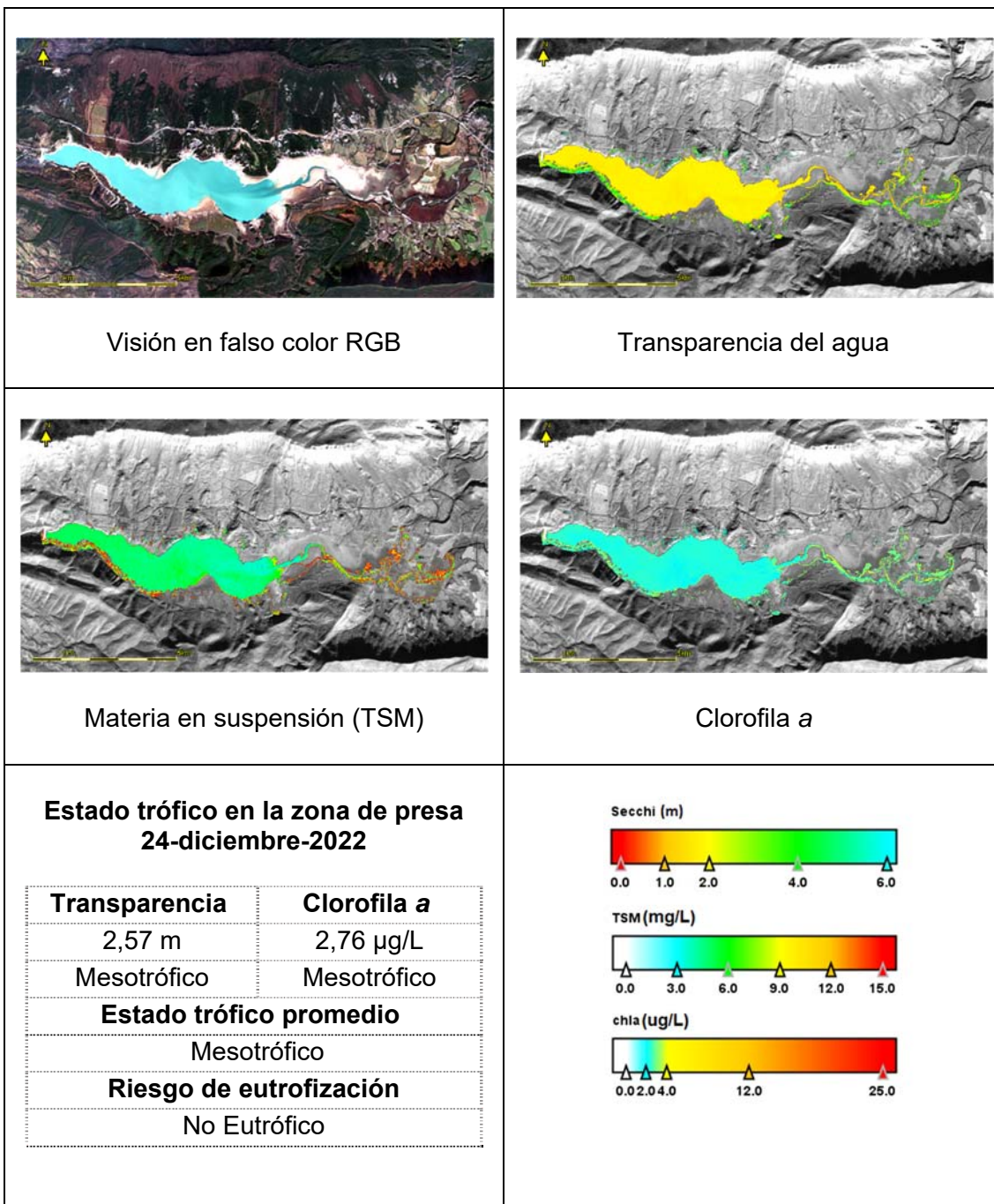
MASA 37. EMBALSE DE YESA



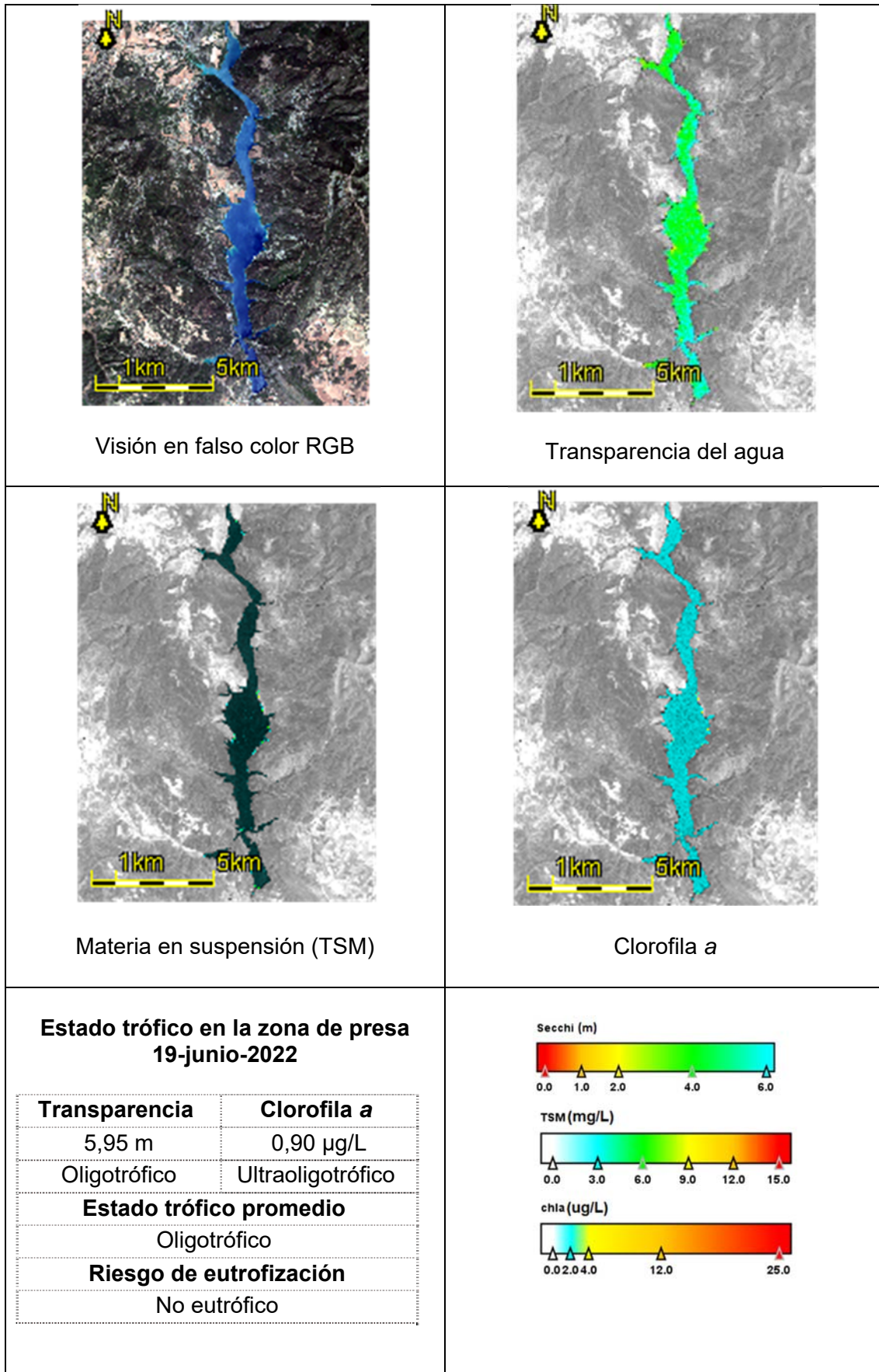
MASA 37. EMBALSE DE YESA



MASA 37. EMBALSE DE YESA



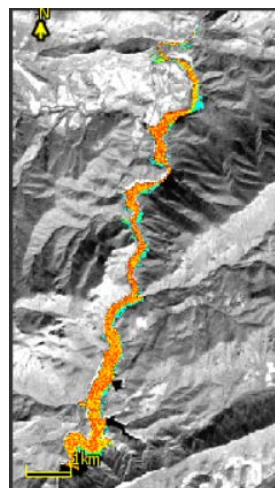
MASA 47. EMBALSE DE EL GRADO



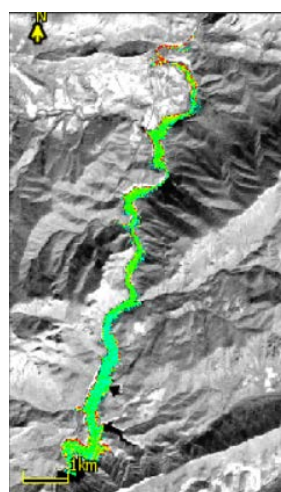
MASA 53. EMBALSE DE OLIANA



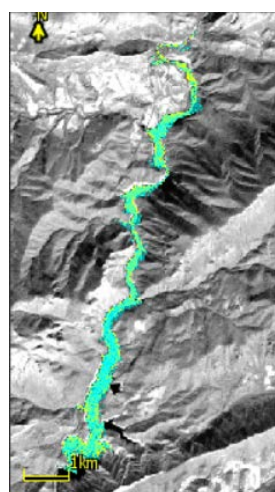
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



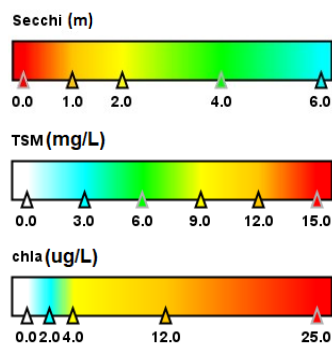
Materia en suspensión (TSM)



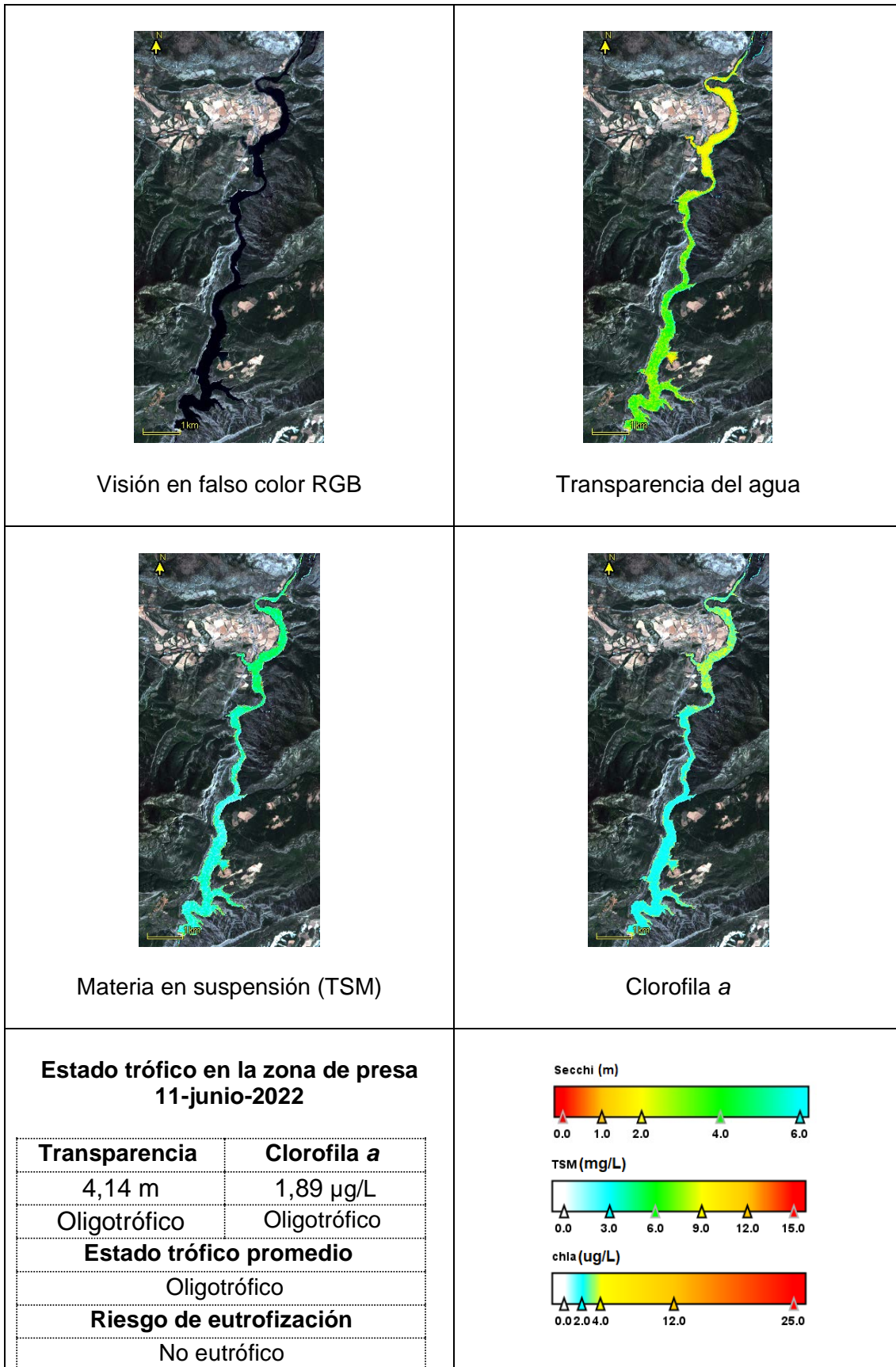
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
3-marzo-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,59 m	7,87 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
En riesgo de eutrofización	



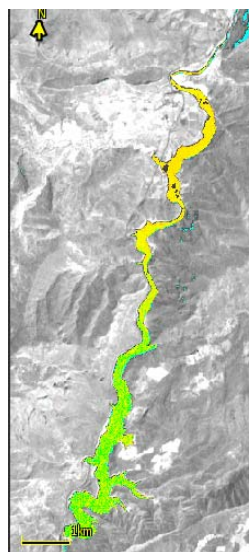
MASA 53. EMBALSE DE OLIANA



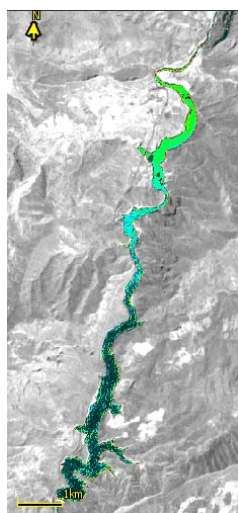
MASA 53. EMBALSE DE OLIANA



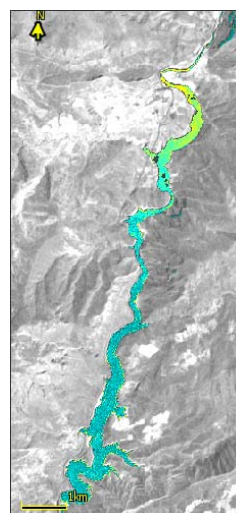
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



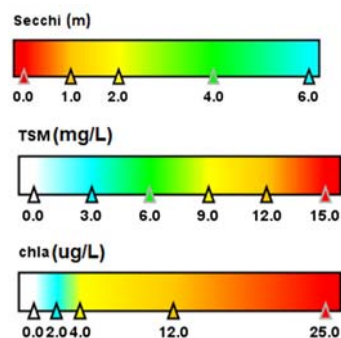
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
19-julio-2022**

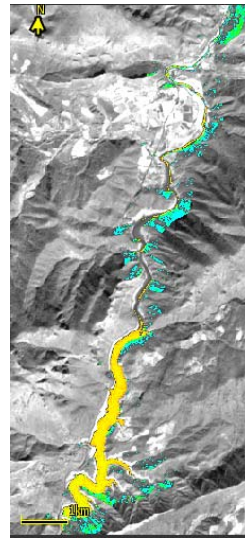
Transparencia	Clorofila a
2,91 m	0,78 µg/L
Mesotrófico	Ultraoligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



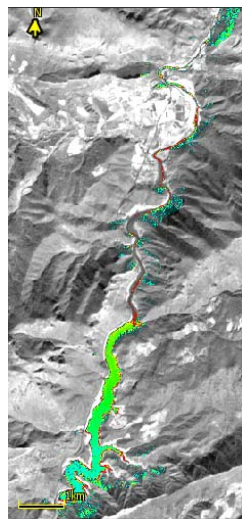
MASA 53. EMBALSE DE OLIANA



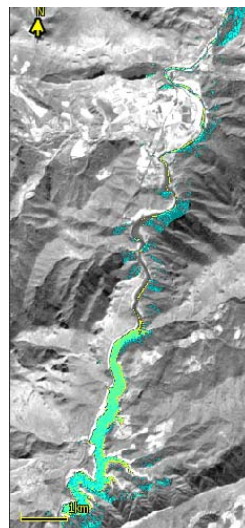
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



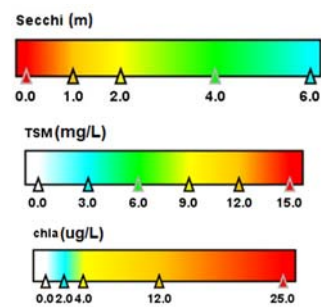
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-septiembre-2022**

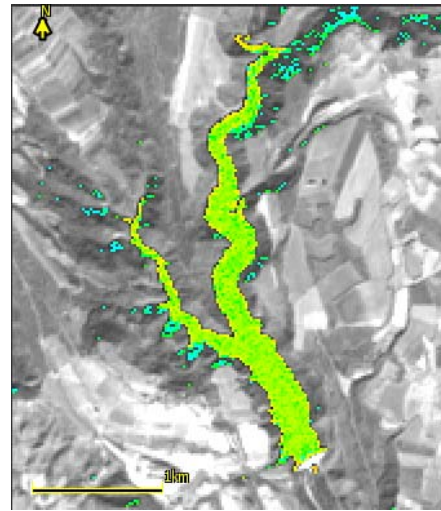
Transparencia	Clorofila a
2,07 m	6,80 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



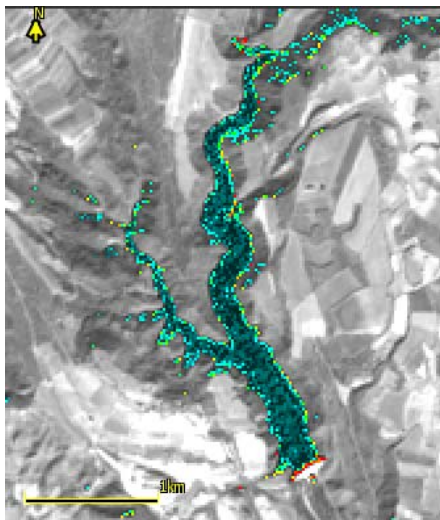
MASA 54. EMBALSE DE MONTEARAGÓN



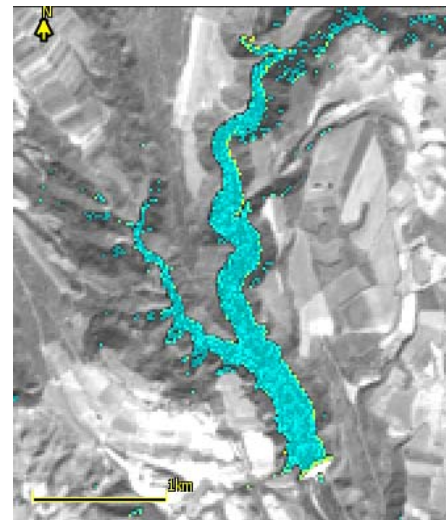
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



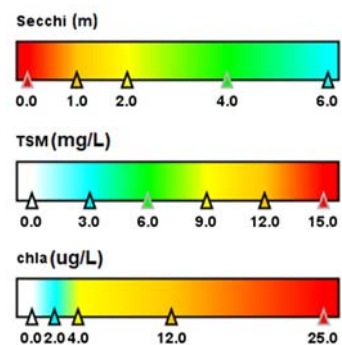
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
1-marzo-2022**

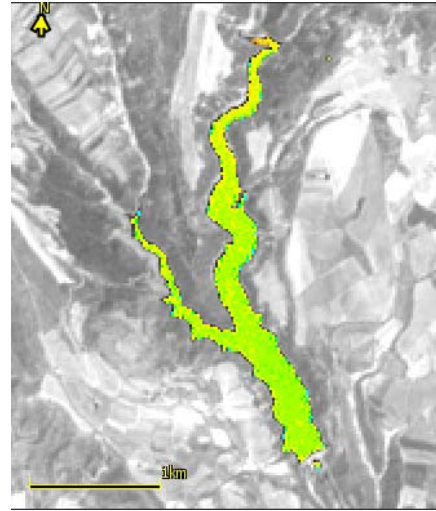
Transparencia	Clorofila a
2,63 m	1,74 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



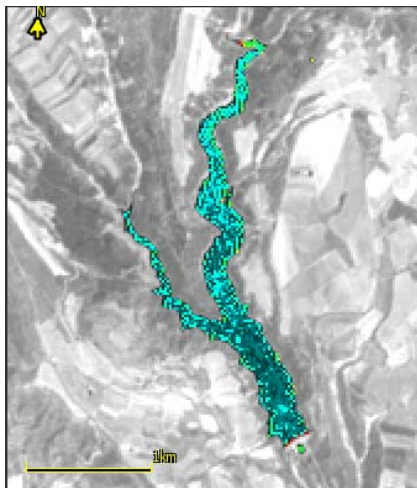
MASA 54. EMBALSE DE MONTEARAGÓN



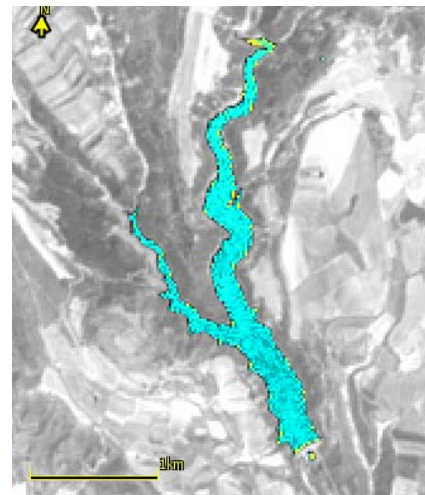
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



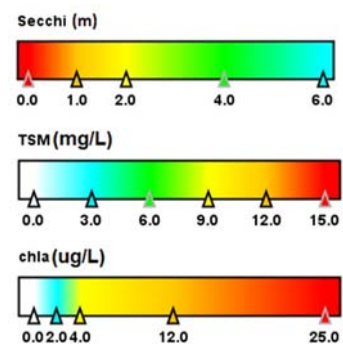
Materia en suspensión (TSM)



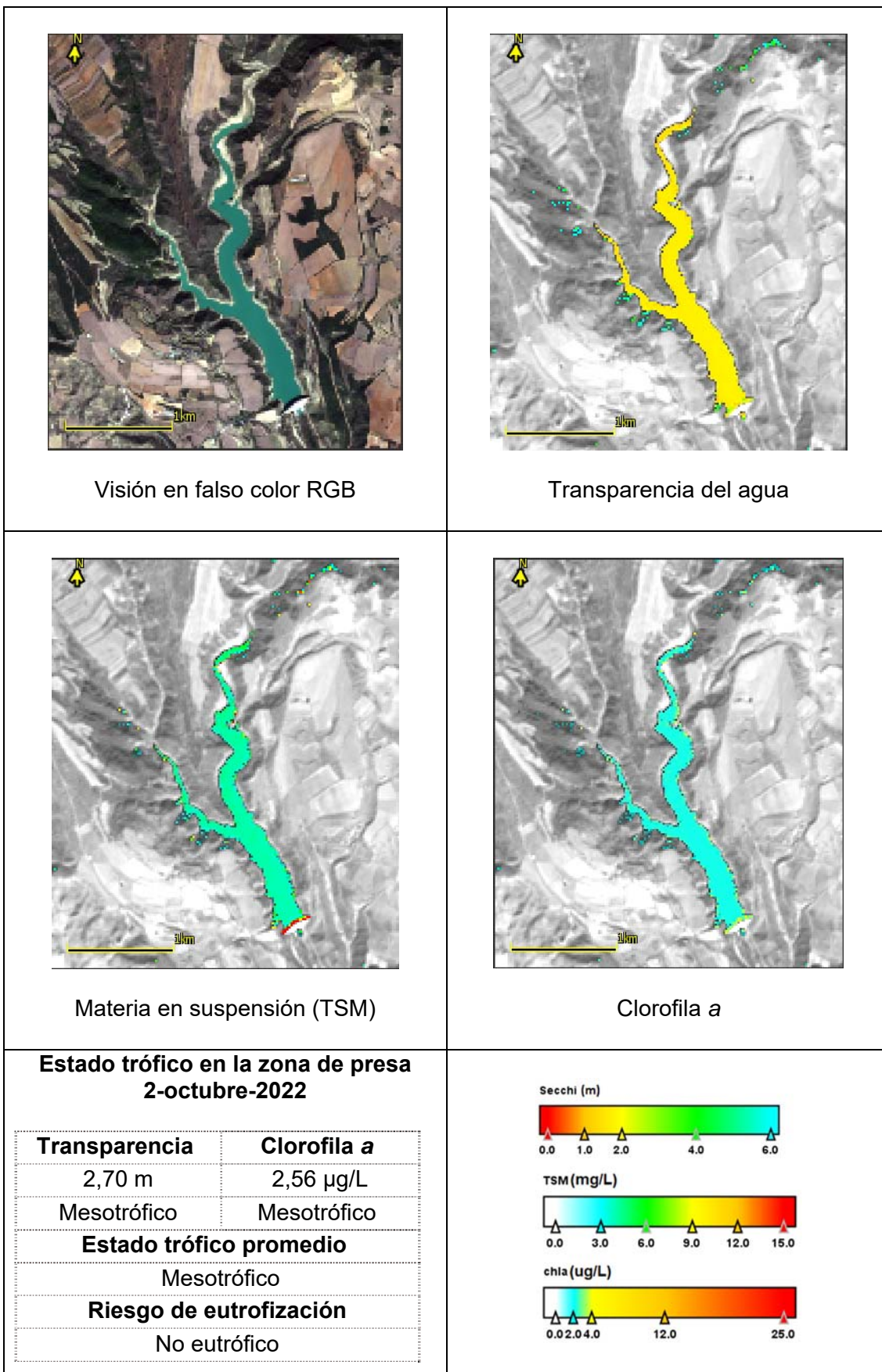
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
9-julio-2022**

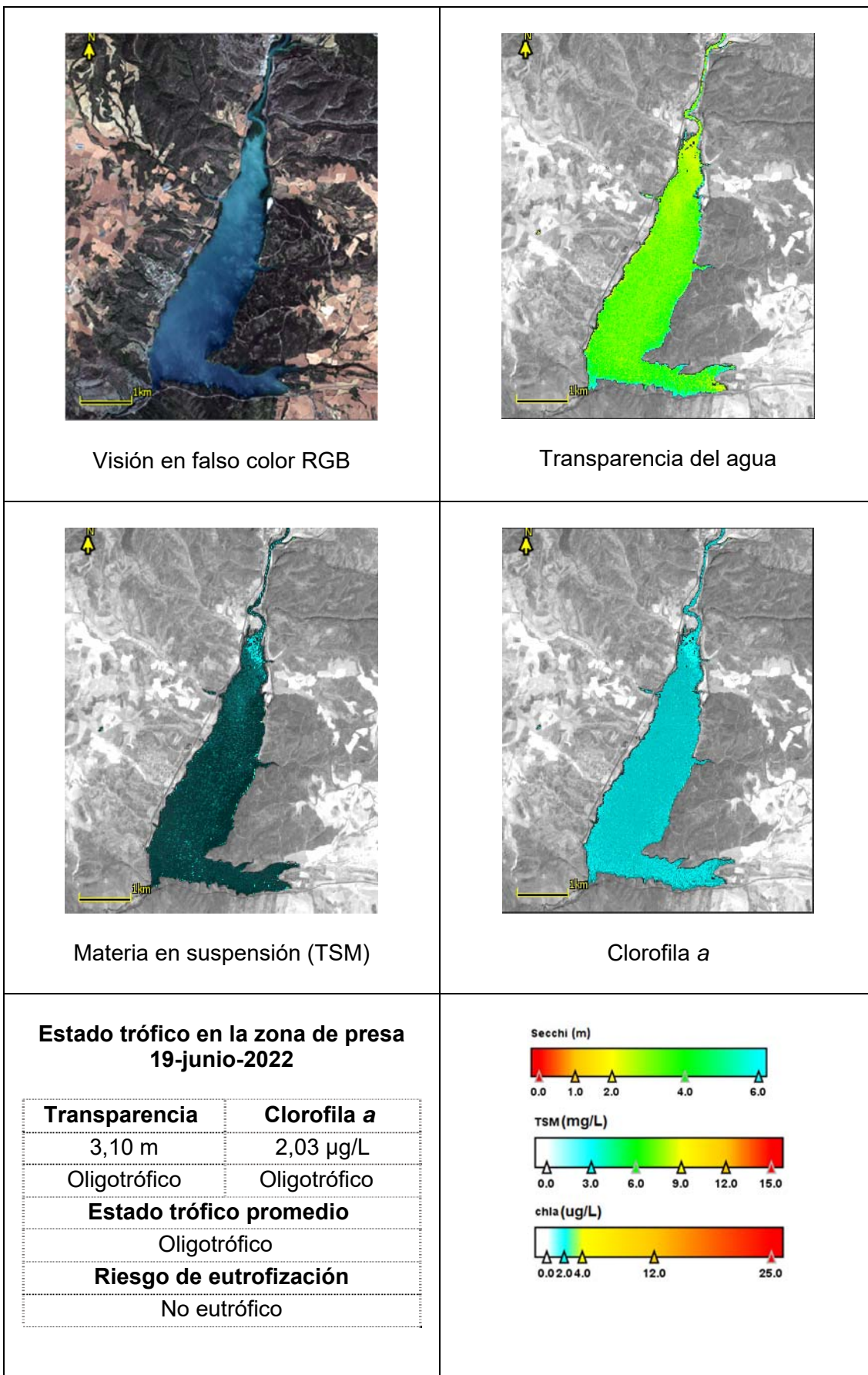
Transparencia	Clorofila a
2,63 m	2,40 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



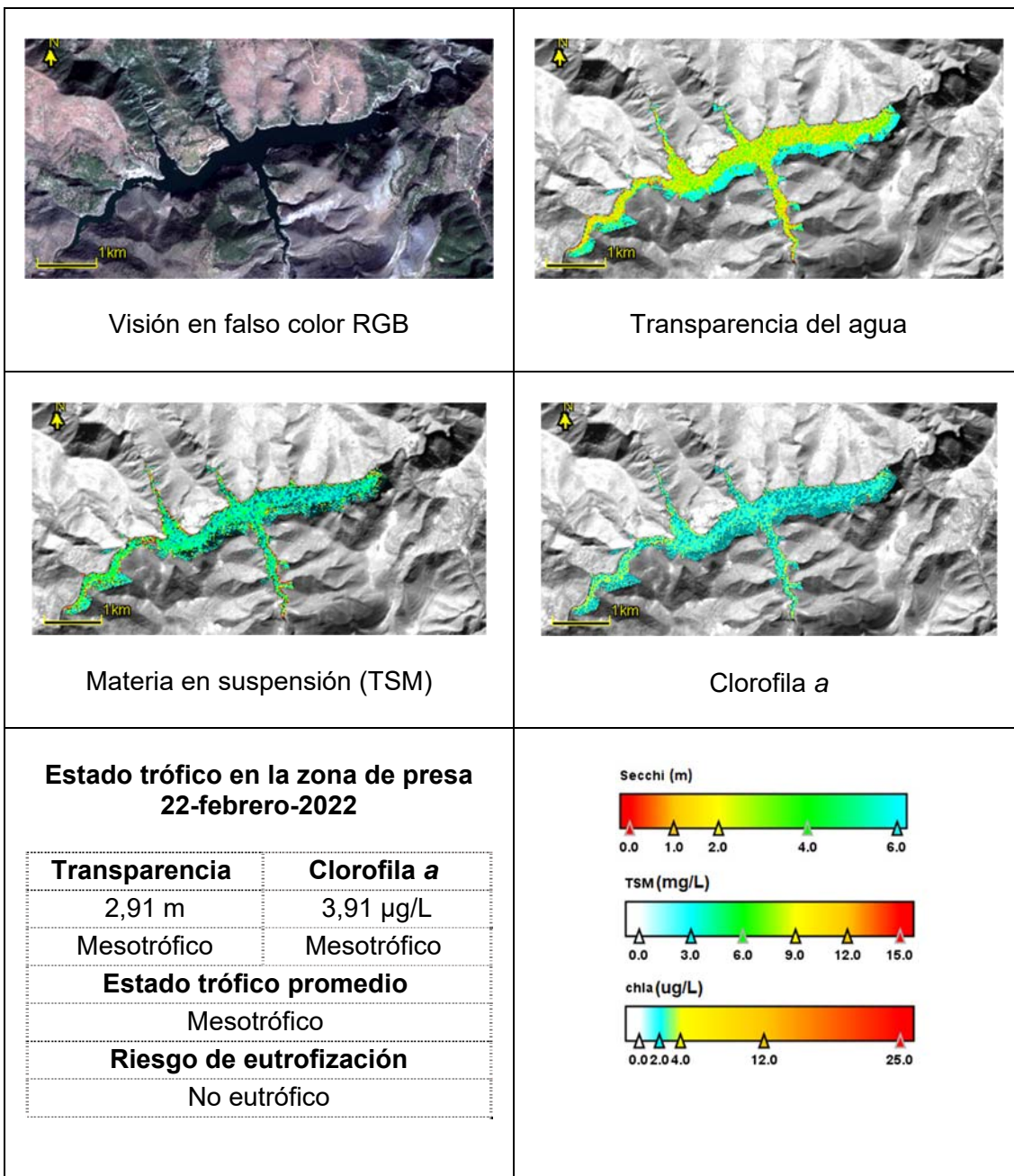
MASA 54. EMBALSE DE MONTEARAGÓN



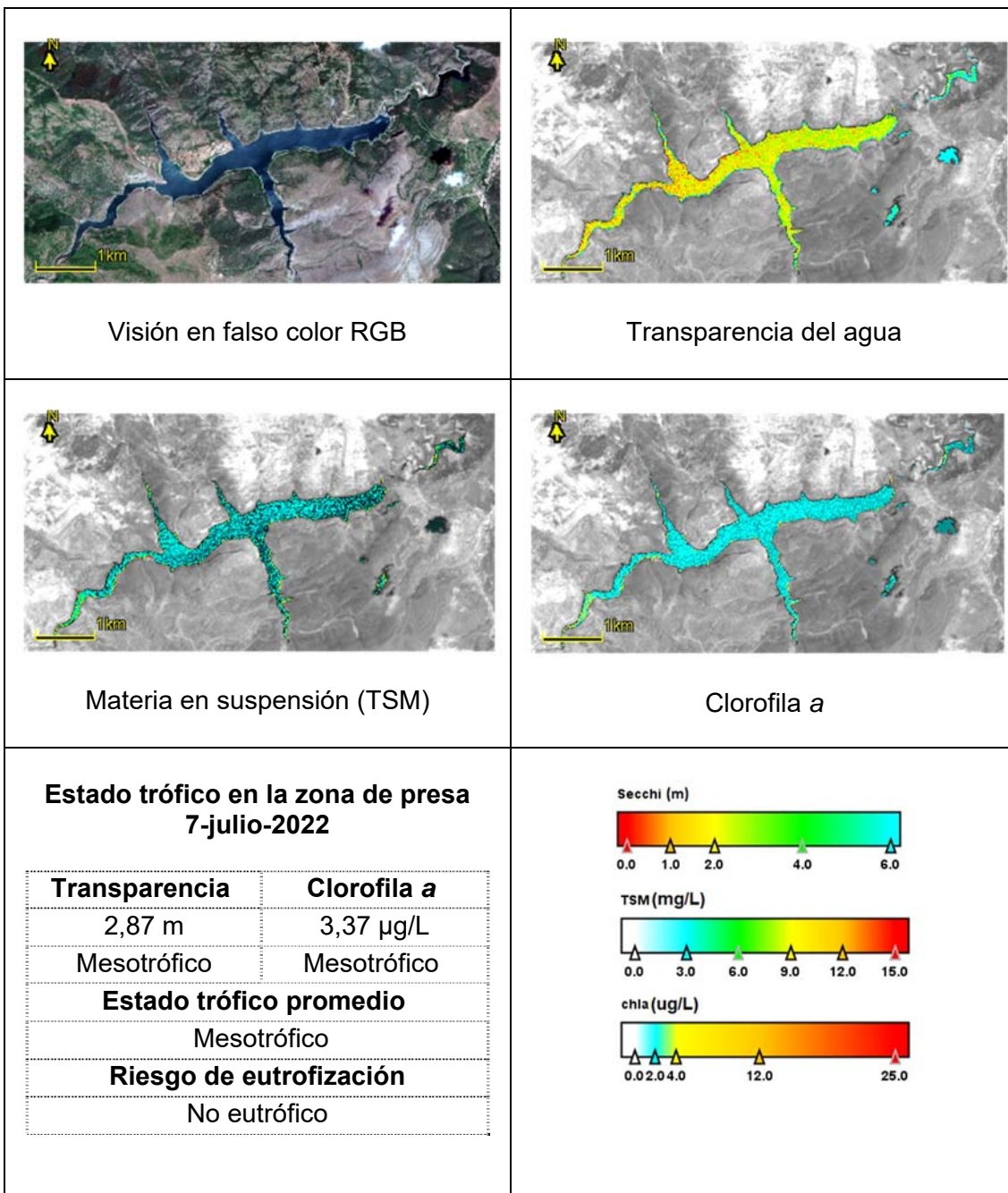
MASA 56. EMBALSE DE BARASONA



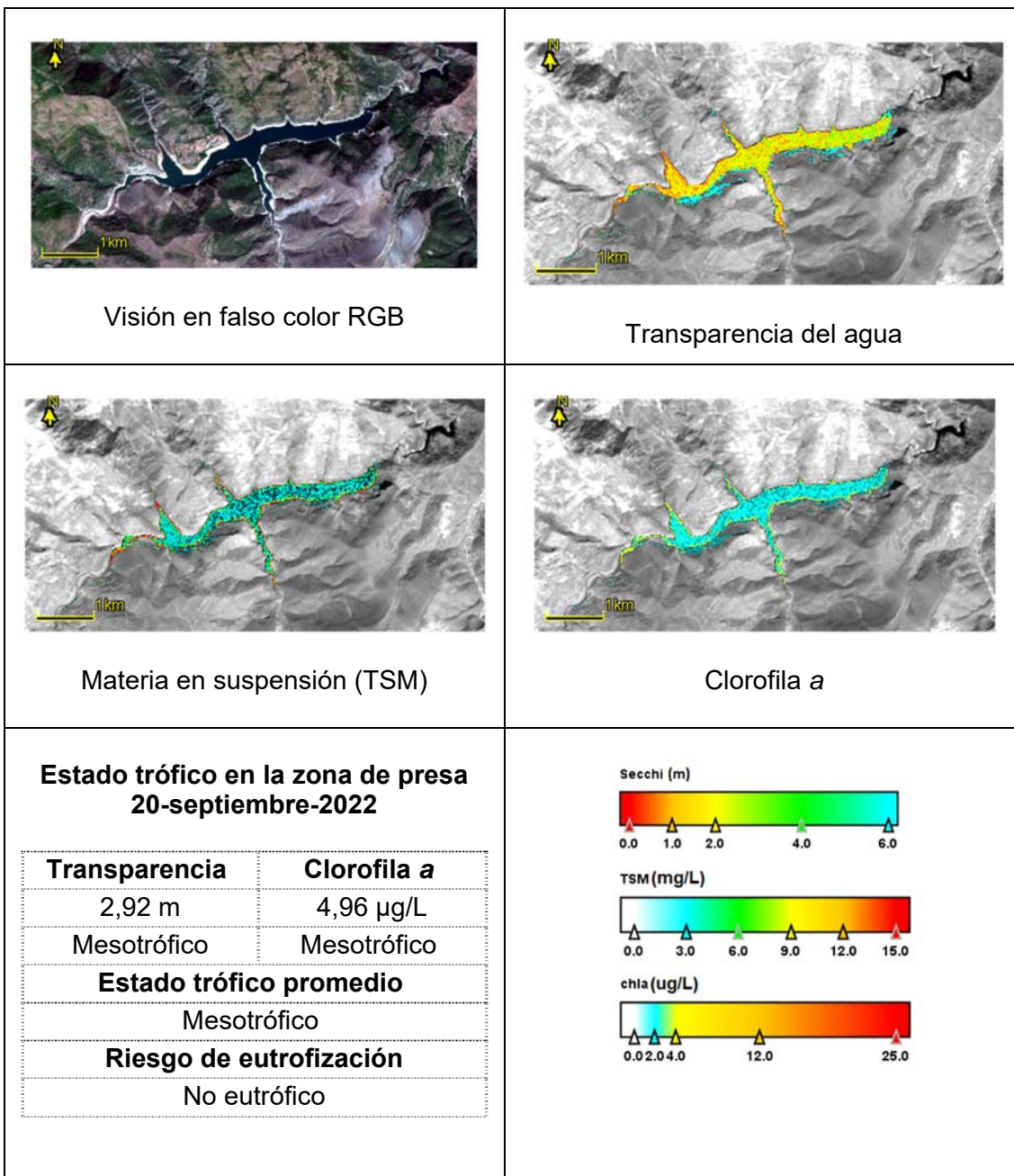
MASA 61. EMBALSE DE MANSILLA



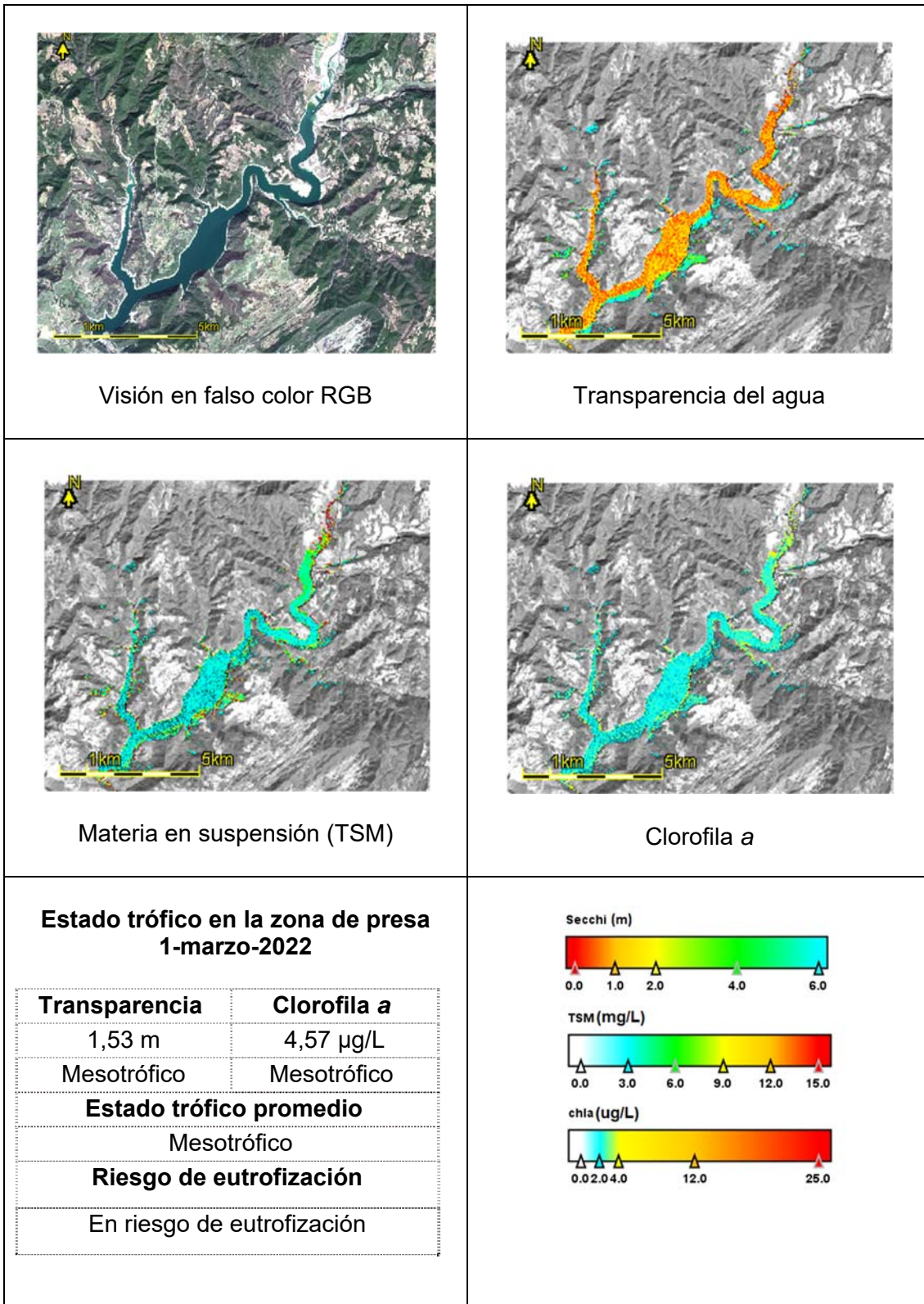
MASA 61. EMBALSE DE MANSILLA



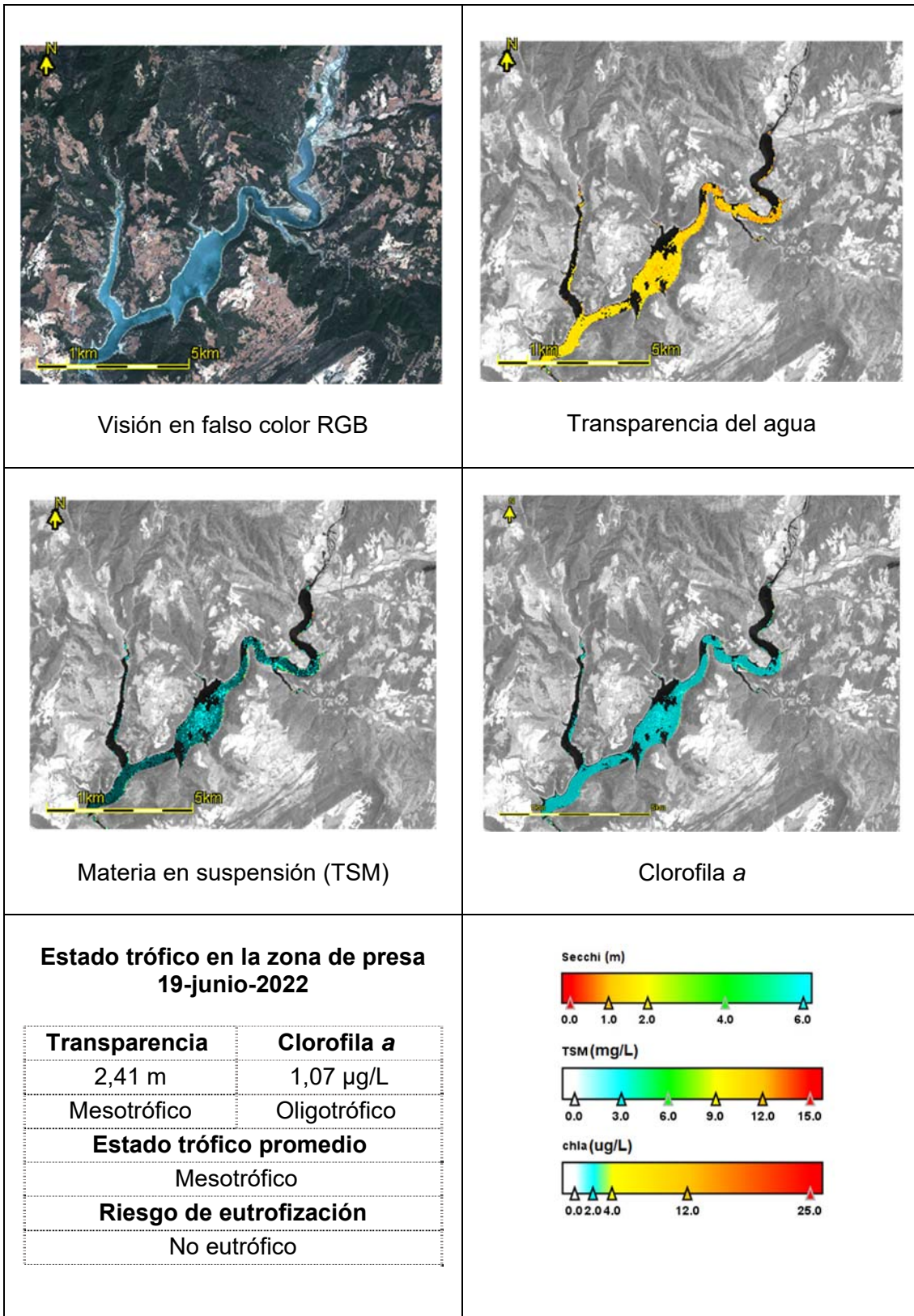
MASA 61. EMBALSE DE MANSILLA



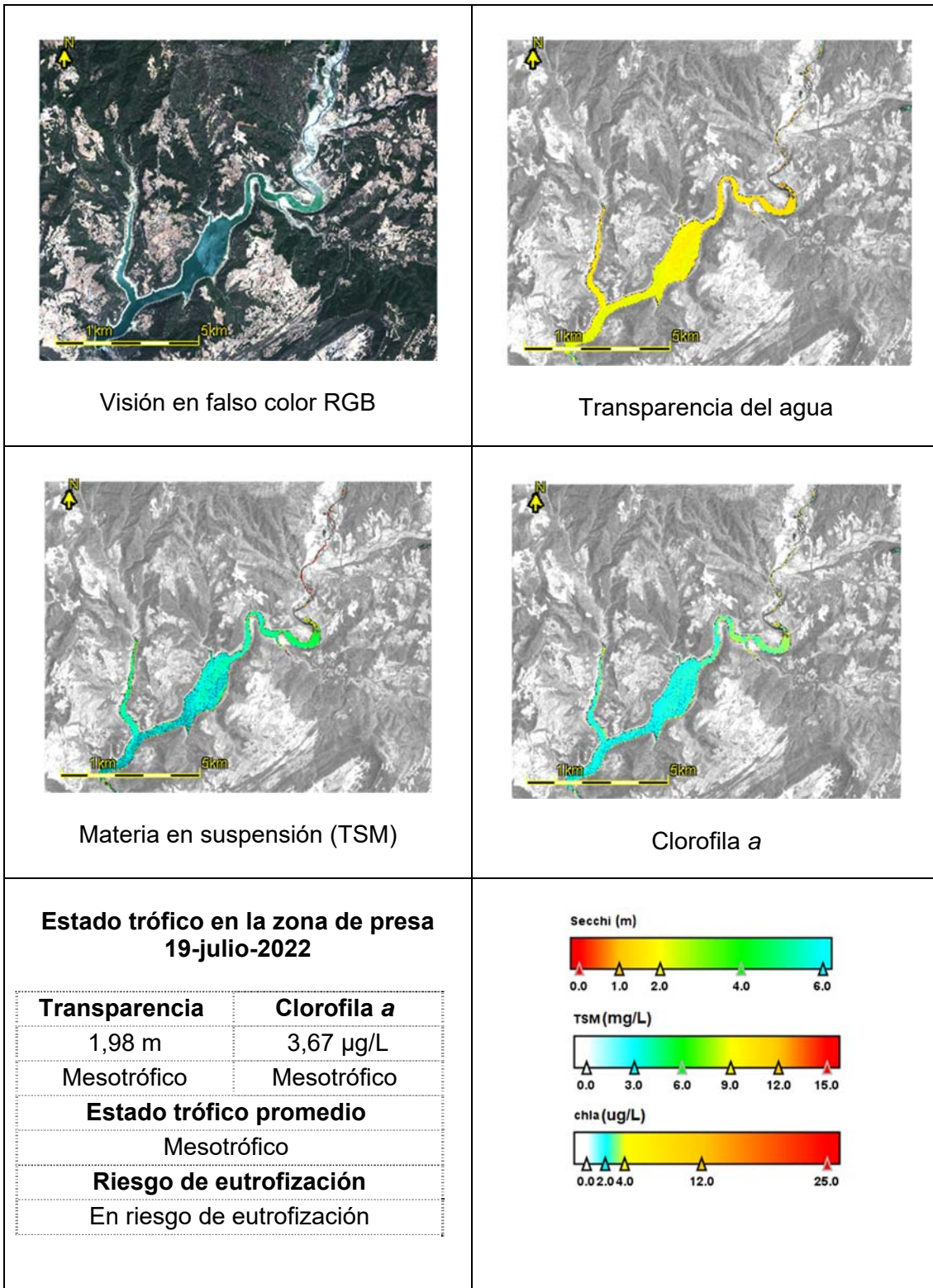
MASA 63. EMBALSE DE RIALB



MASA 63. EMBALSE DE RIALB



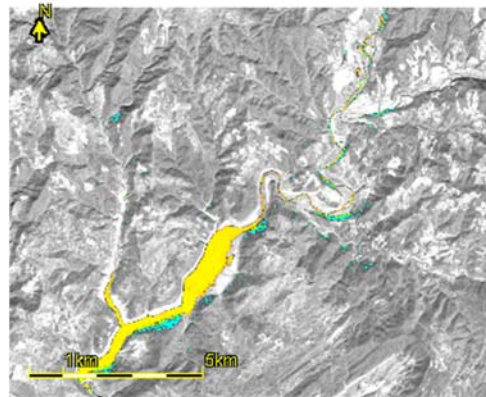
MASA 63. EMBALSE DE RIALB



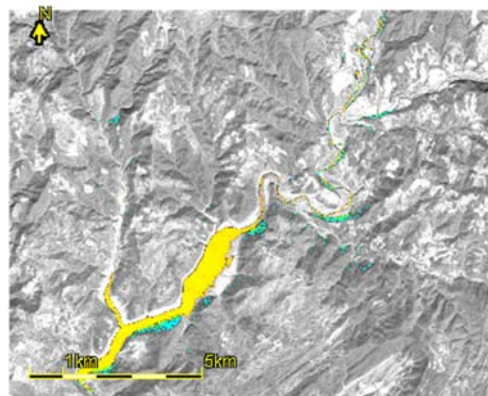
MASA 63. EMBALSE DE RIALB



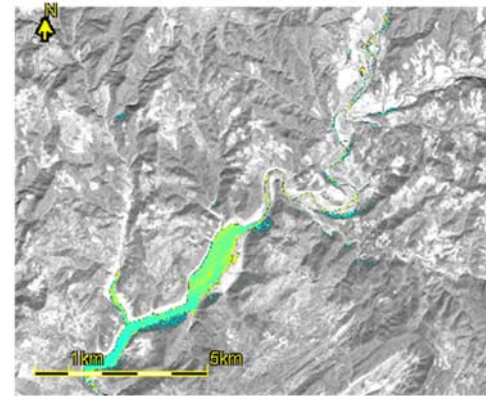
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



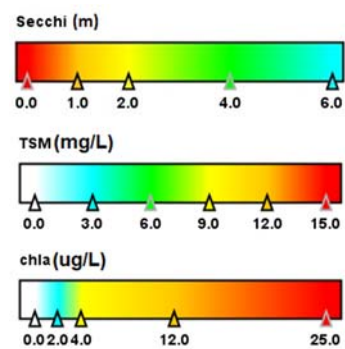
Materia en suspensión (TSM)



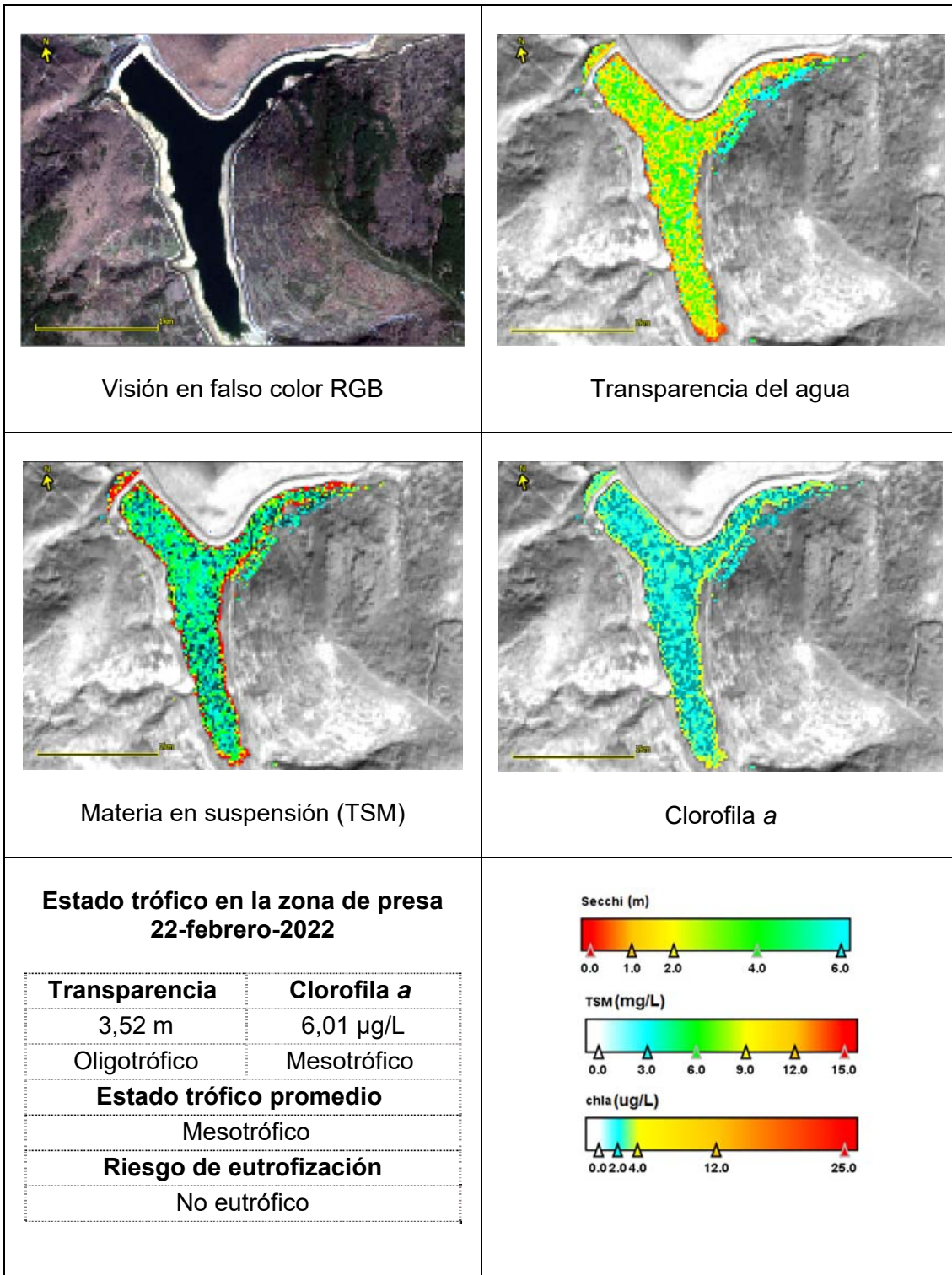
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-septiembre-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,56	9,46 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
Estado trófico promedio	
Eutrófico	
Riesgo de eutrofización	
Eutrófico	



MASA 64. EMBALSE DE PAJARES



MASA 64. EMBALSE DE PAJARES



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



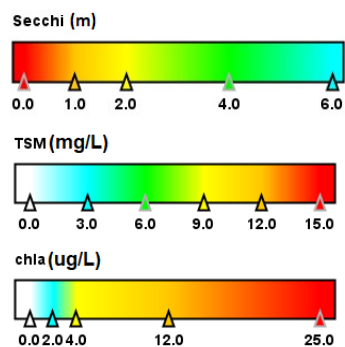
Materia en suspensión (TSM)



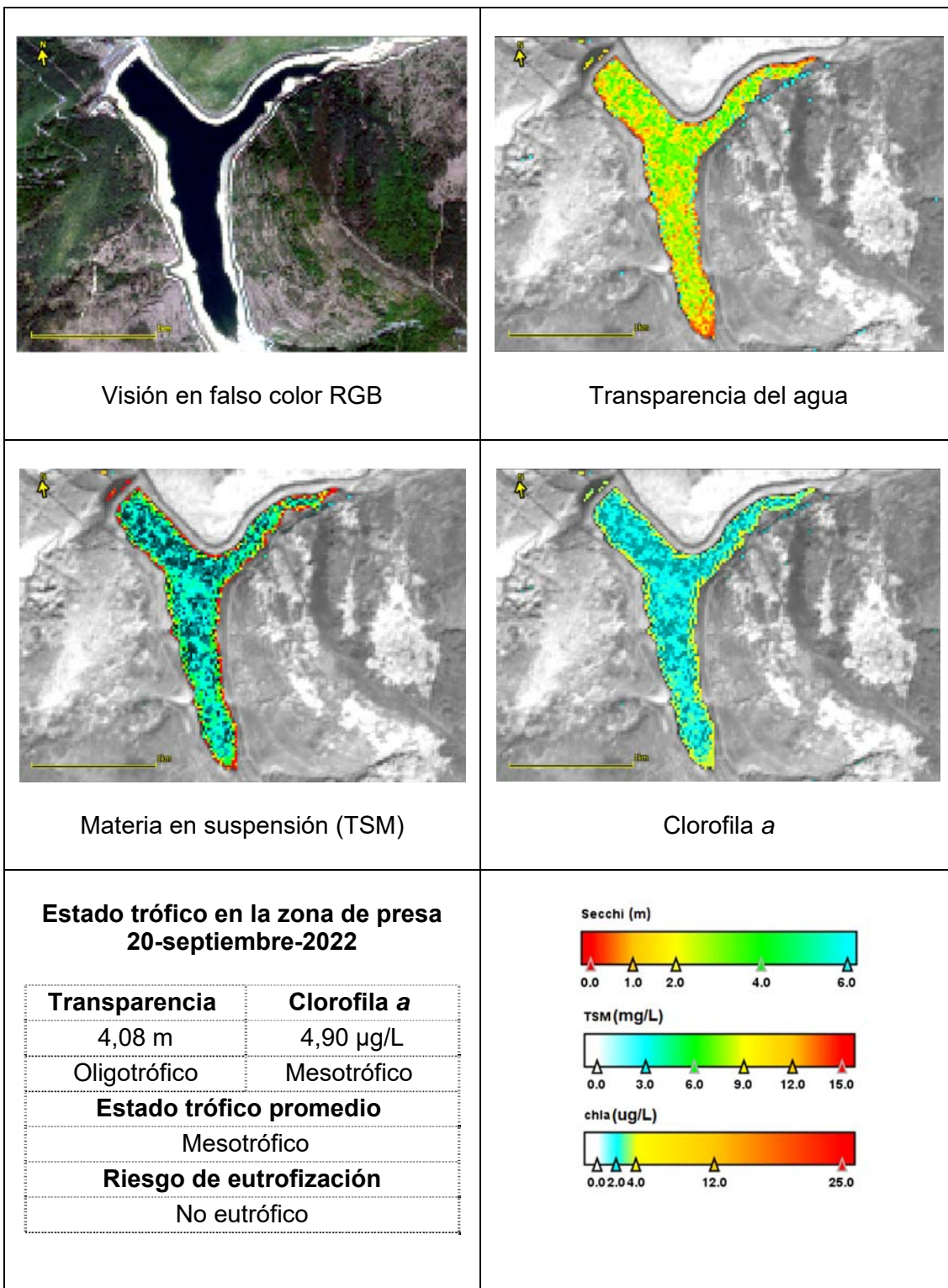
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
12-julio-2022**

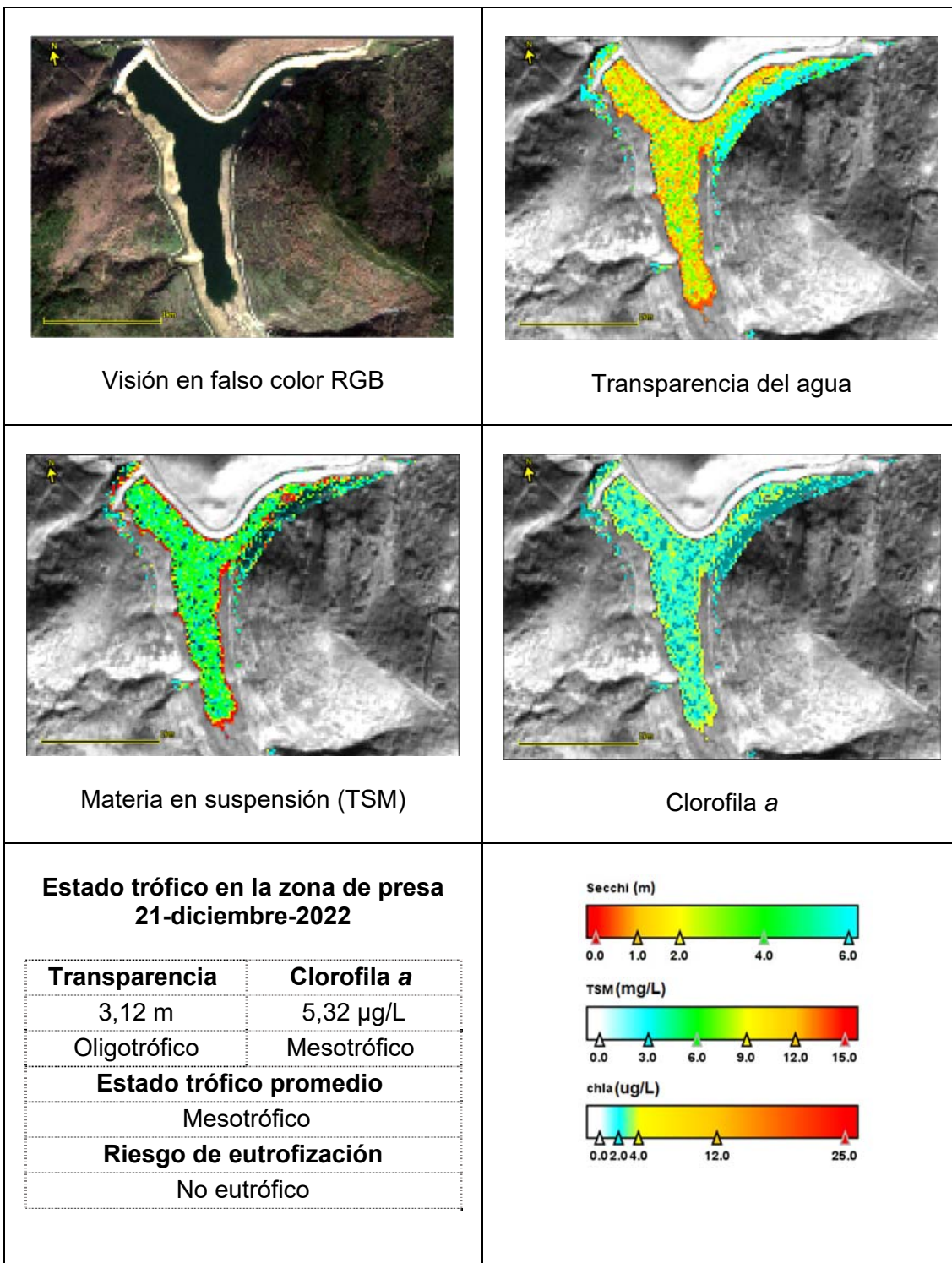
Transparencia	Clorofila a
4,27 m	1,90 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



MASA 64. EMBALSE DE PAJARES



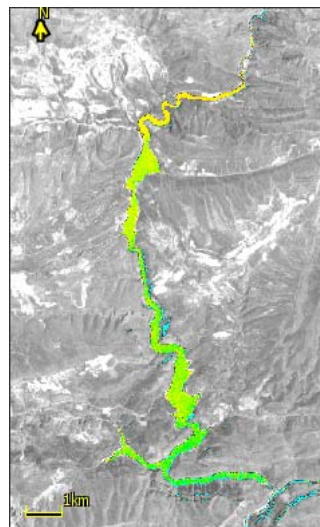
MASA 64. EMBALSE DE PAJARES



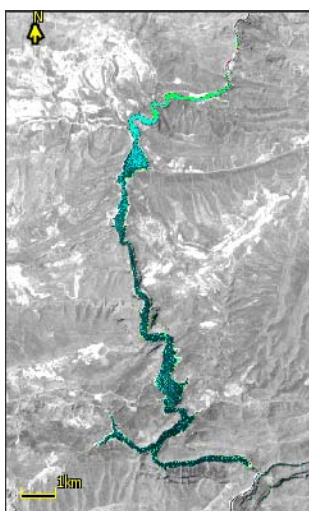
MASA 65. EMBALSE DE CAMARASA



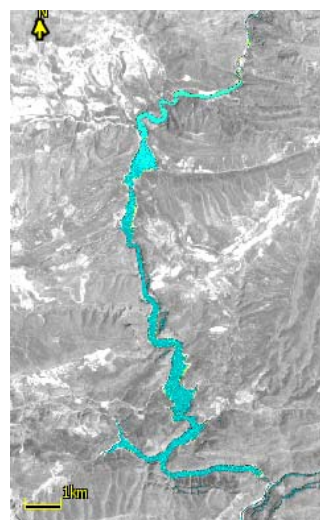
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



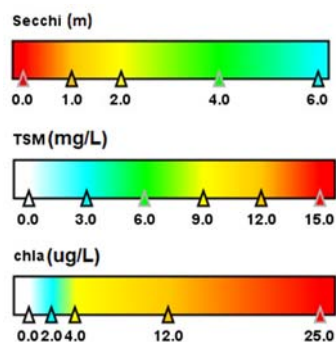
Materia en suspensión (TSM)



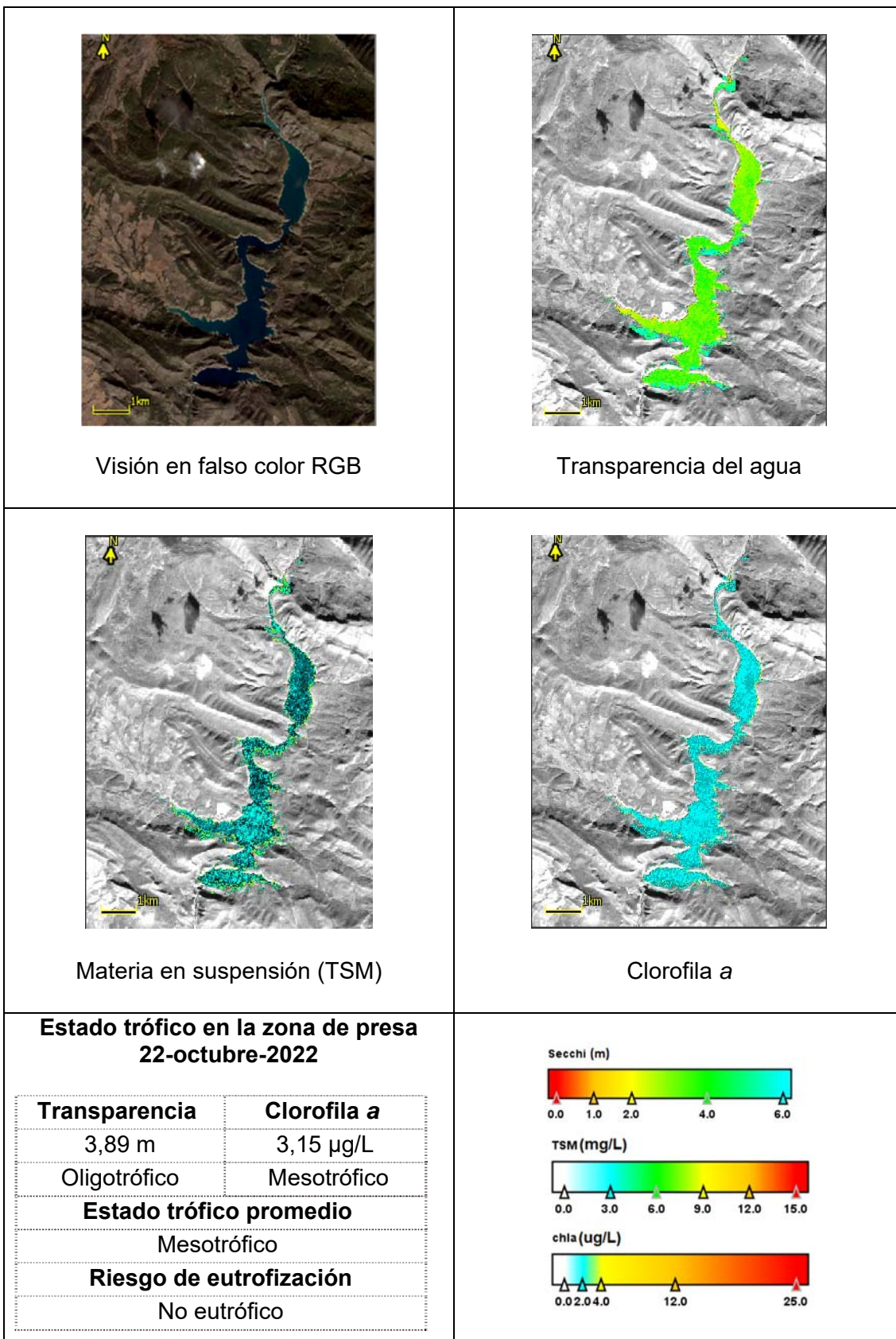
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

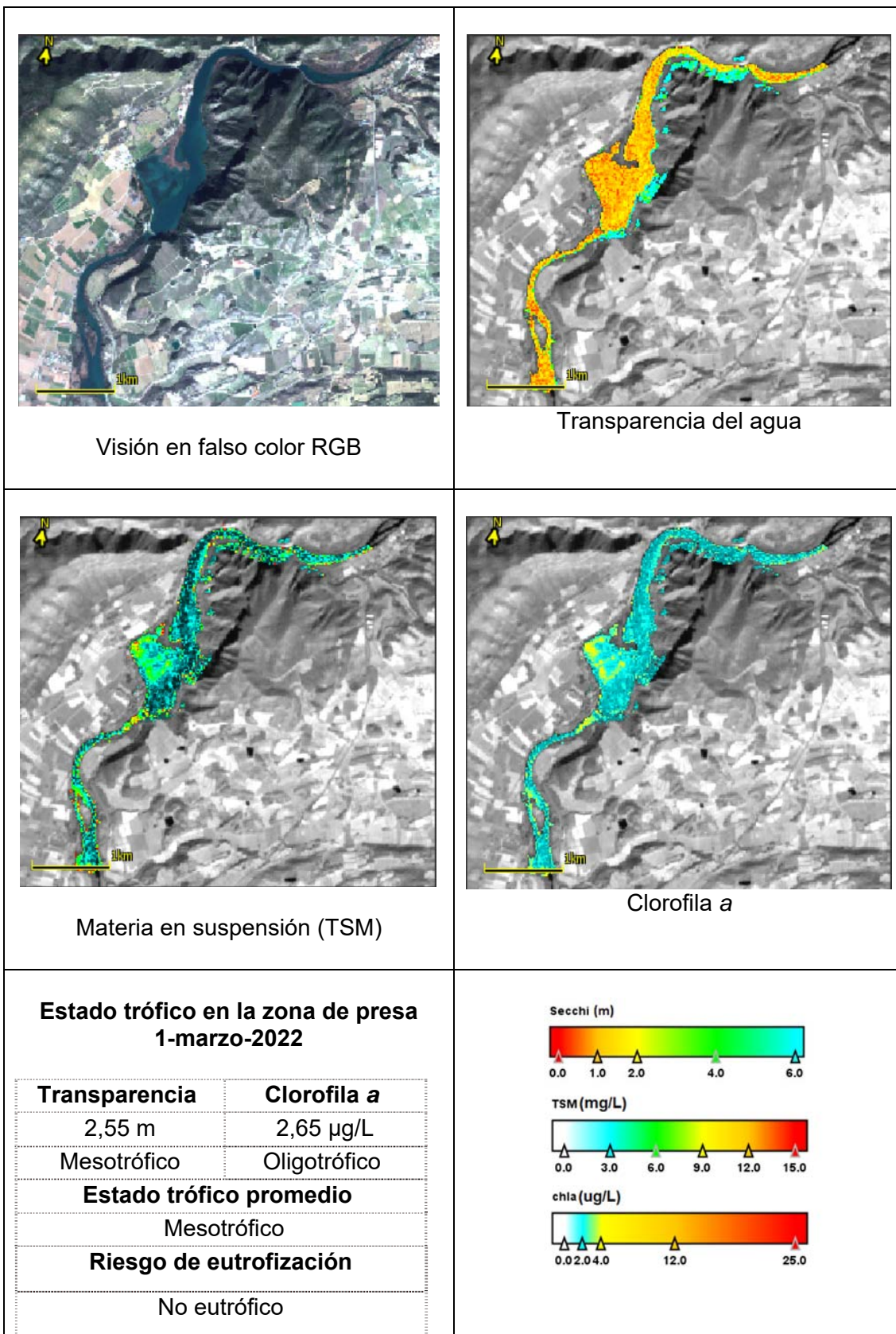
Transparencia	Clorofila a
2,90 m	1,82 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



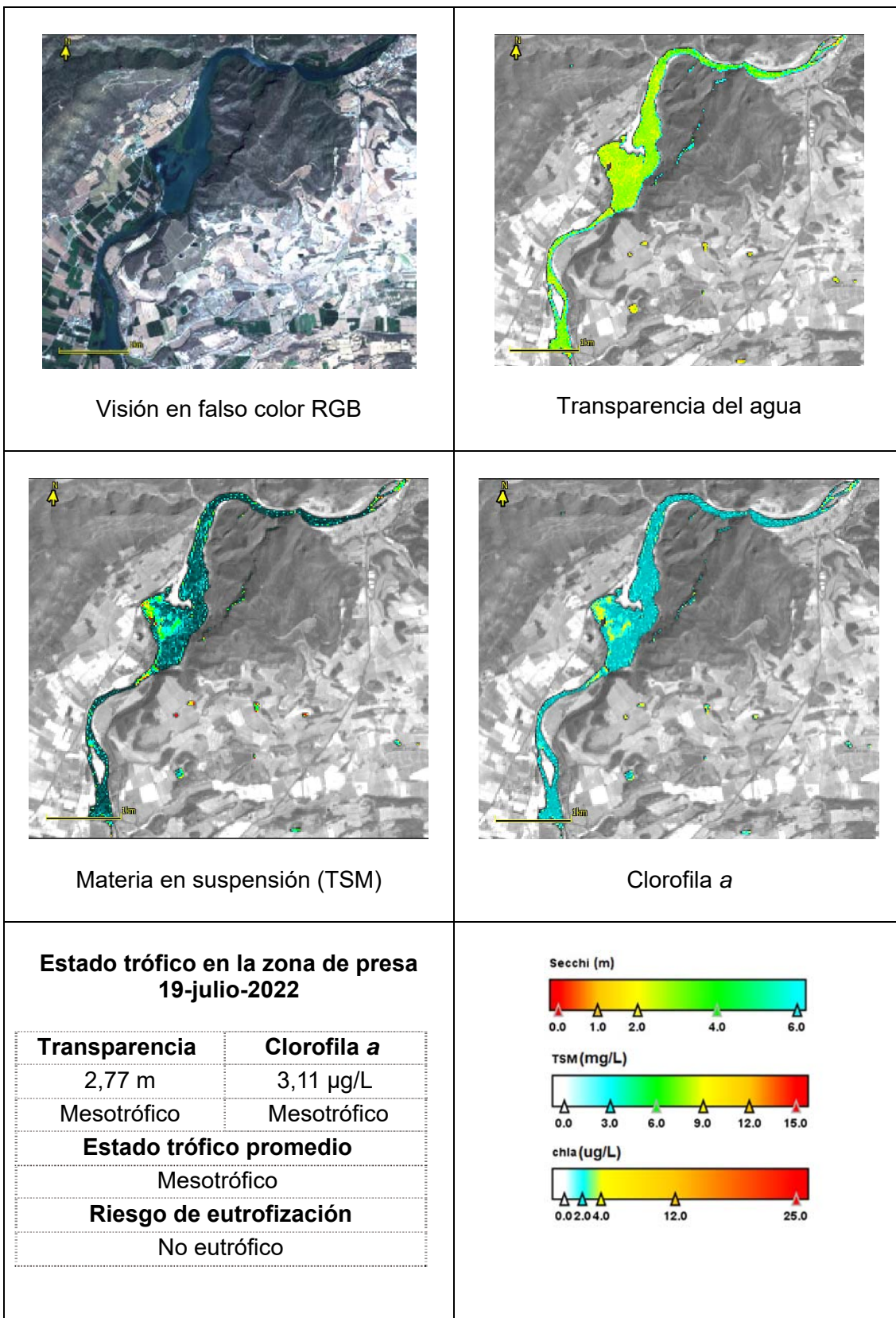
MASA 66. EMBALSE DE SANTA ANA



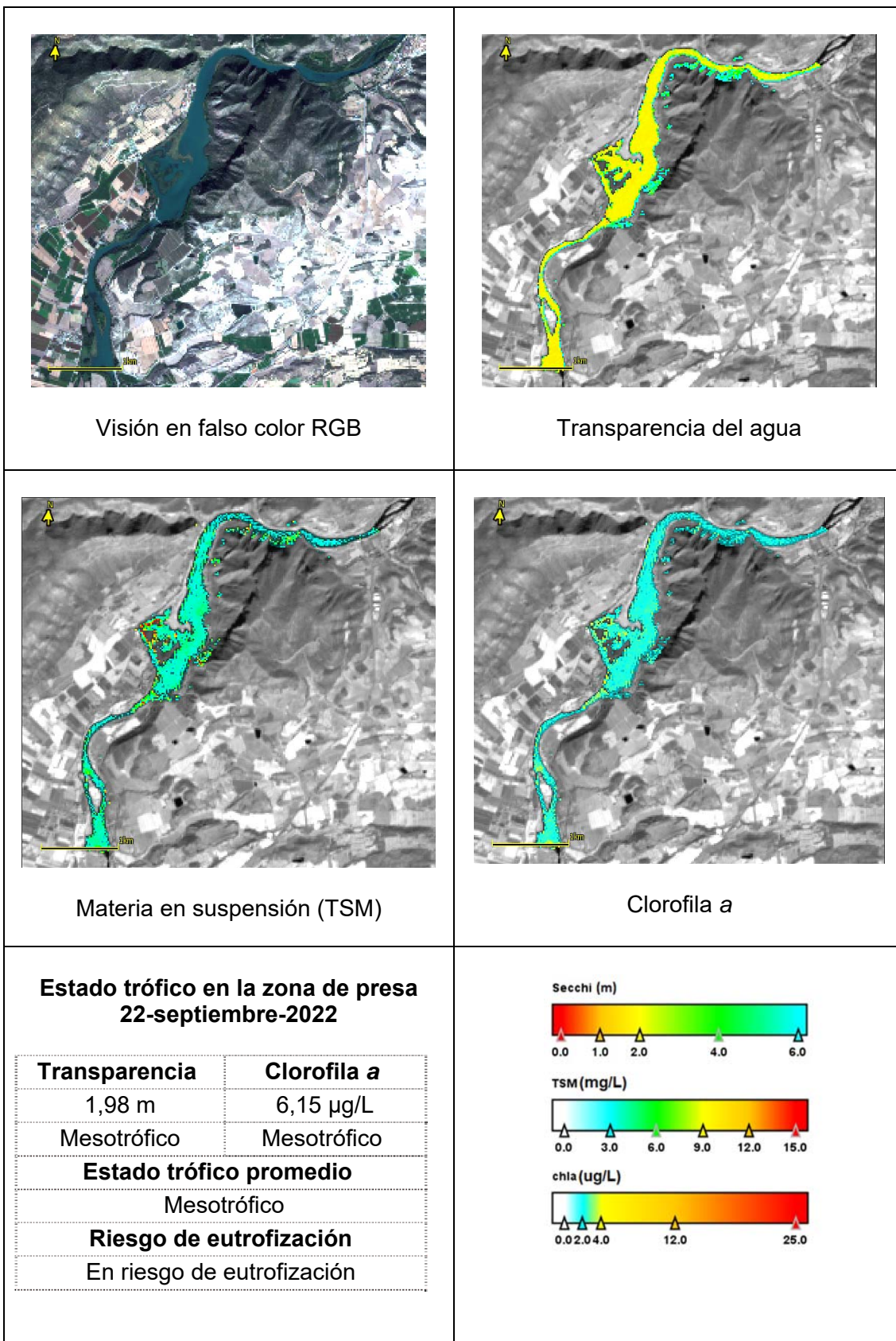
MASA 67. EMBALSE DE SAN LORENZO



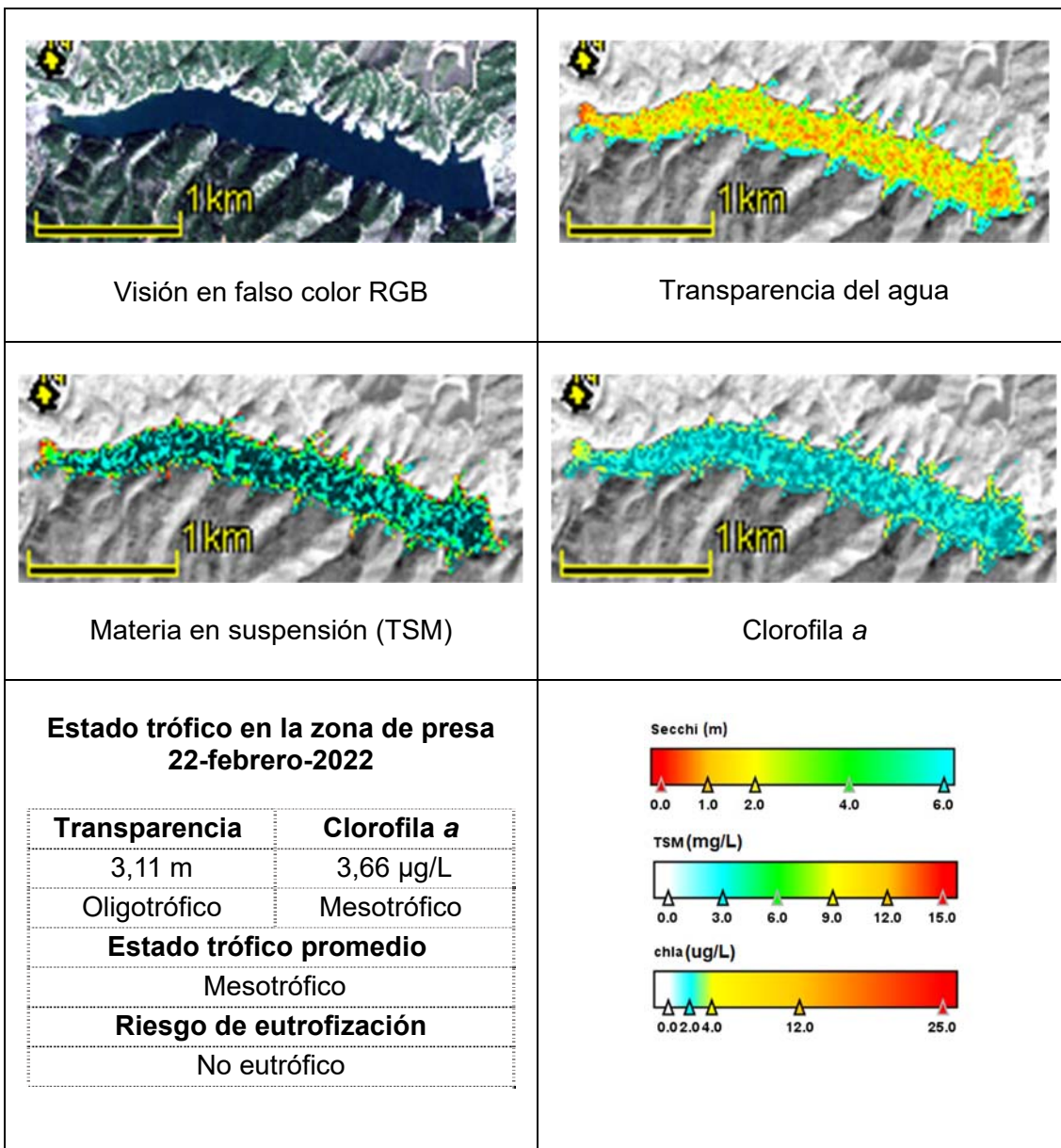
MASA 67. EMBALSE DE SAN LORENZO



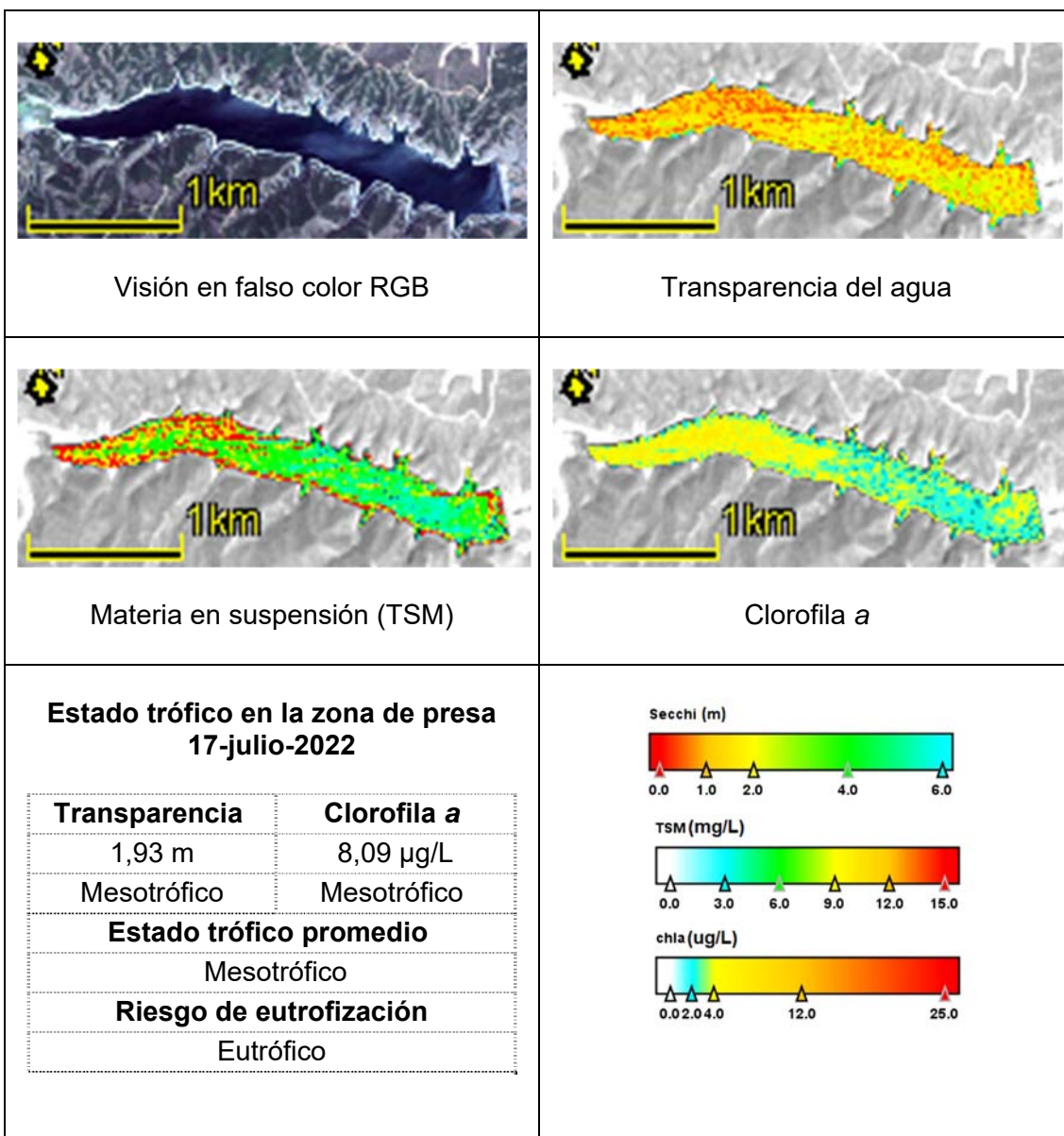
MASA 67. EMBALSE DE SAN LORENZO



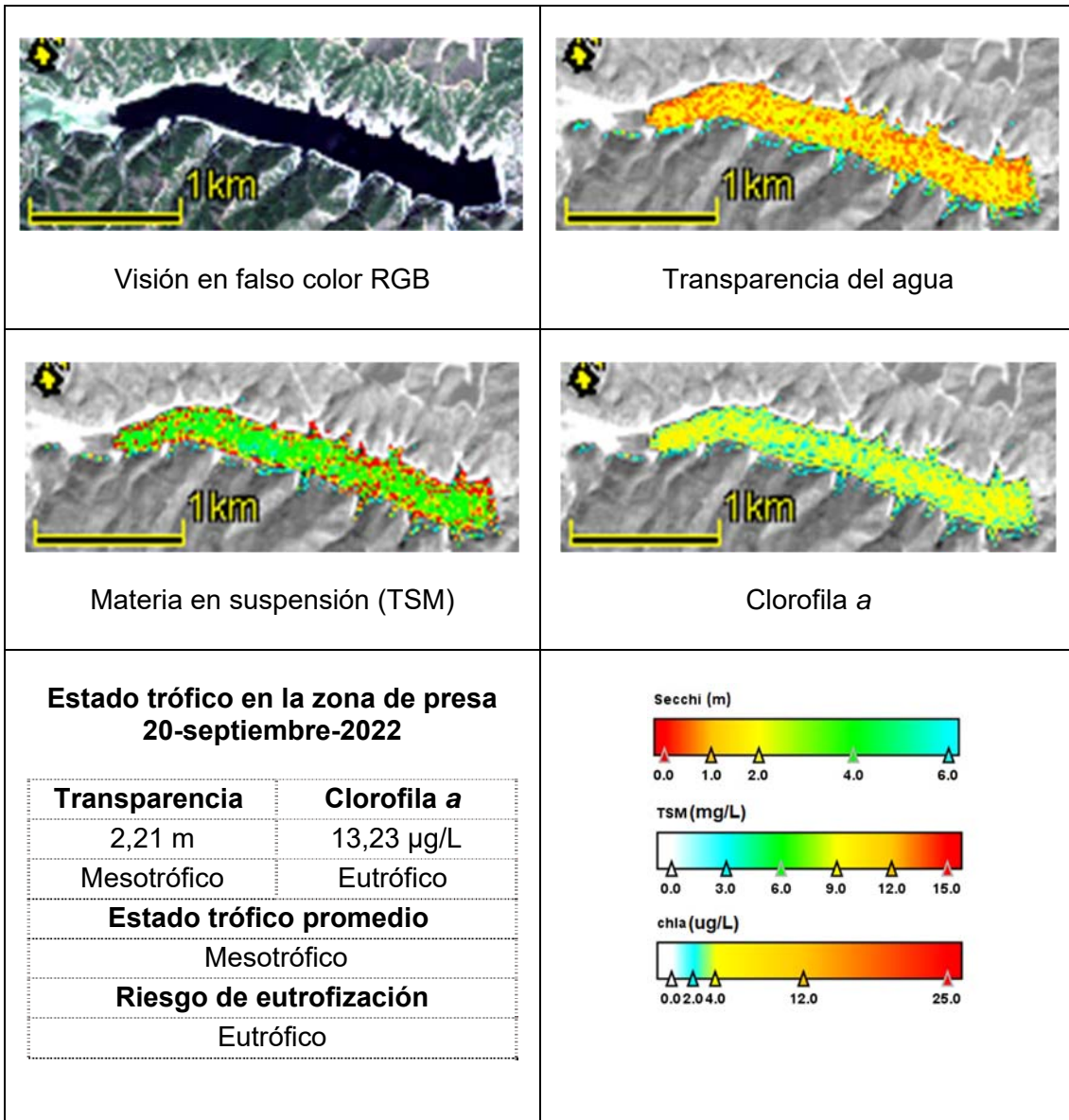
MASA 68. EMBALSE DE EL VAL



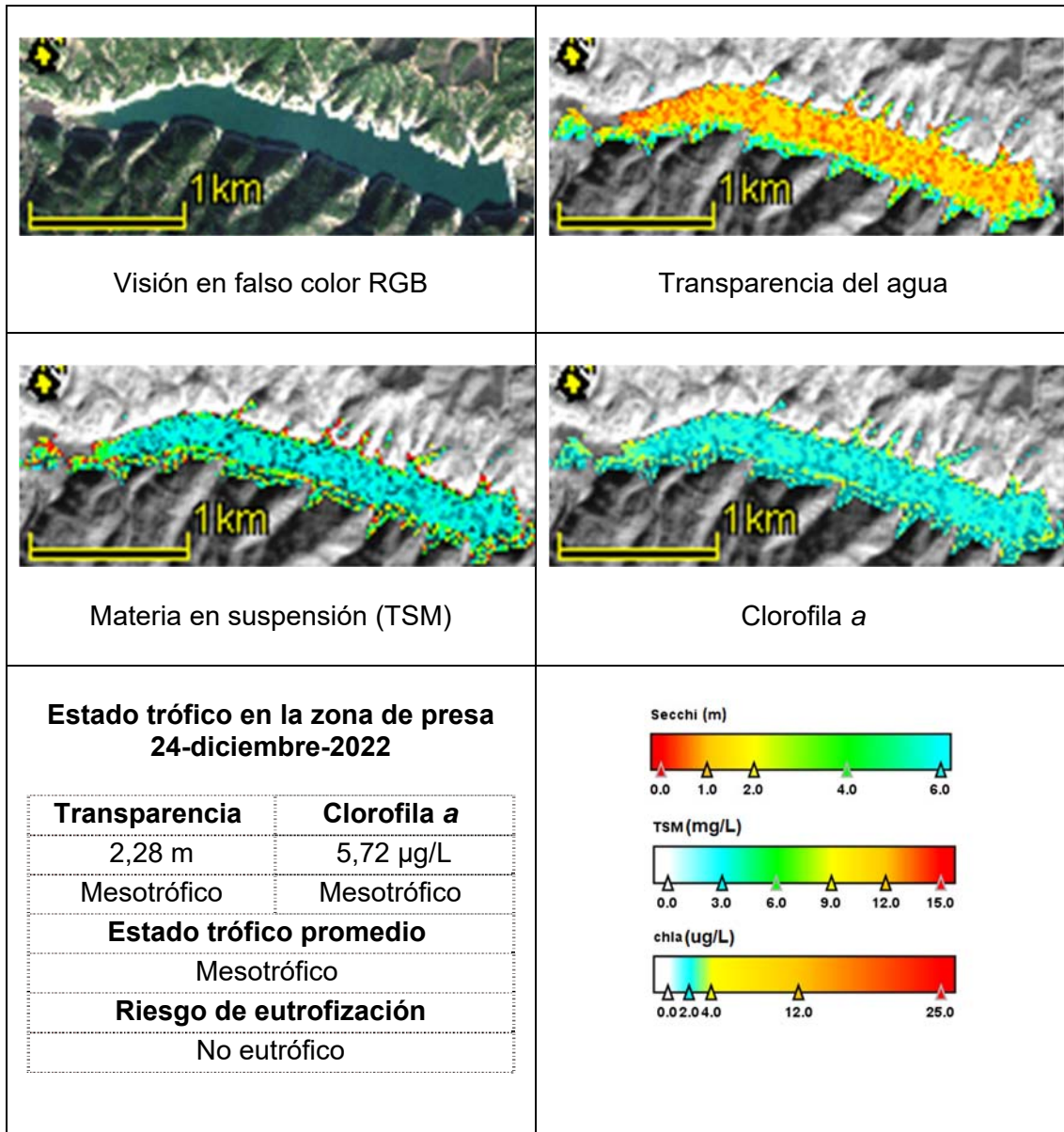
MASA 68. EMBALSE DE EL VAL



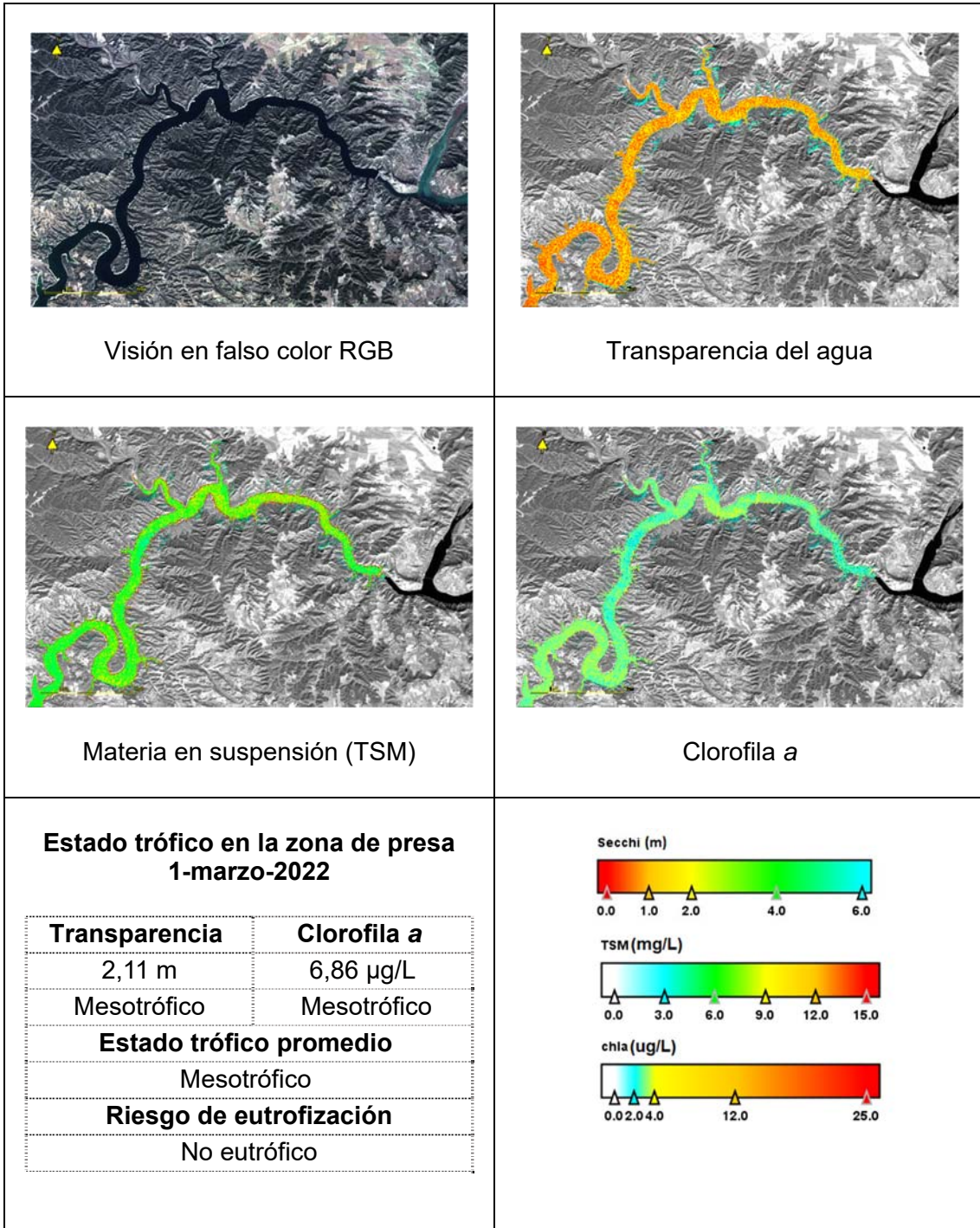
MASA 68. EMBALSE DE EL VAL



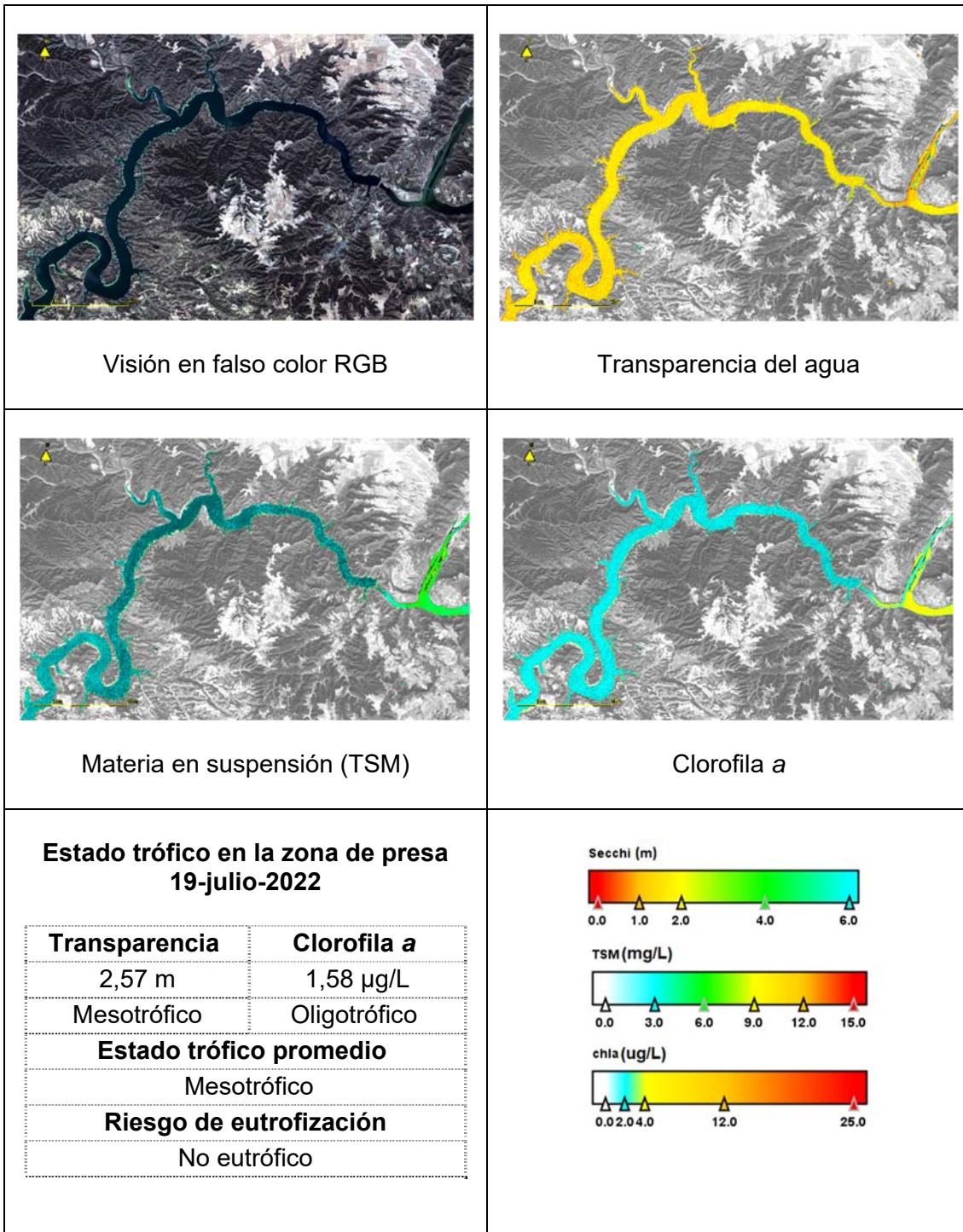
MASA 68. EMBALSE DE EL VAL



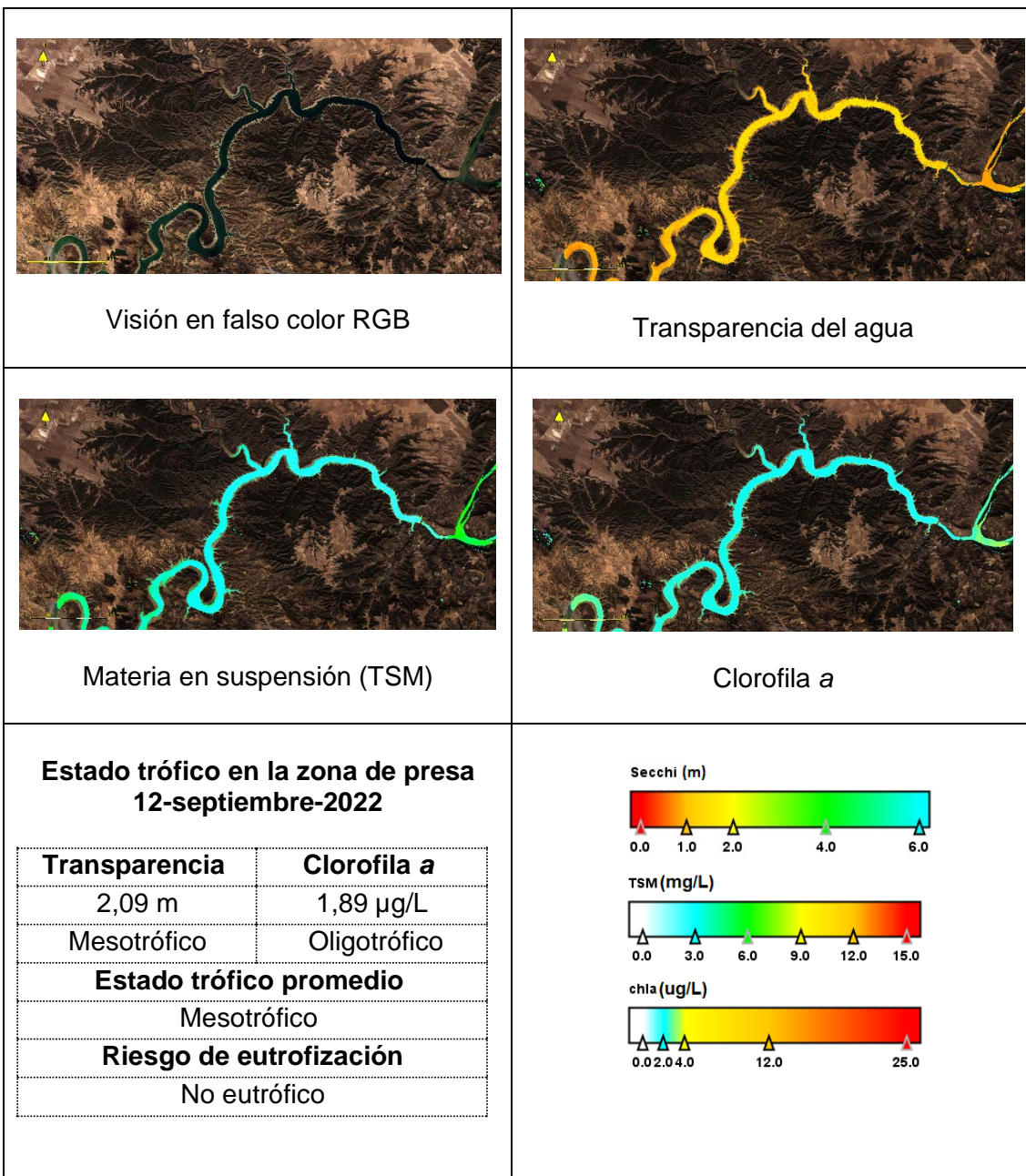
MASA 70. EMBALSE DE MEQUINENZA



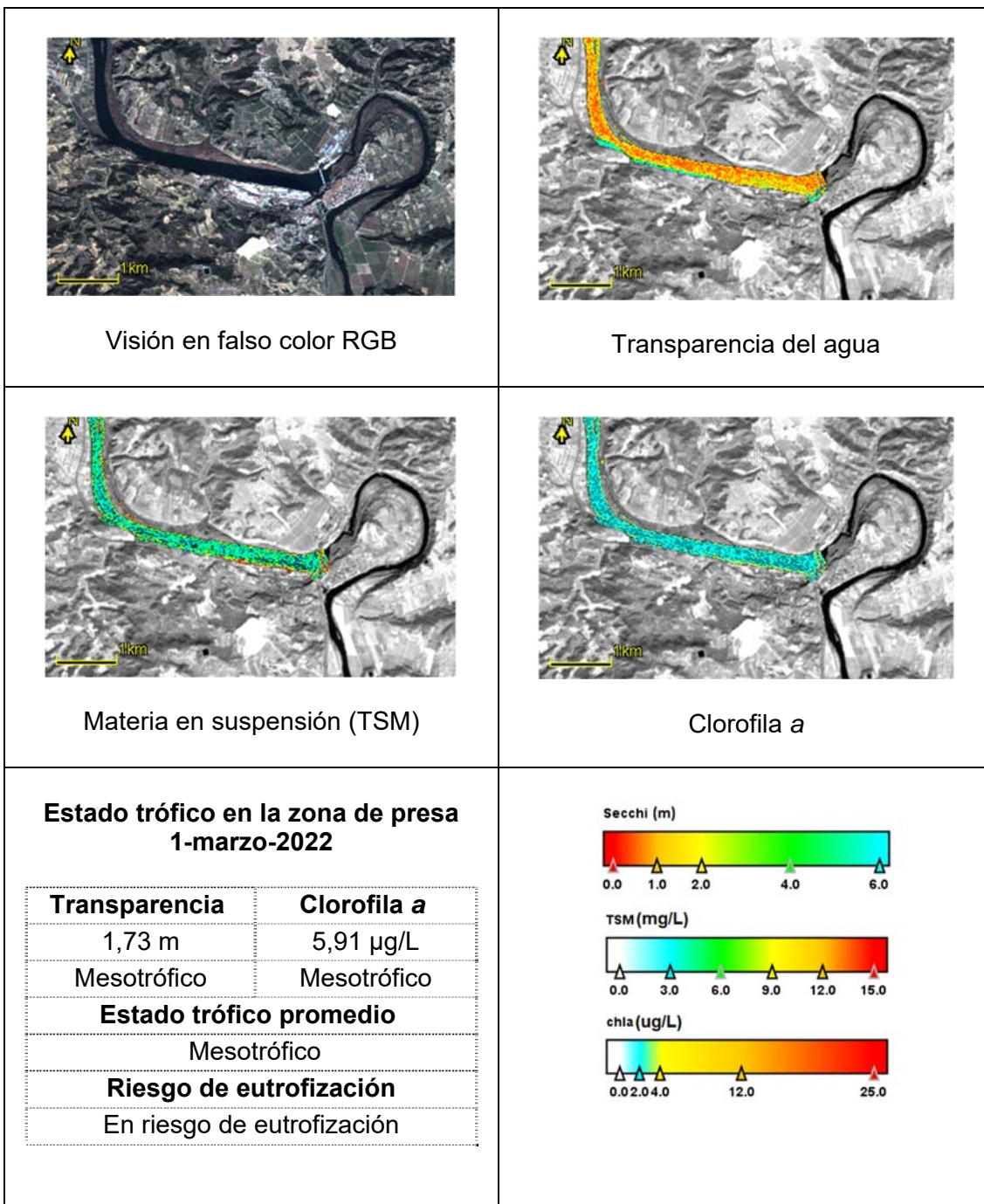
MASA 70. EMBALSE DE MEQUINENZA



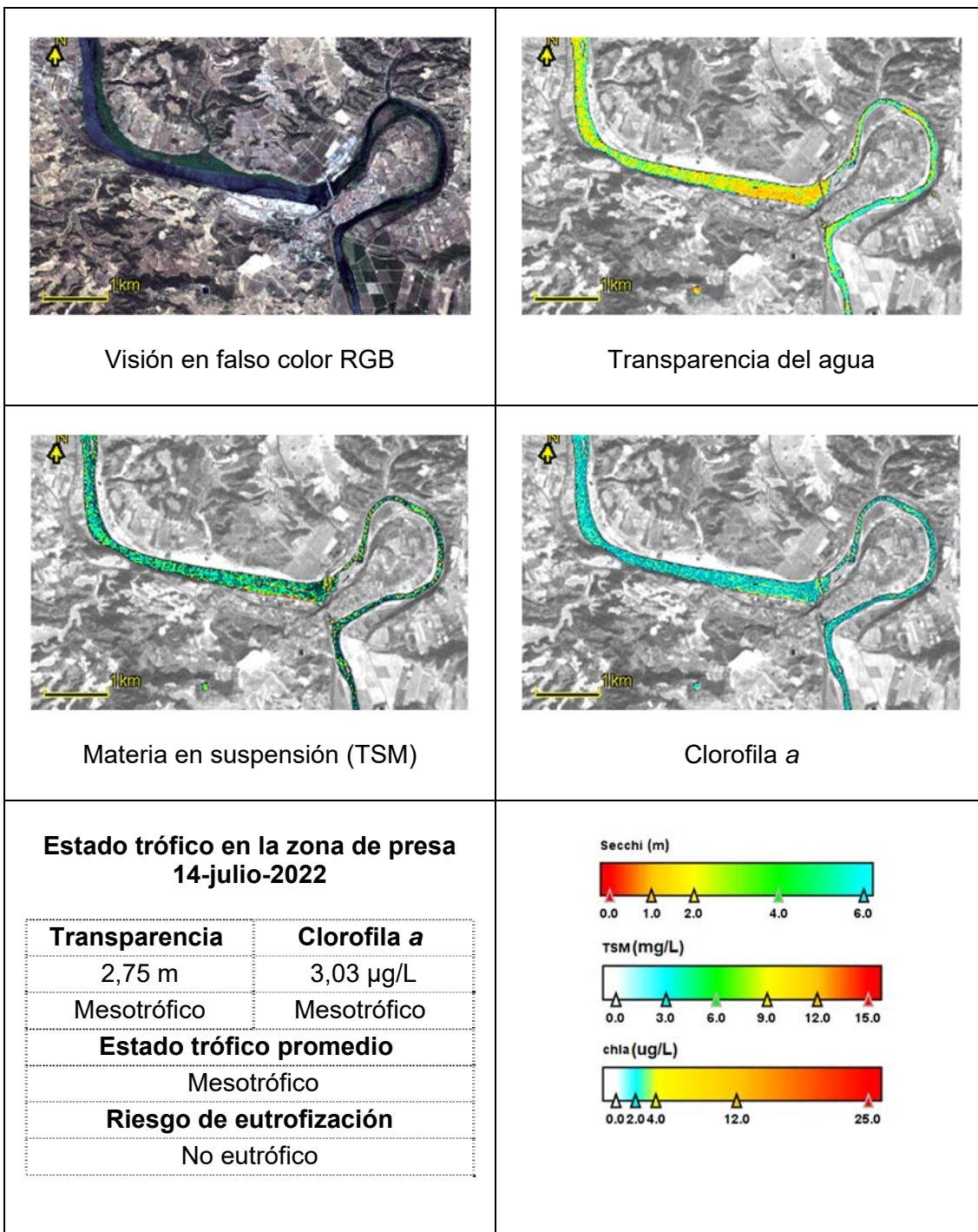
MASA 70. EMBALSE DE MEQUINENZA



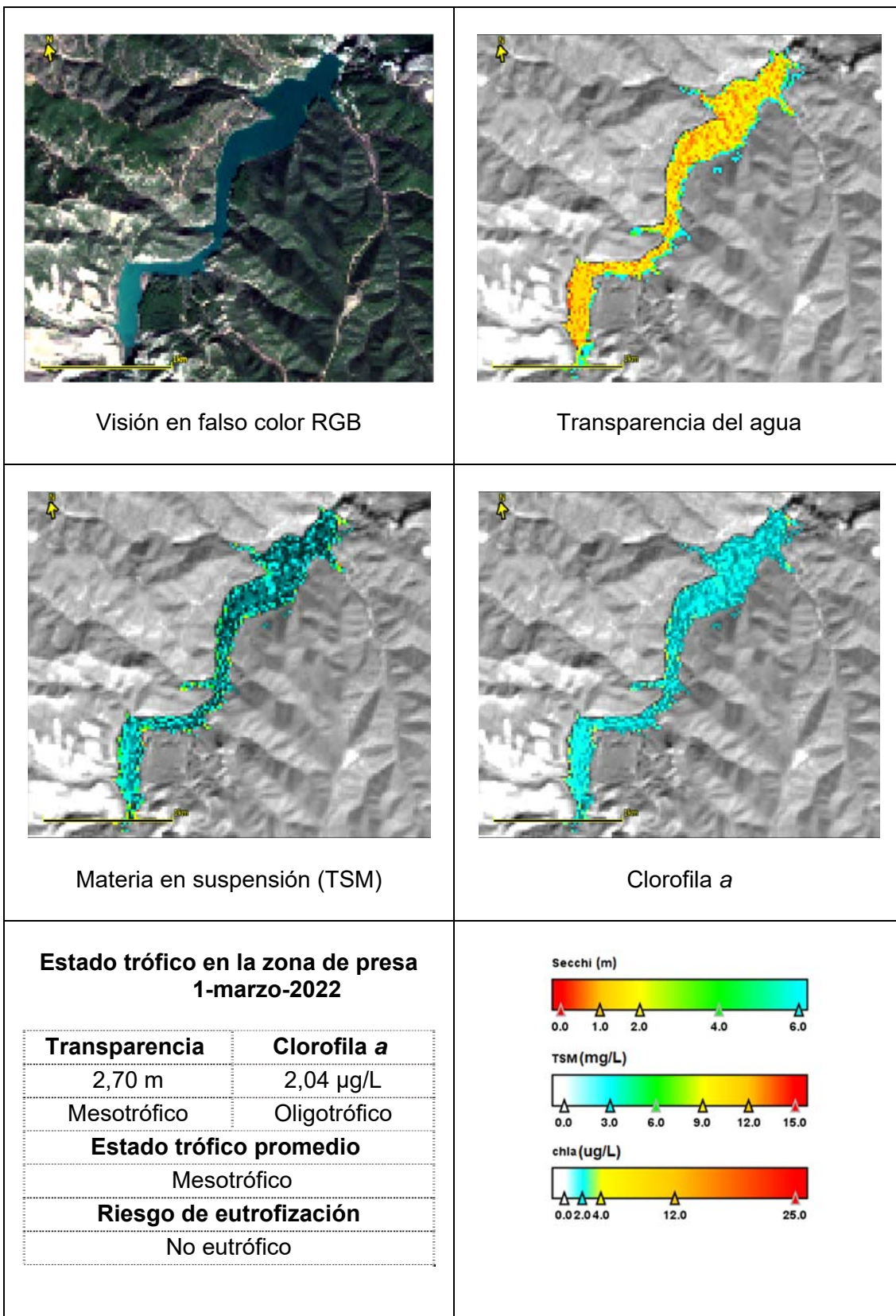
MASA 74. EMBALSE DE FLIX



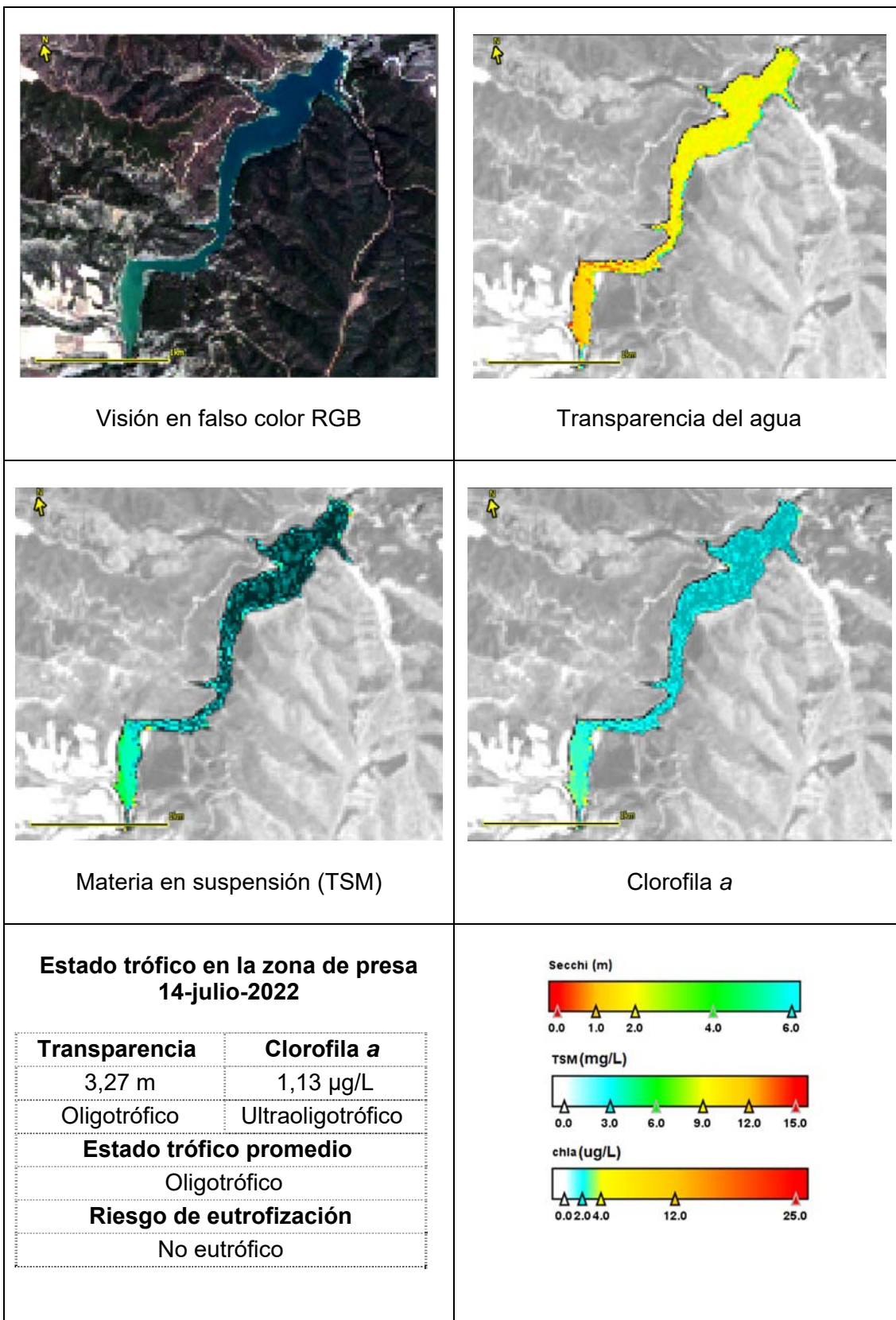
MASA 74. EMBALSE DE FLIX



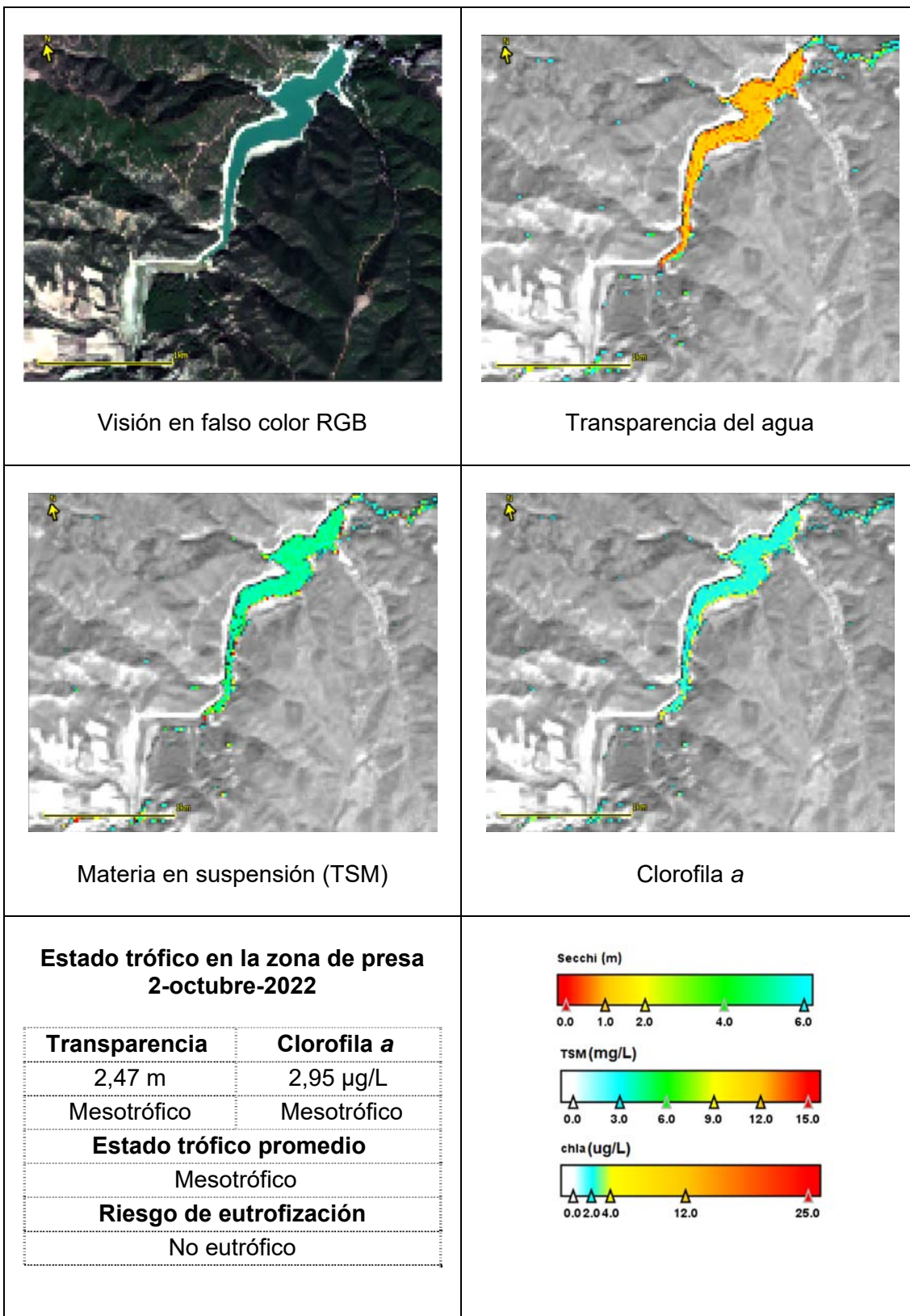
MASA 75. EMBALSE DE LAS TORCAS



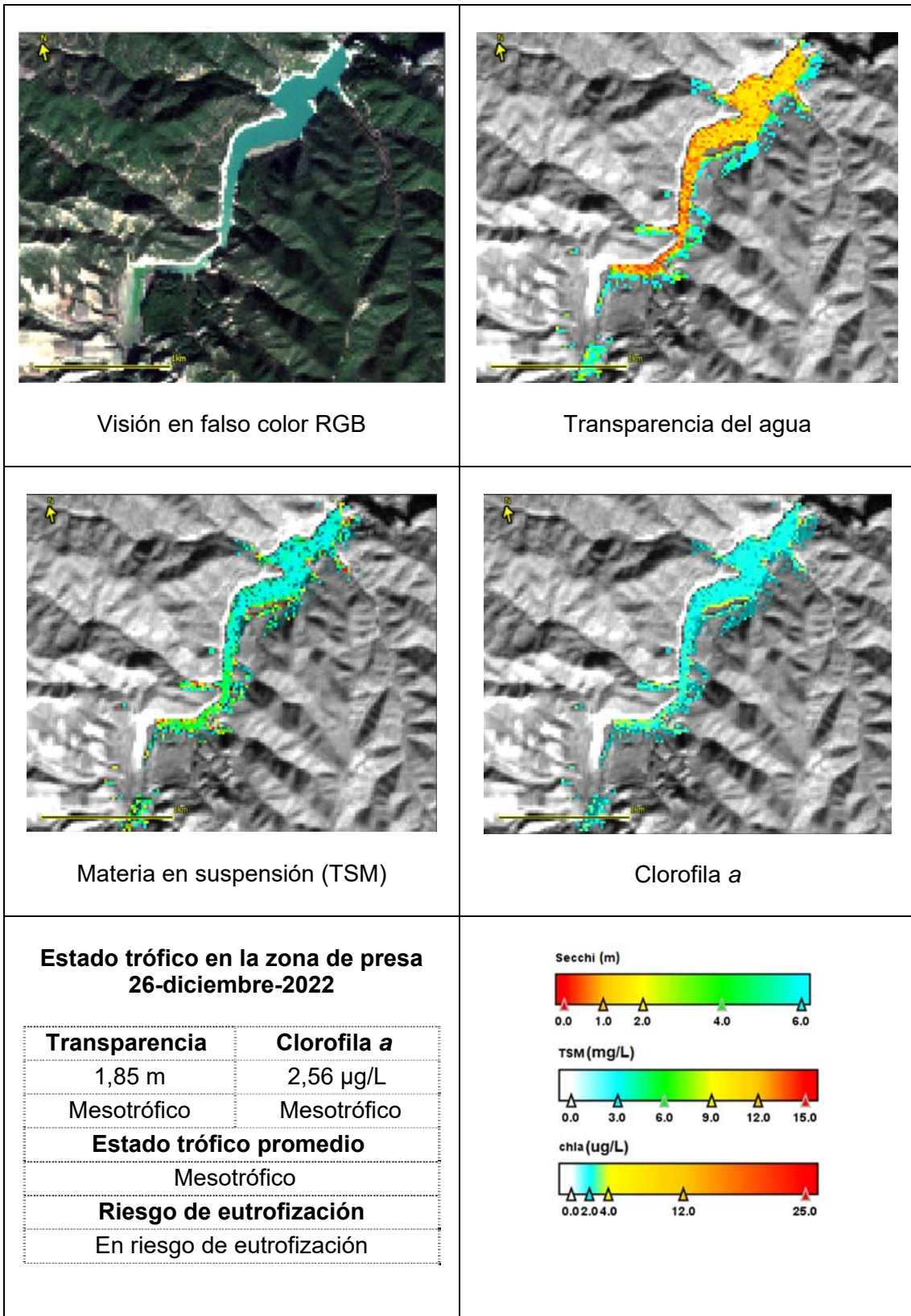
MASA 75. EMBALSE DE LAS TORCAS



MASA 75. EMBALSE DE LAS TORCAS



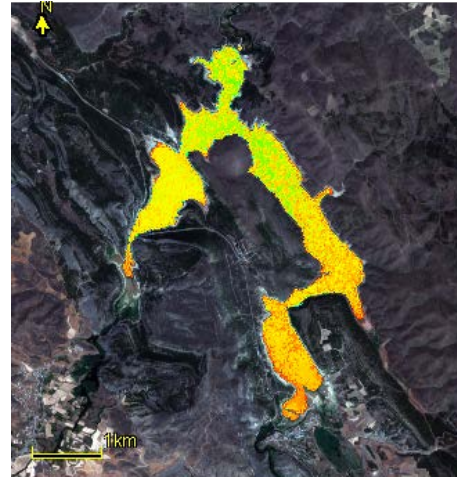
MASA 75. EMBALSE DE LAS TORCAS



MASA 76. EMBALSE DE LA TRANQUERA



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



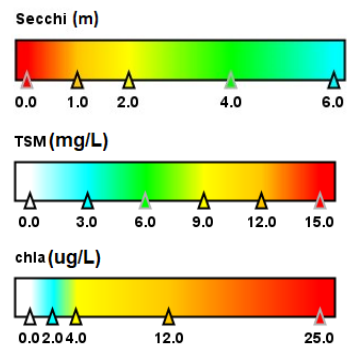
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

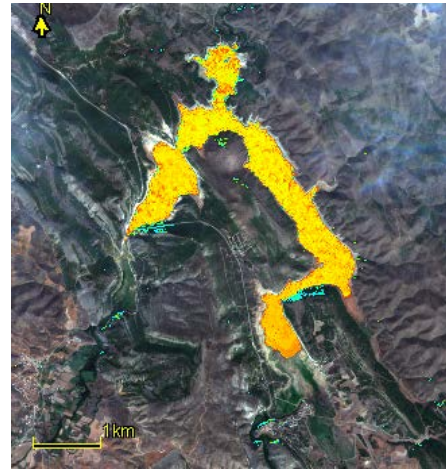
Transparencia	Clorofila a
2,50 m	2,10 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



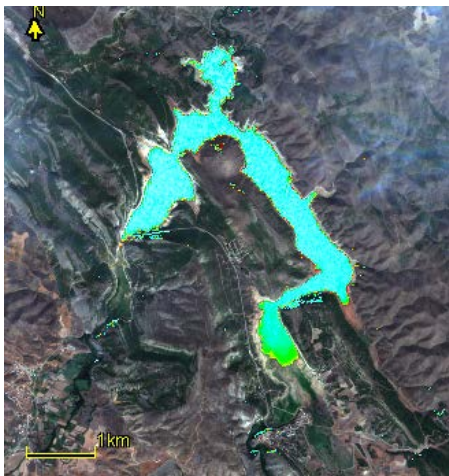
MASA 76. EMBALSE DE LA TRANQUERA



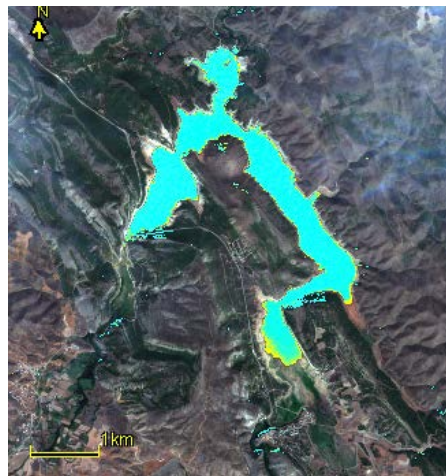
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



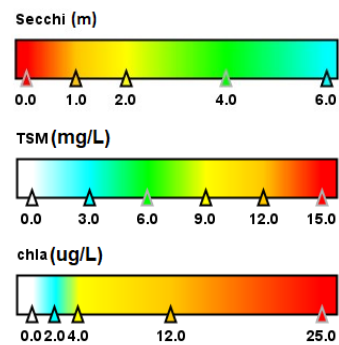
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
20-septiembre-2022**

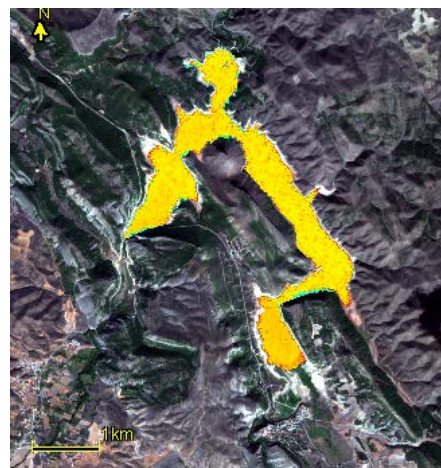
Transparencia	Clorofila a
2,36 m	2,09 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



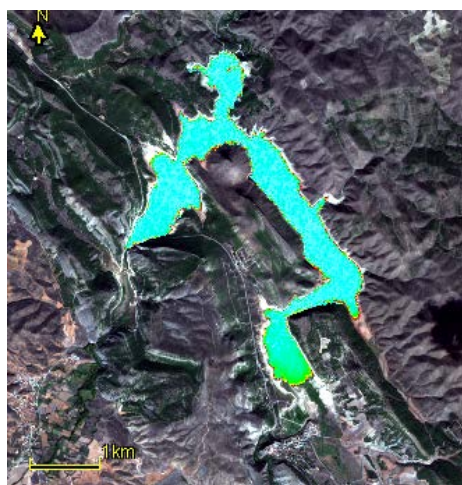
MASA 76. EMBALSE DE LA TRANQUERA



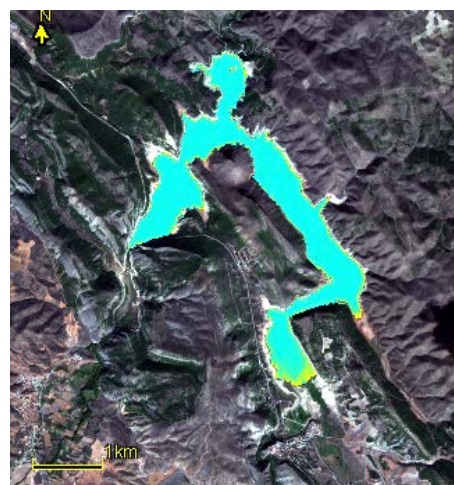
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



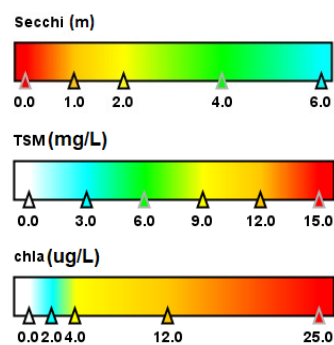
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
15-octubre-2022**

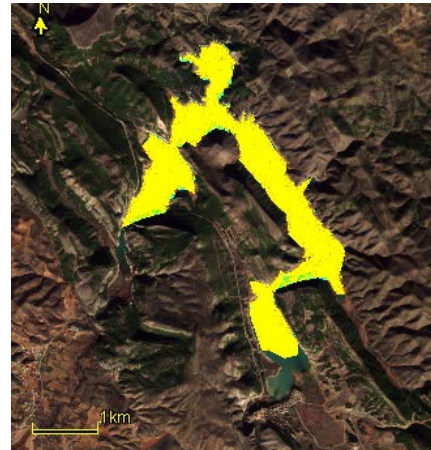
Transparencia	Clorofila a
2,36 m	2,60 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



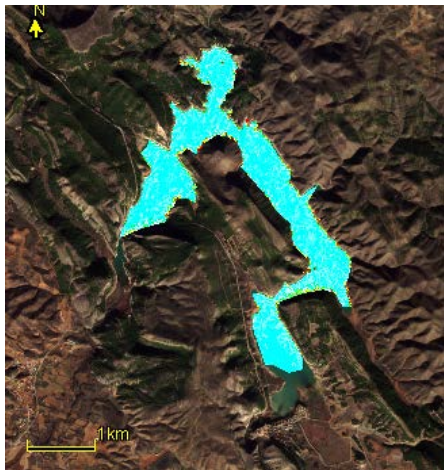
MASA 76. EMBALSE DE LA TRANQUERA



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



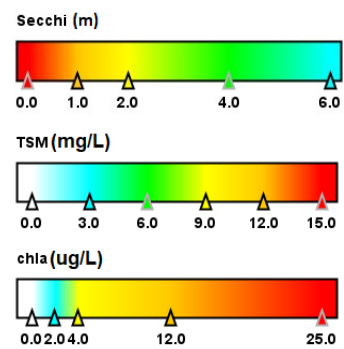
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
24-diciembre-2022**

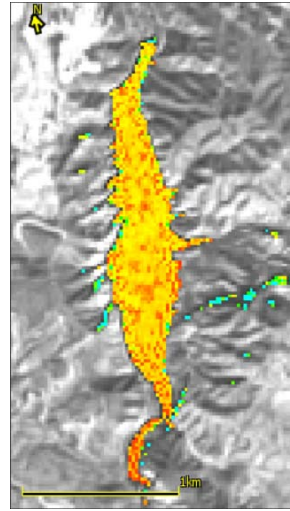
Transparencia	Clorofila a
2,07 m	2,22 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



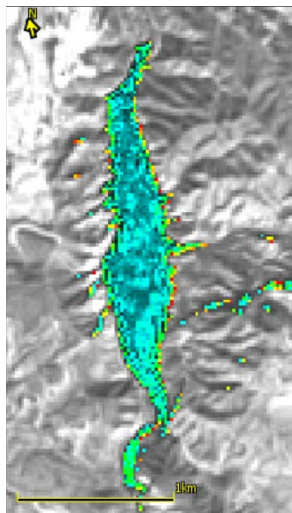
MASA 77. EMBALSE DE MONEVA



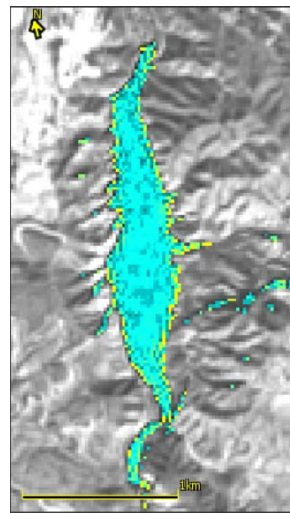
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



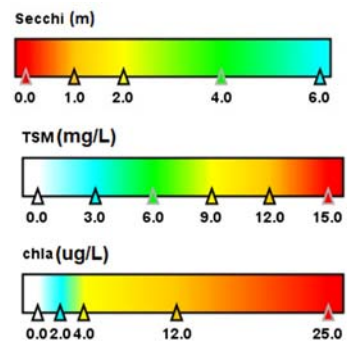
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
1-marzo-2022**

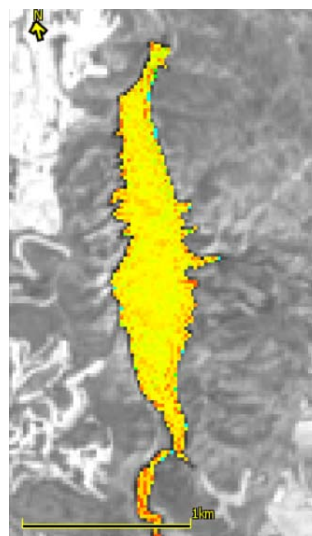
Transparencia	Clorofila a
2,36 m	4,14 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



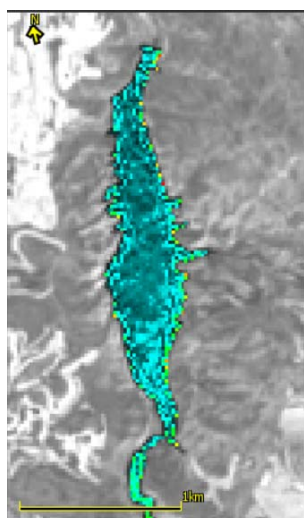
MASA 77. EMBALSE DE MONEVA



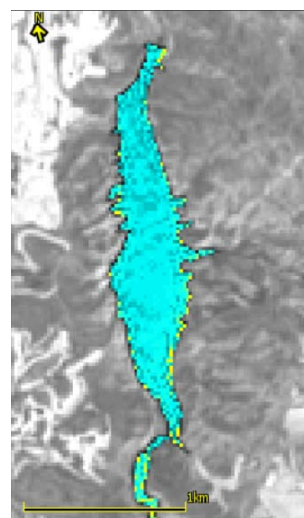
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



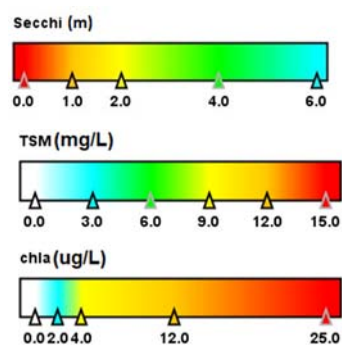
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

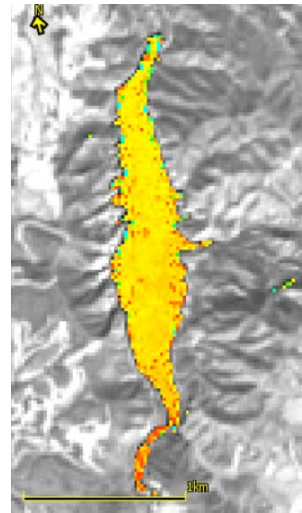
Transparencia	Clorofila a
2,88 m	4,09 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



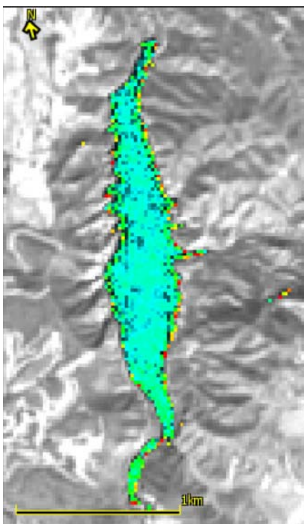
MASA 77. EMBALSE DE MONEVA



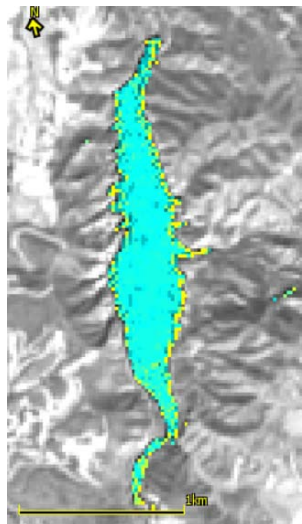
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



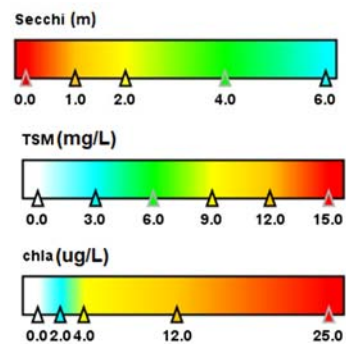
Materia en suspensión (TSM)



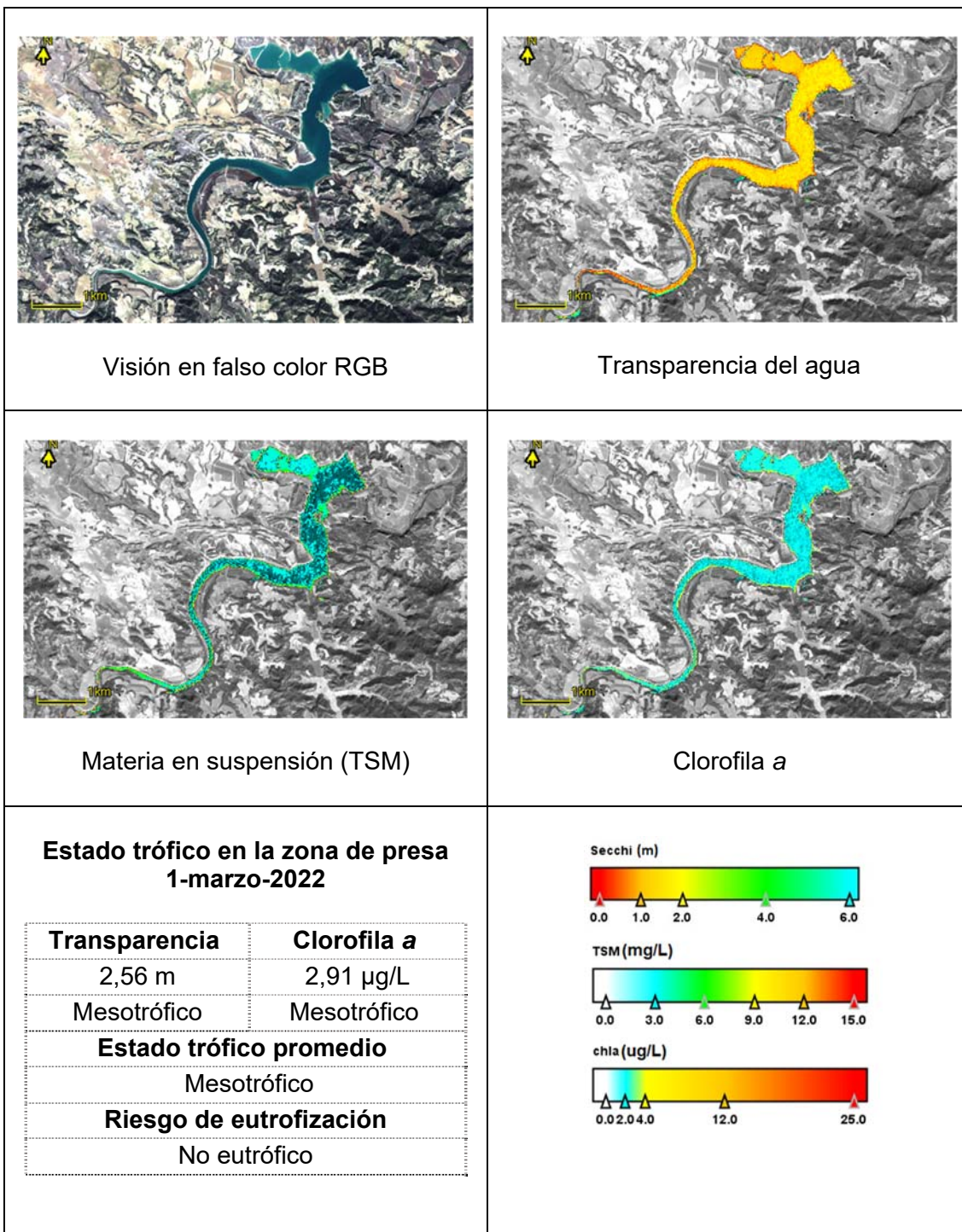
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
2-octubre-2022**

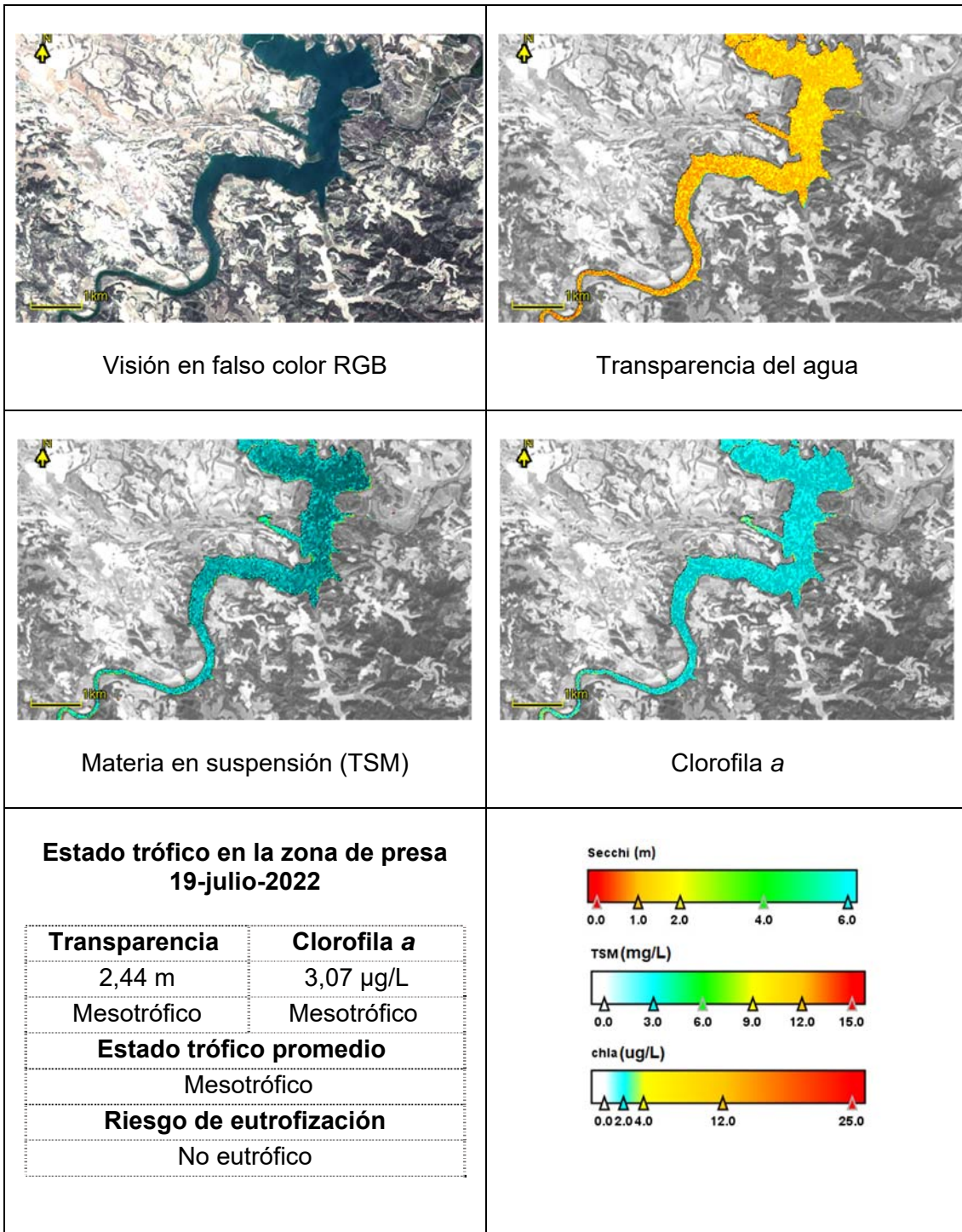
Transparencia	Clorofila a
1,93 m	4,89 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



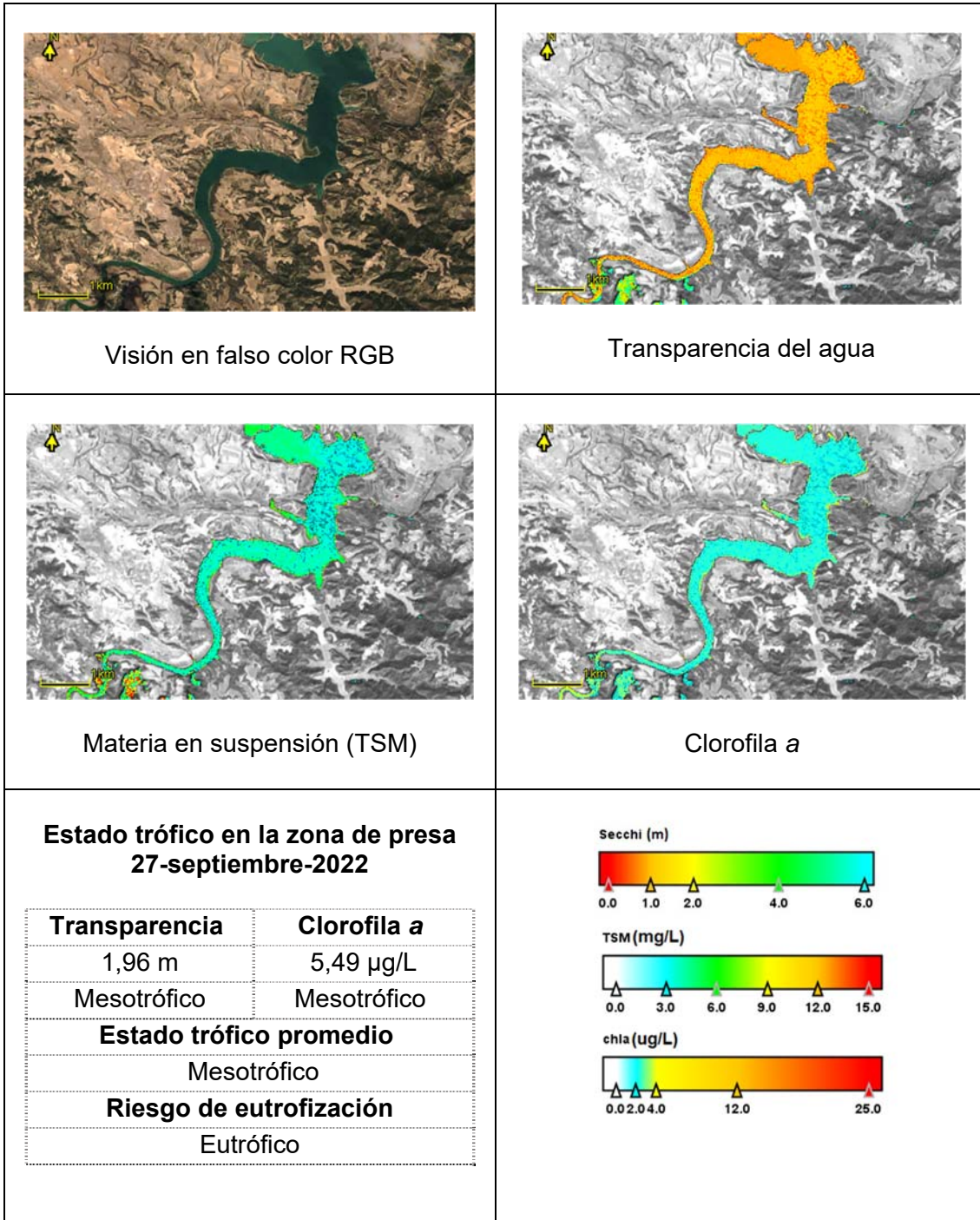
MASA 78. EMBALSE DE CASPE



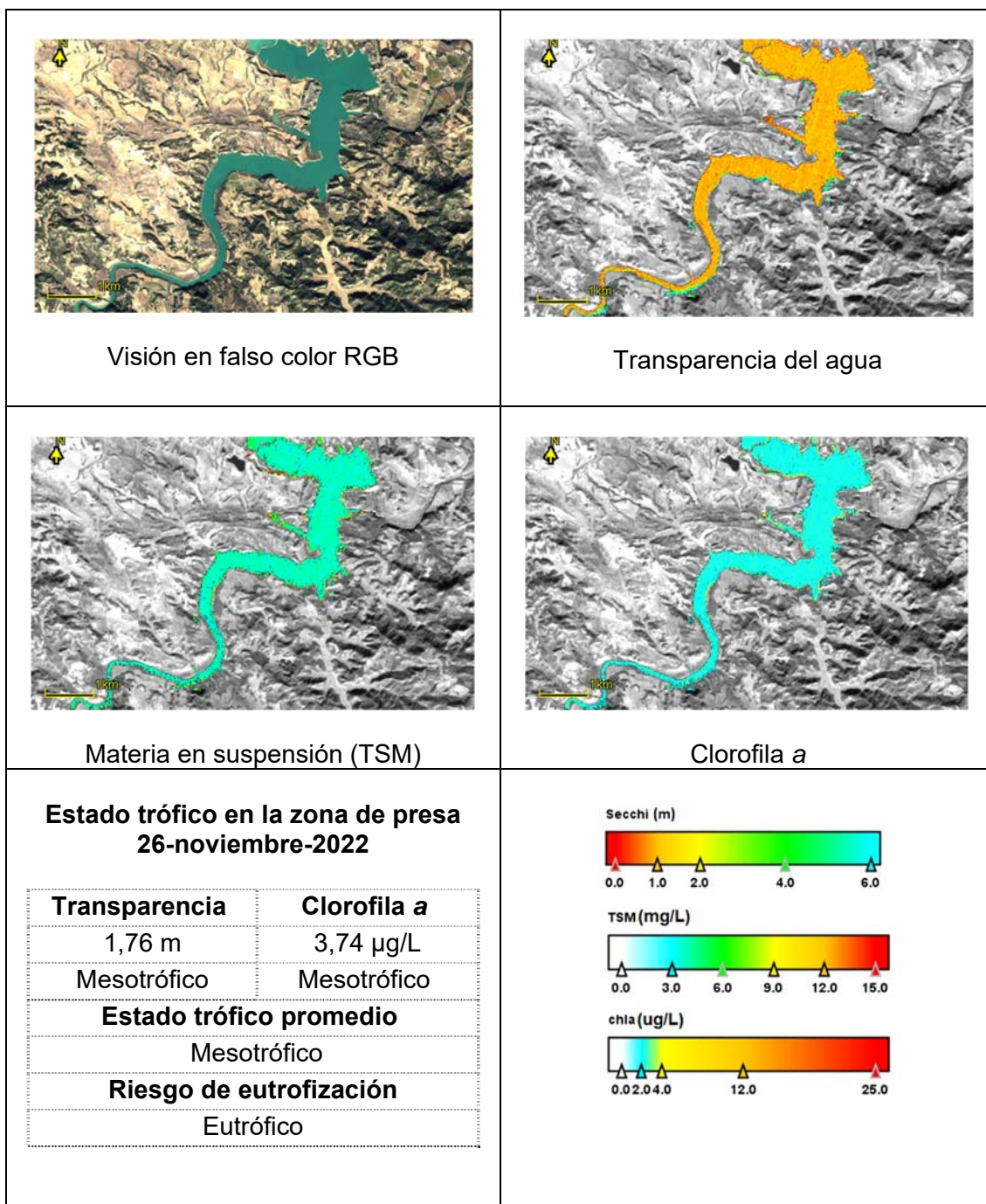
MASA 78. EMBALSE DE CASPE



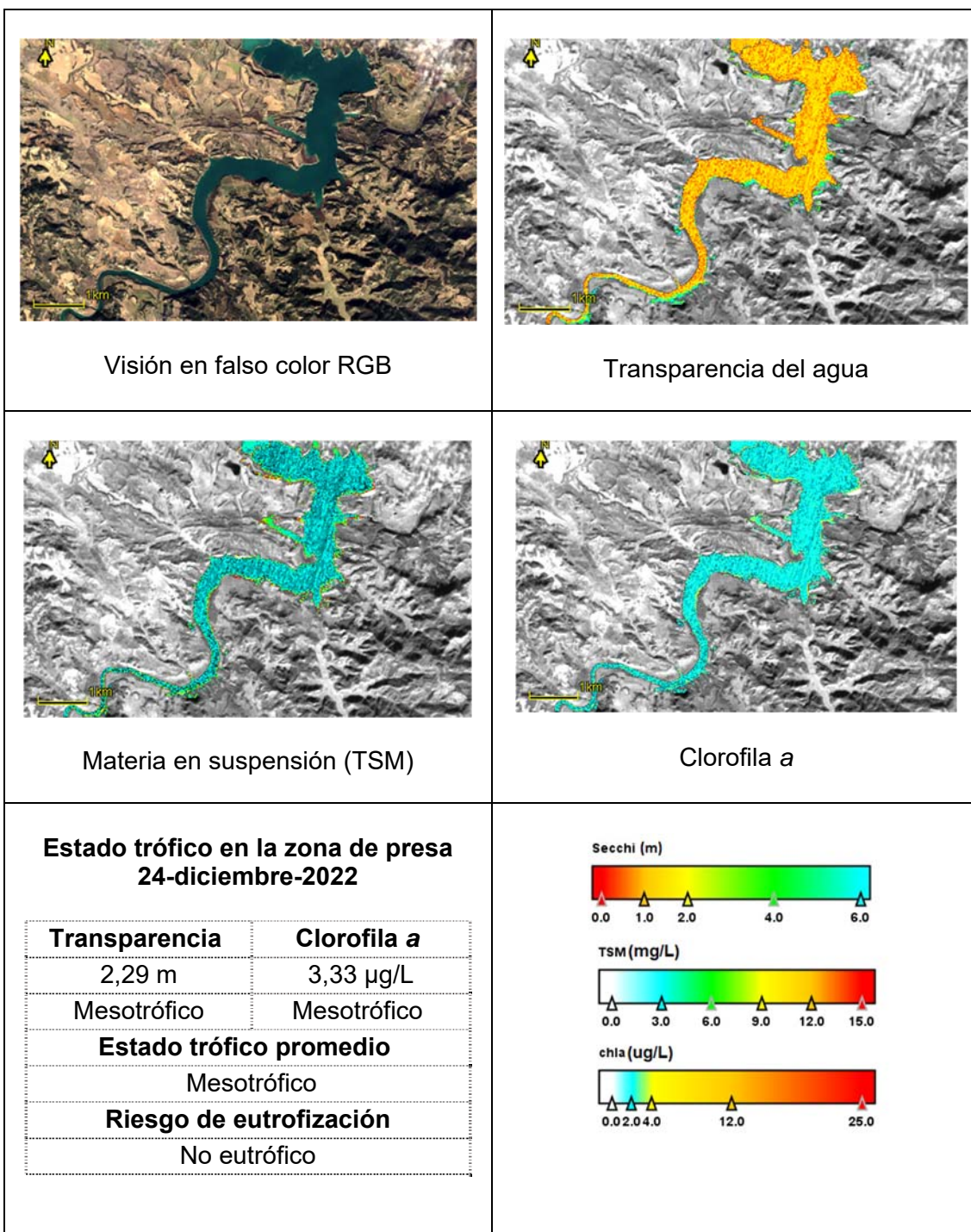
MASA 78. EMBALSE DE CASPE



MASA 78. EMBALSE DE CASPE



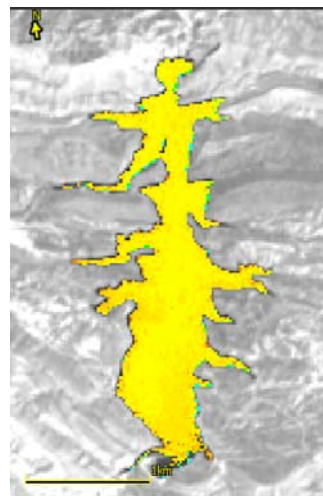
MASA 78. EMBALSE DE CASPE



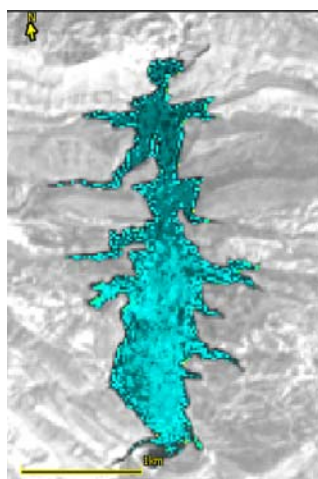
MASA 80. EMBALSE DE CUEVA FORADADA



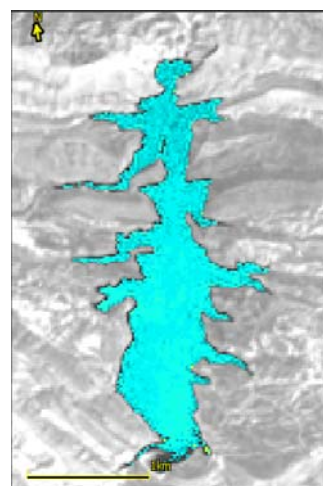
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



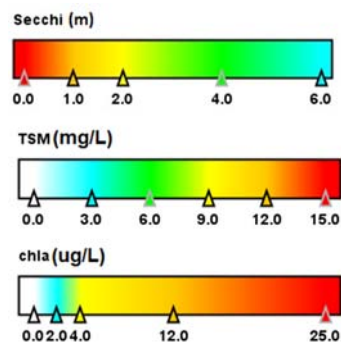
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

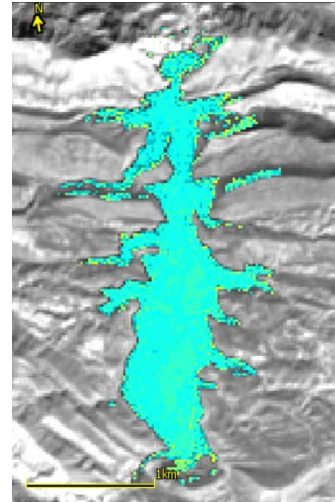
Transparencia	Clorofila a
2,71 m	2,52 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



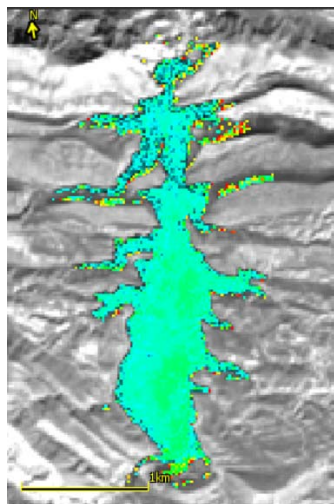
MASA 80. EMBALSE DE CUEVA FORADADA



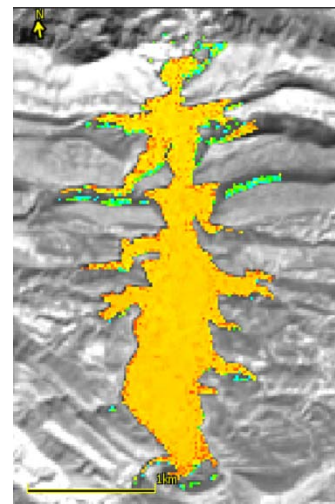
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



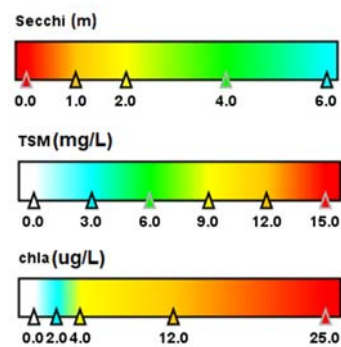
Materia en suspensión (TSM)



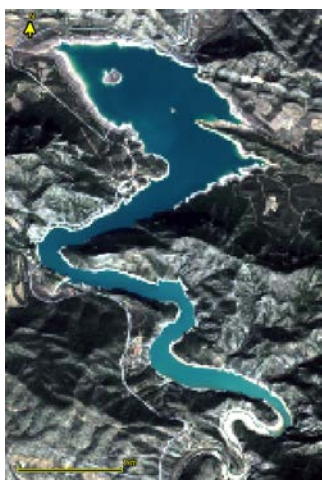
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
2-octubre-2022**

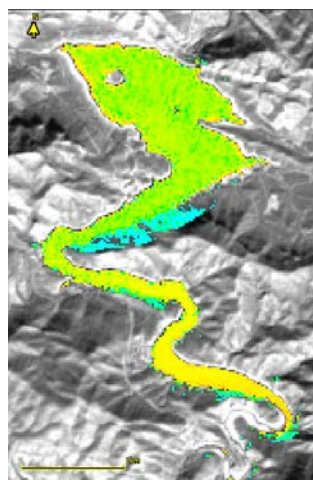
Transparencia	Clorofila a
4,01 m	5,88 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



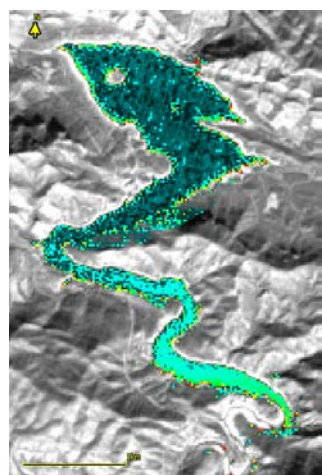
MASA 82. EMBALSE DE CALANDA



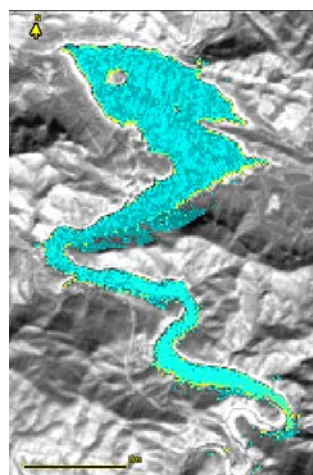
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



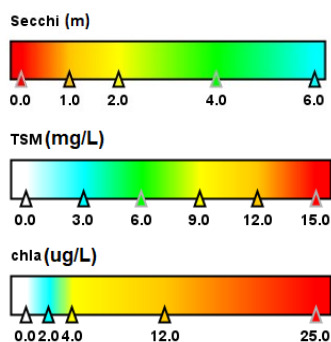
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
1-marzo-2022**

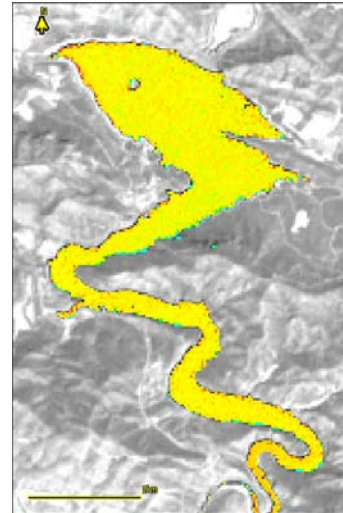
Transparencia	Clorofila a
2,86 m	1,68 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



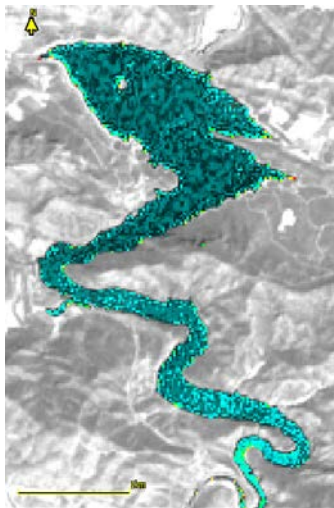
MASA 82. EMBALSE DE CALANDA



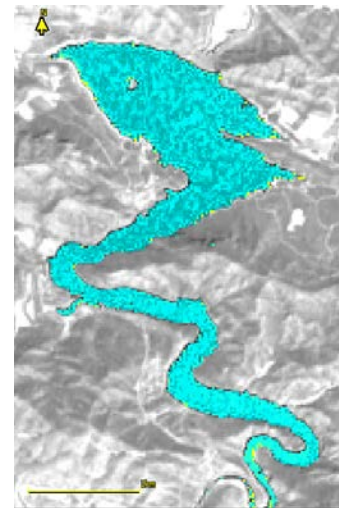
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

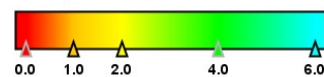


Clorofila a

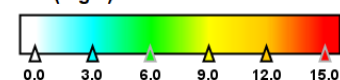
Estado trófico en la zona de presa

Transparencia	Clorofila a
2,84 m	2,77 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	

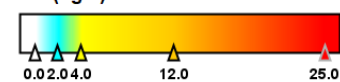
Secchi (m)



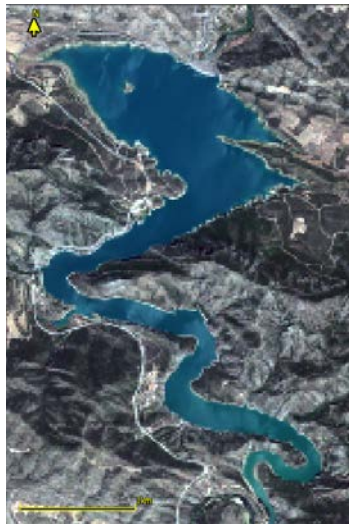
TSM (mg/L)



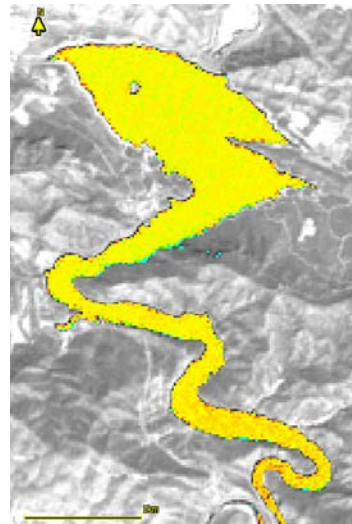
chl a (ug/L)



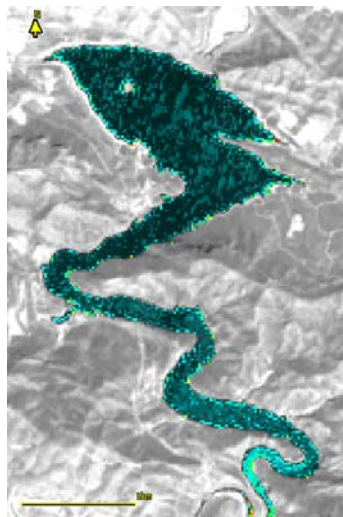
MASA 82. EMBALSE DE CALANDA



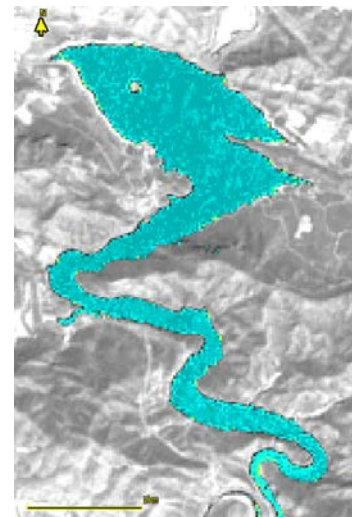
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



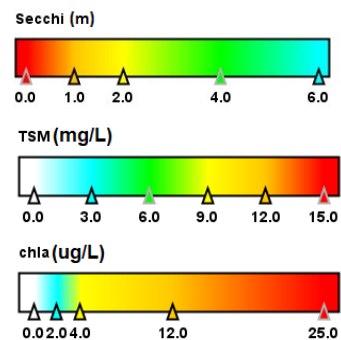
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
19-julio-2022**

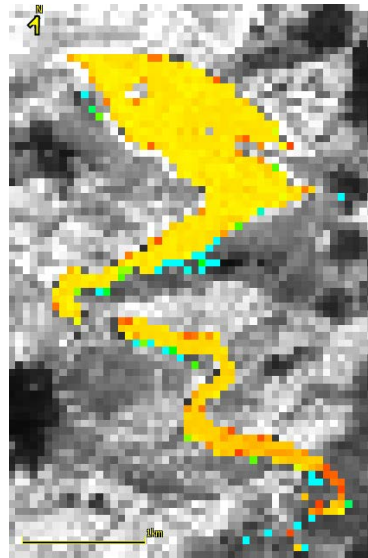
Transparencia	Clorofila a
3,48 m	0,59 µg/L
Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



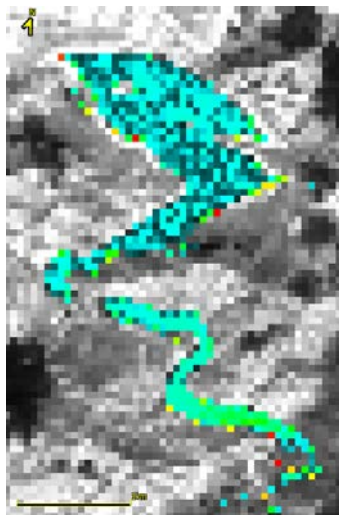
MASA 82. EMBALSE DE CALANDA



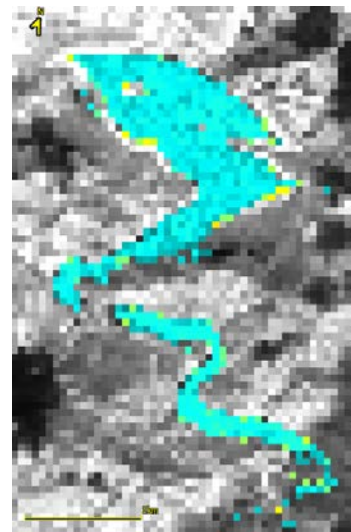
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



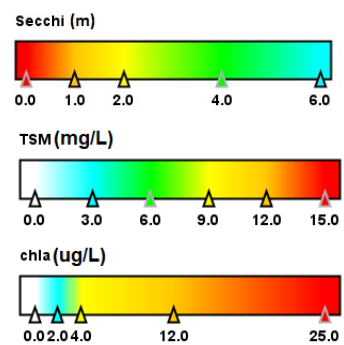
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
27-septiembre-2022**

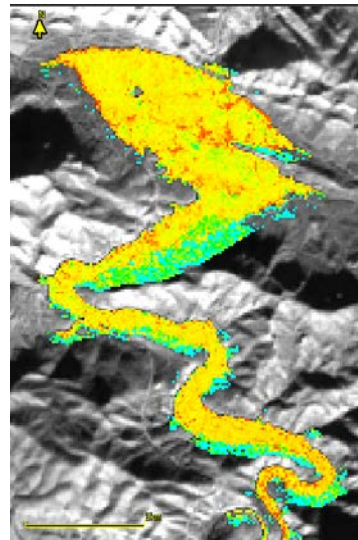
Transparencia	Clorofila a
2.35 m	3,58 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



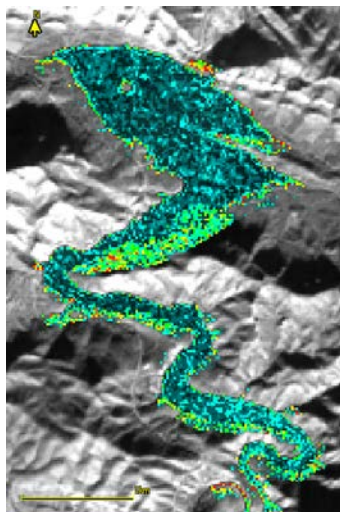
MASA 82. EMBALSE DE CALANDA



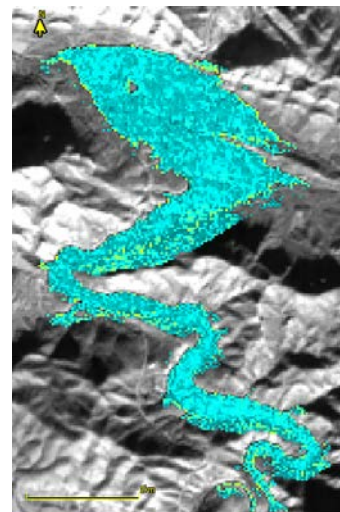
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



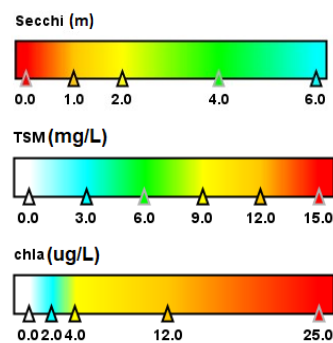
Materia en suspensión (TSM)



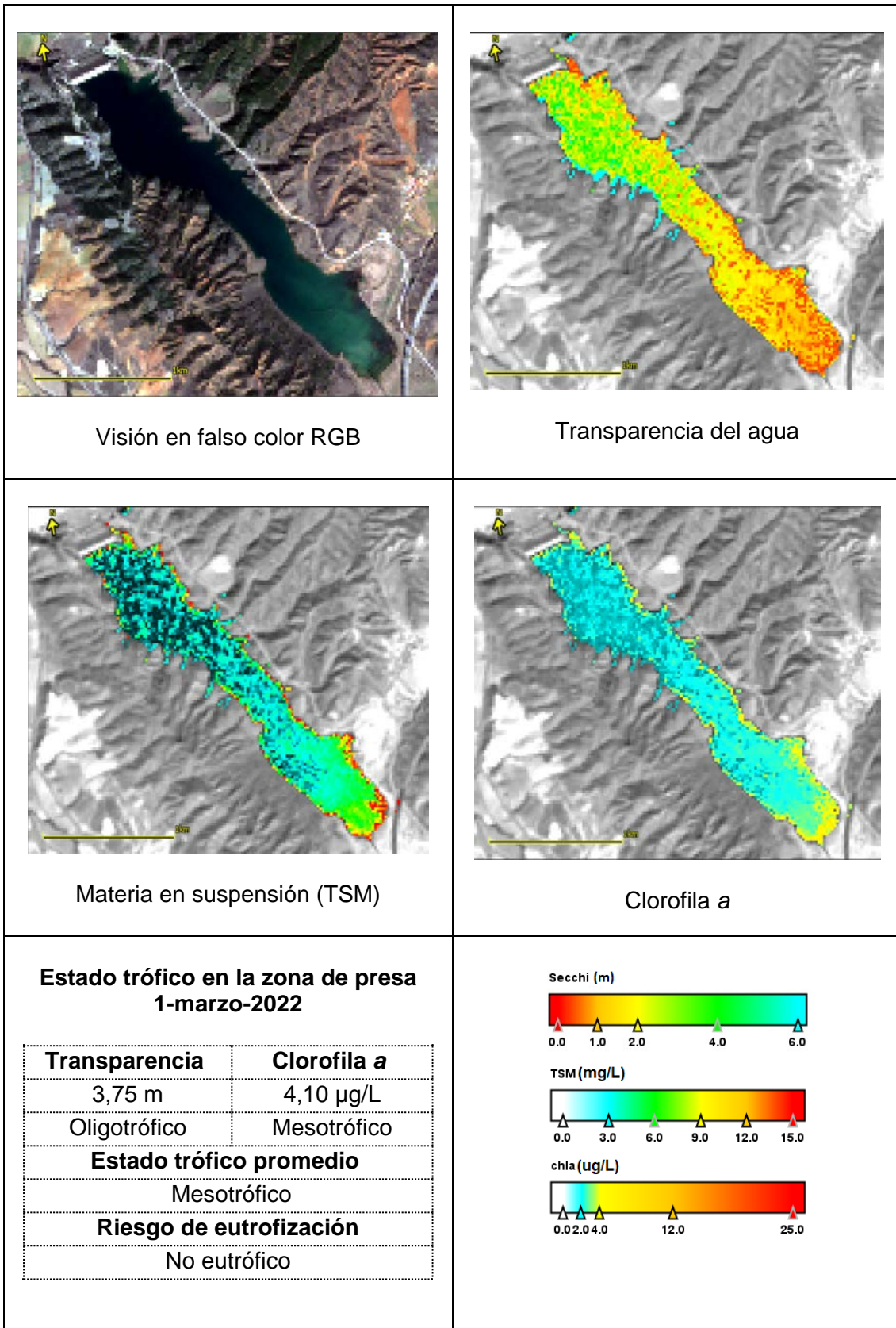
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
26-noviembre-2022**

Transparencia	Clorofila a
2,97 m	2,57 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



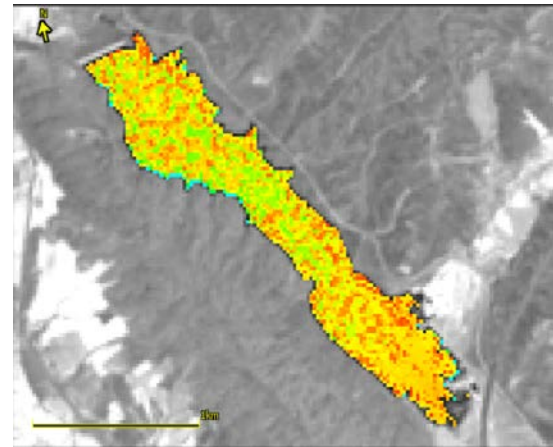
MASA 87. EMBALSE DE LECHAGO



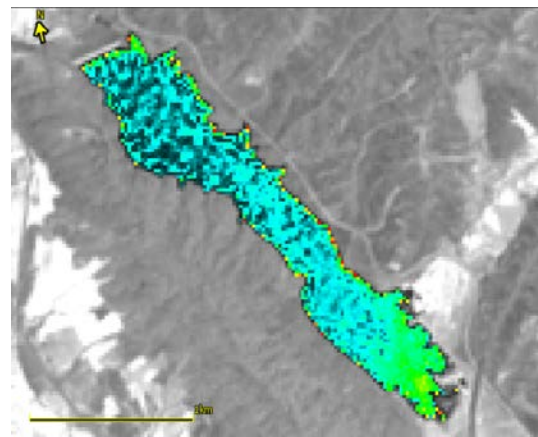
MASA (/). EMBALSE DE LECHAGO



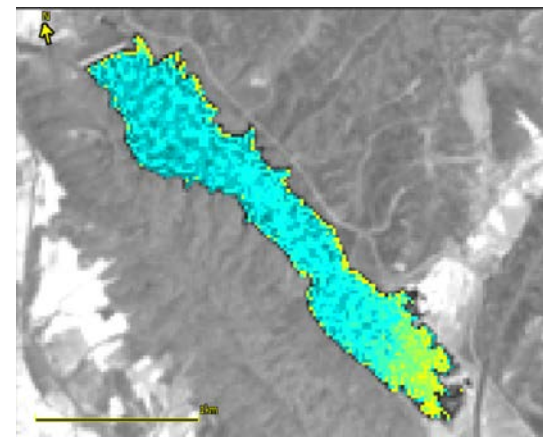
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

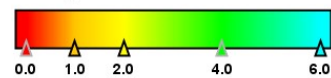


Clorofila a

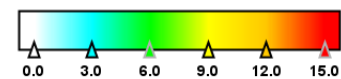
**Estado trófico en la zona de presa
14-julio-2022**

Transparencia	Clorofila a
2,71 m	3,22 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	

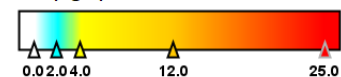
Secchi (m)



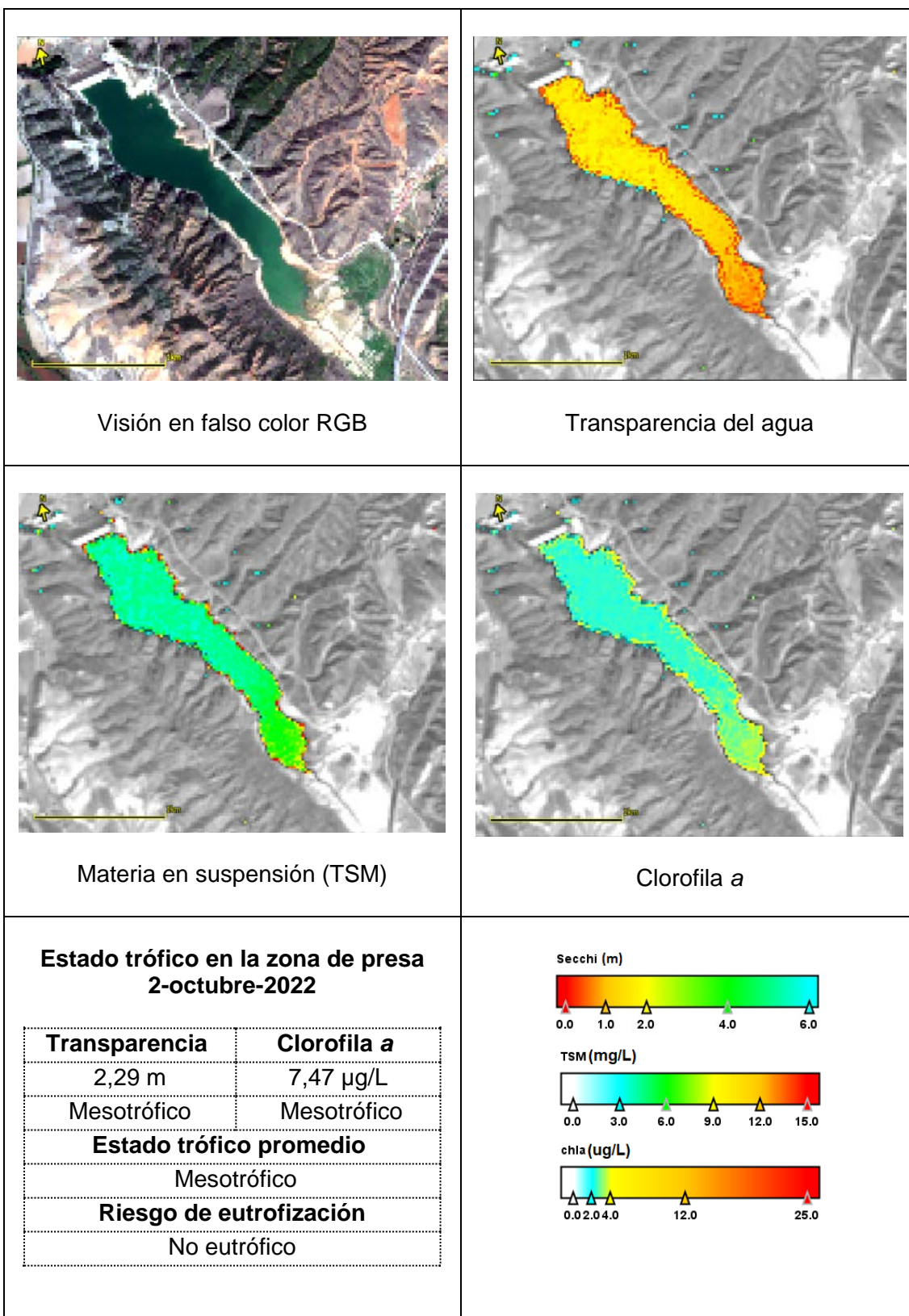
TSM (mg/L)



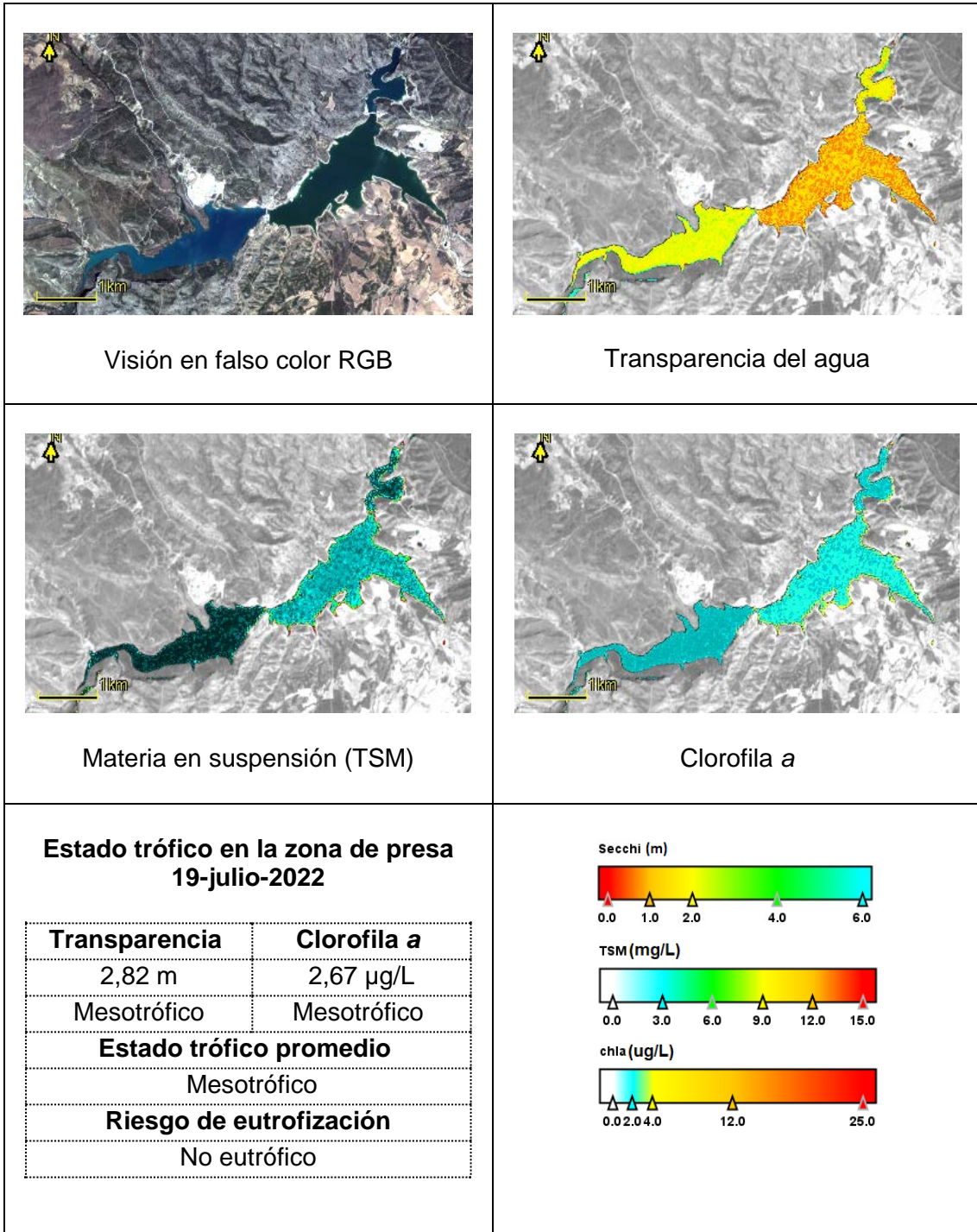
chl a (ug/L)



MASA 87. EMBALSE DE LECHAGO



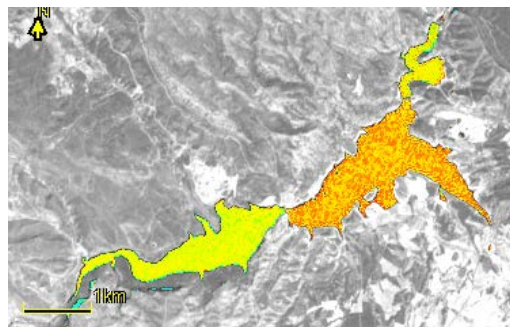
MASA 98. EMBALSE DE PUENTE DE SANTOLEA



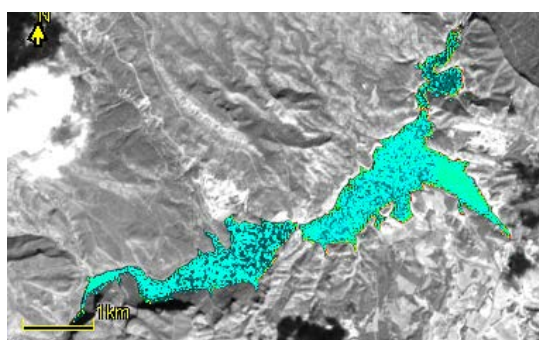
MASA 98. EMBALSE DE PUENTE DE SANTOLEA



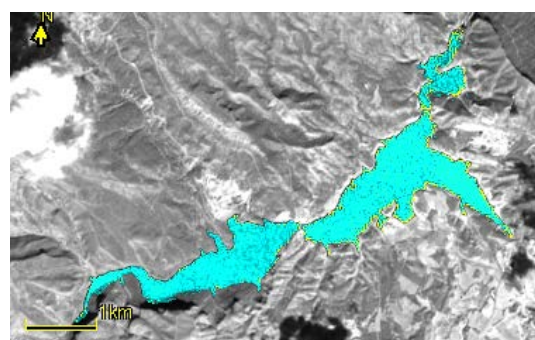
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

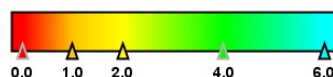


Clorofila a

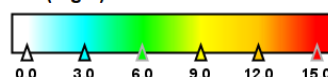
**Estado trófico en la zona de presa
22-septiembre-2022**

Transparencia	Clorofila a
3,30 m	1,50 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	

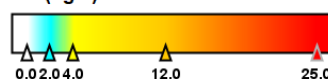
Secchi (m)



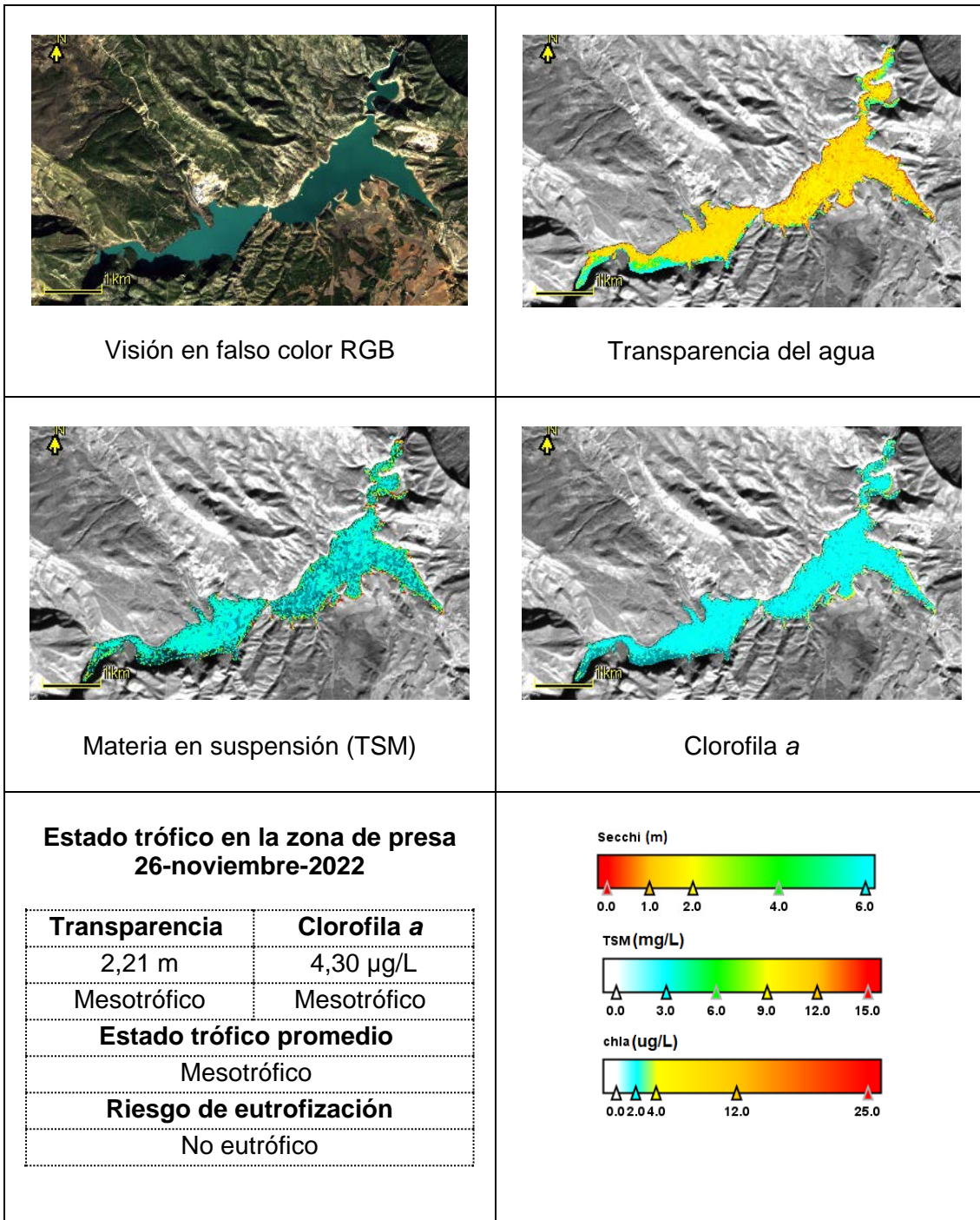
TSM (mg/L)



chl a (ug/L)



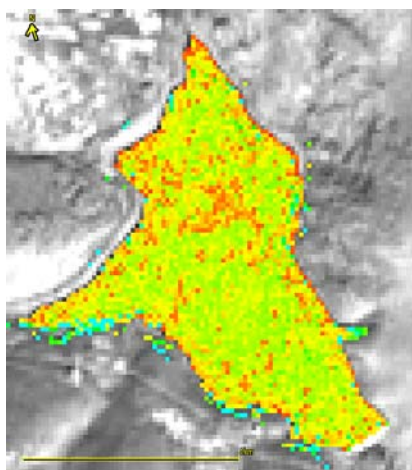
MASA 98. EMBALSE DE PUENTE DE SANTOLEA



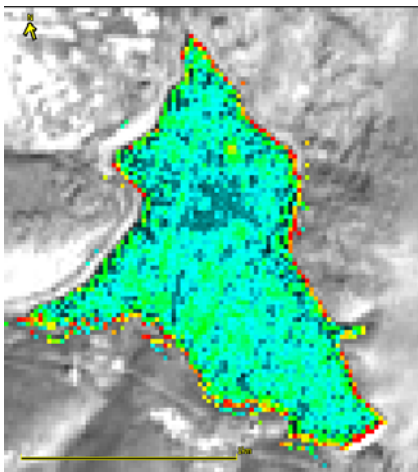
MASA 919. EMBALSE DE ORTIGOSA



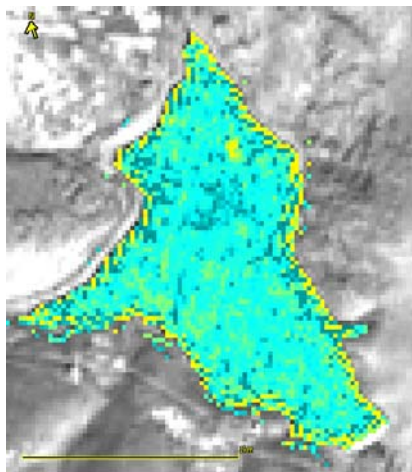
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



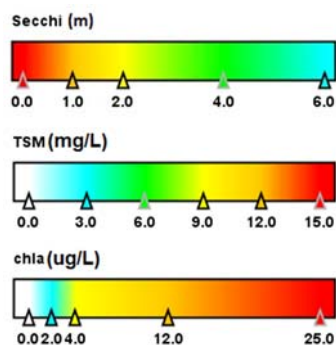
Materia en suspensión (TSM)



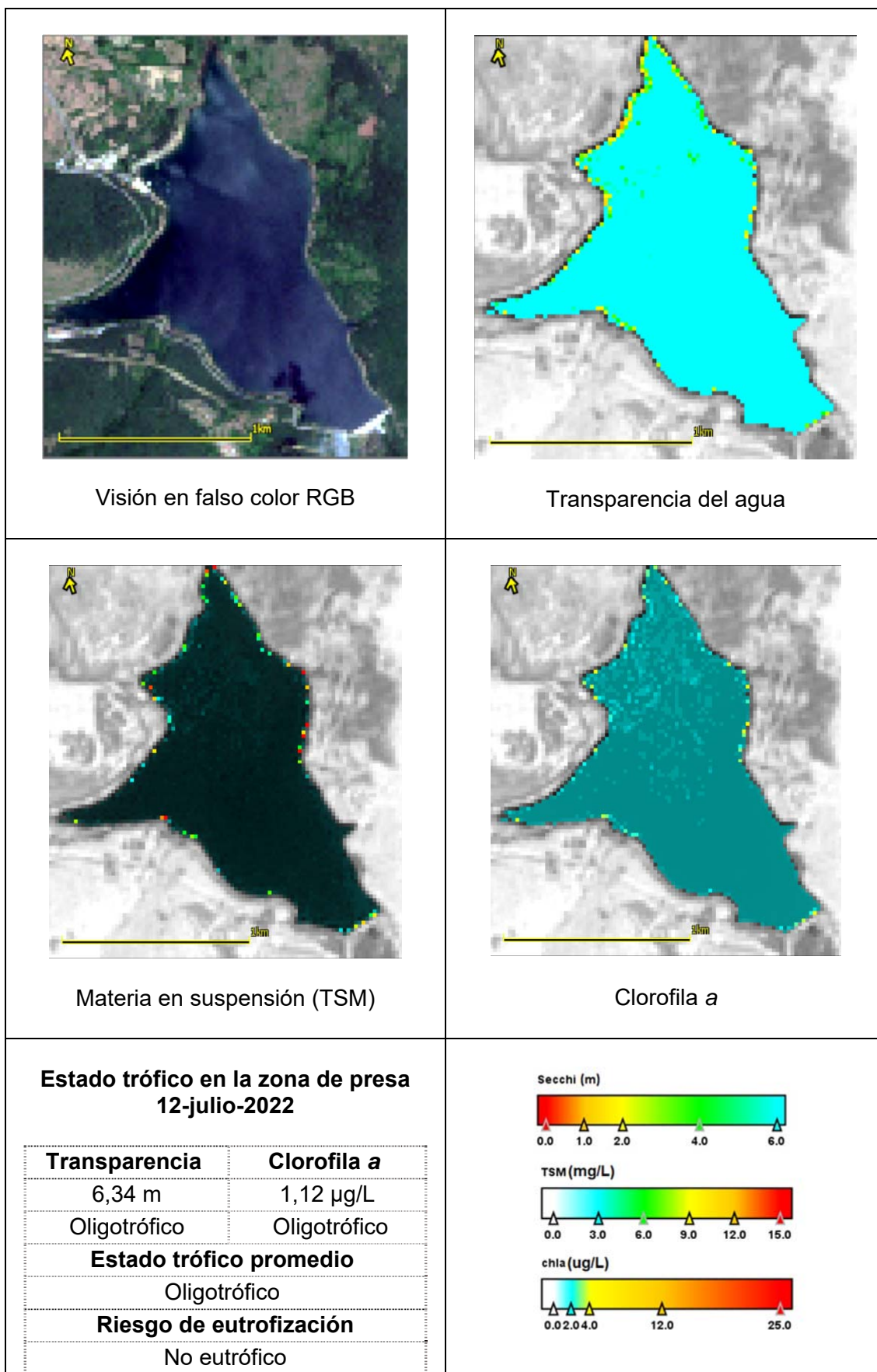
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-febrero-2022**

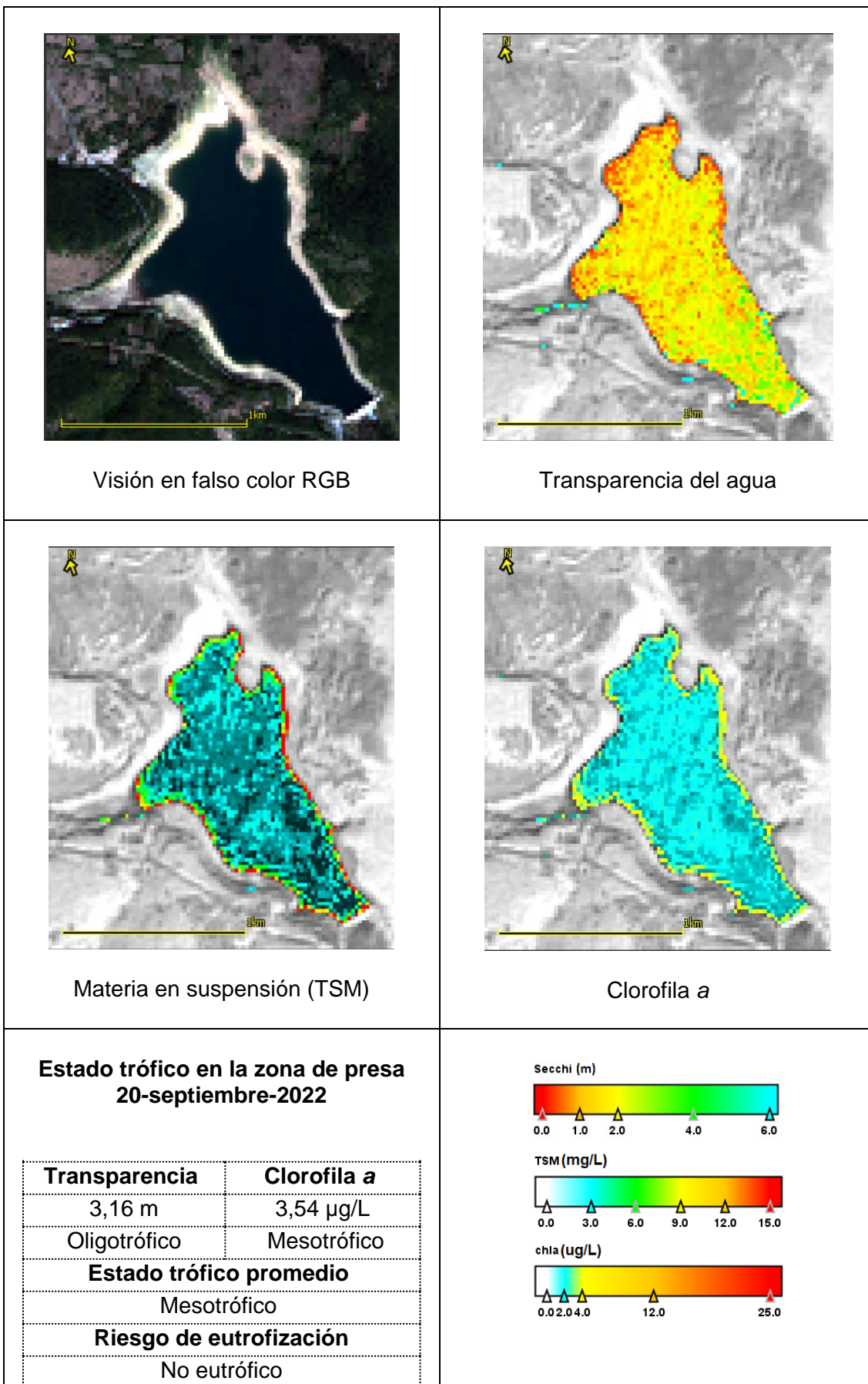
Transparencia	Clorofila a
2,85 m	6,79 µg/L
Mesotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



MASA 916. EMBALSE DE ORTIGOSA



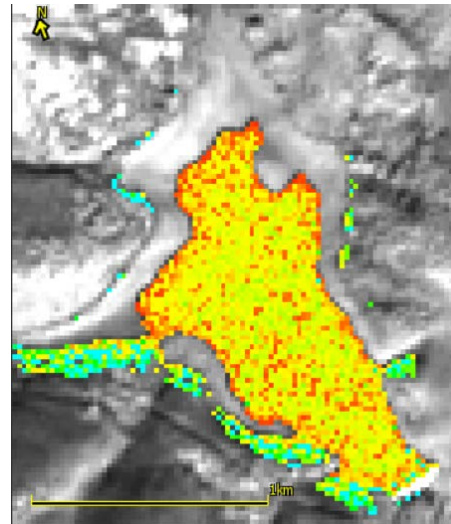
MASA 916. EMBALSE DE ORTIGOSA



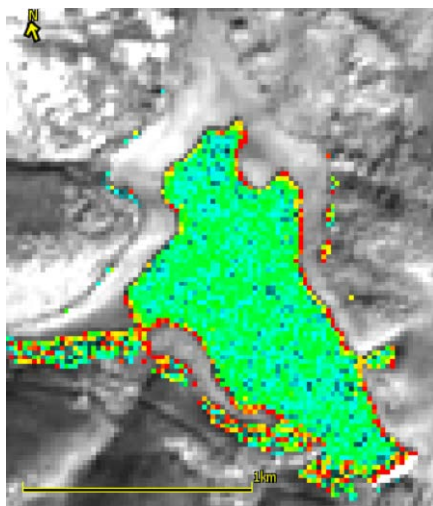
MASA 916. EMBALSE DE ORTIGOSA



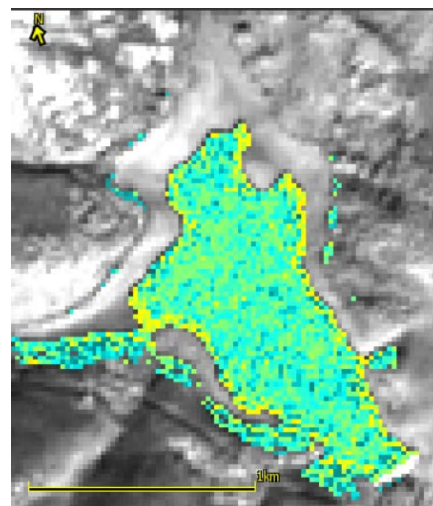
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

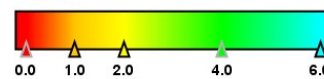


Clorofila a

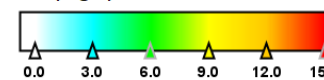
**Estado trófico en la zona de presa
21-diciembre-2022**

Transparencia	Clorofila a
2,57 m	8,07 $\mu\text{g/L}$
Mesotrófico	Eutrófico
Estado trófico promedio	
Eutrófico	
Riesgo de eutrofización	
Eutrófico	

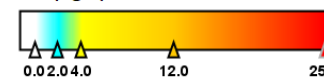
Secchi (m)



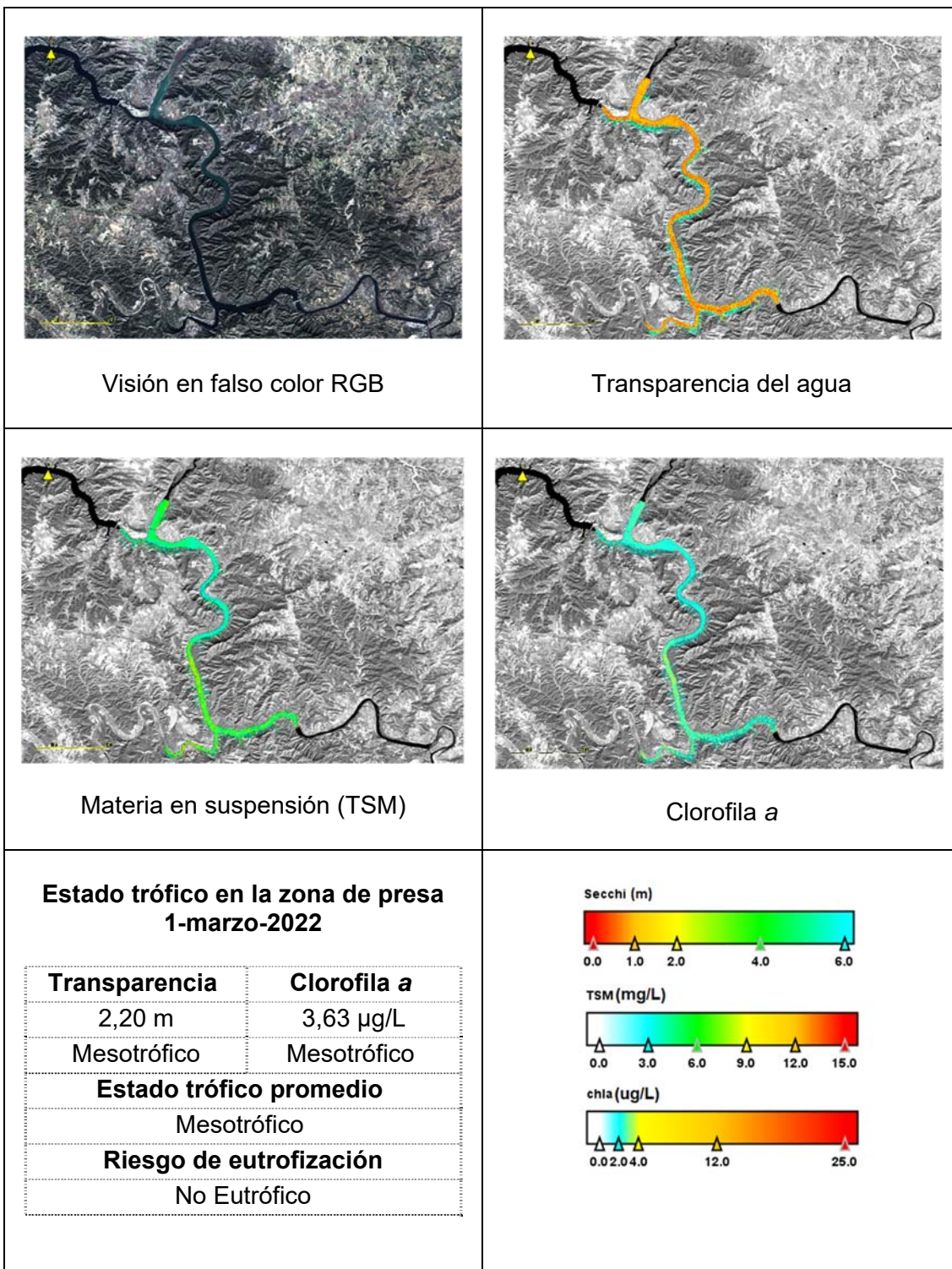
TSM (mg/L)



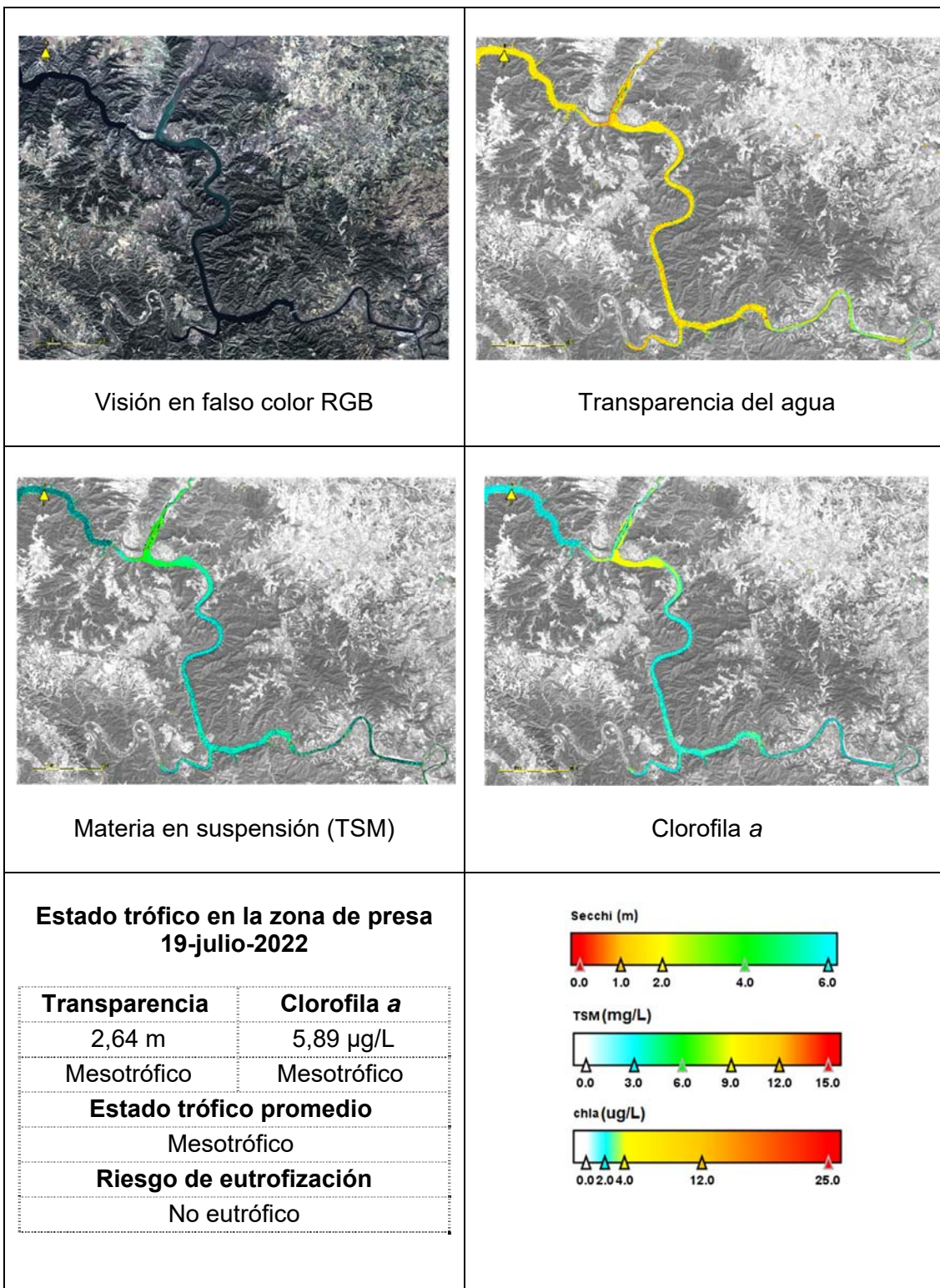
chl a ($\mu\text{g/L}$)



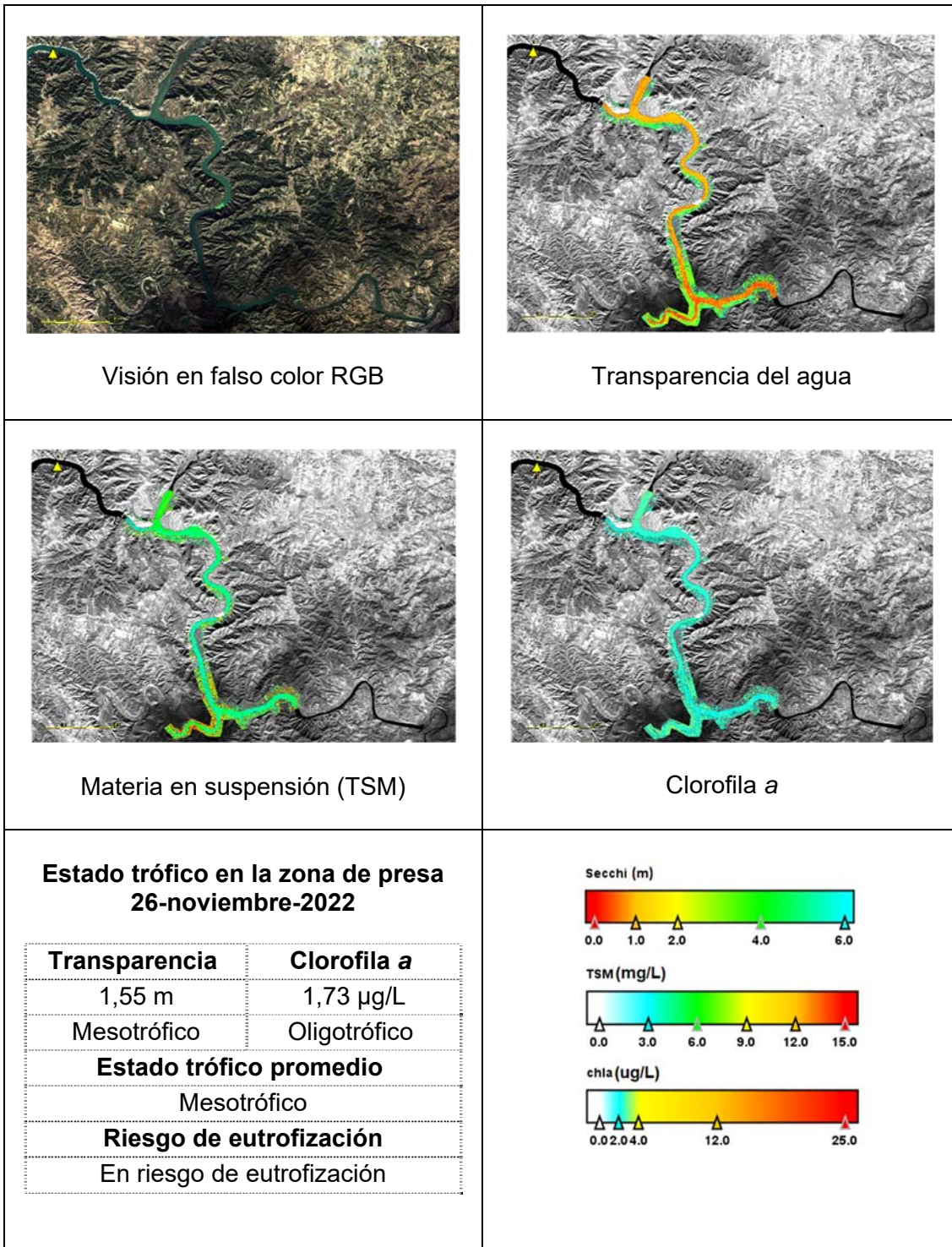
MASA 949. EMBALSE DE RIBARROJA



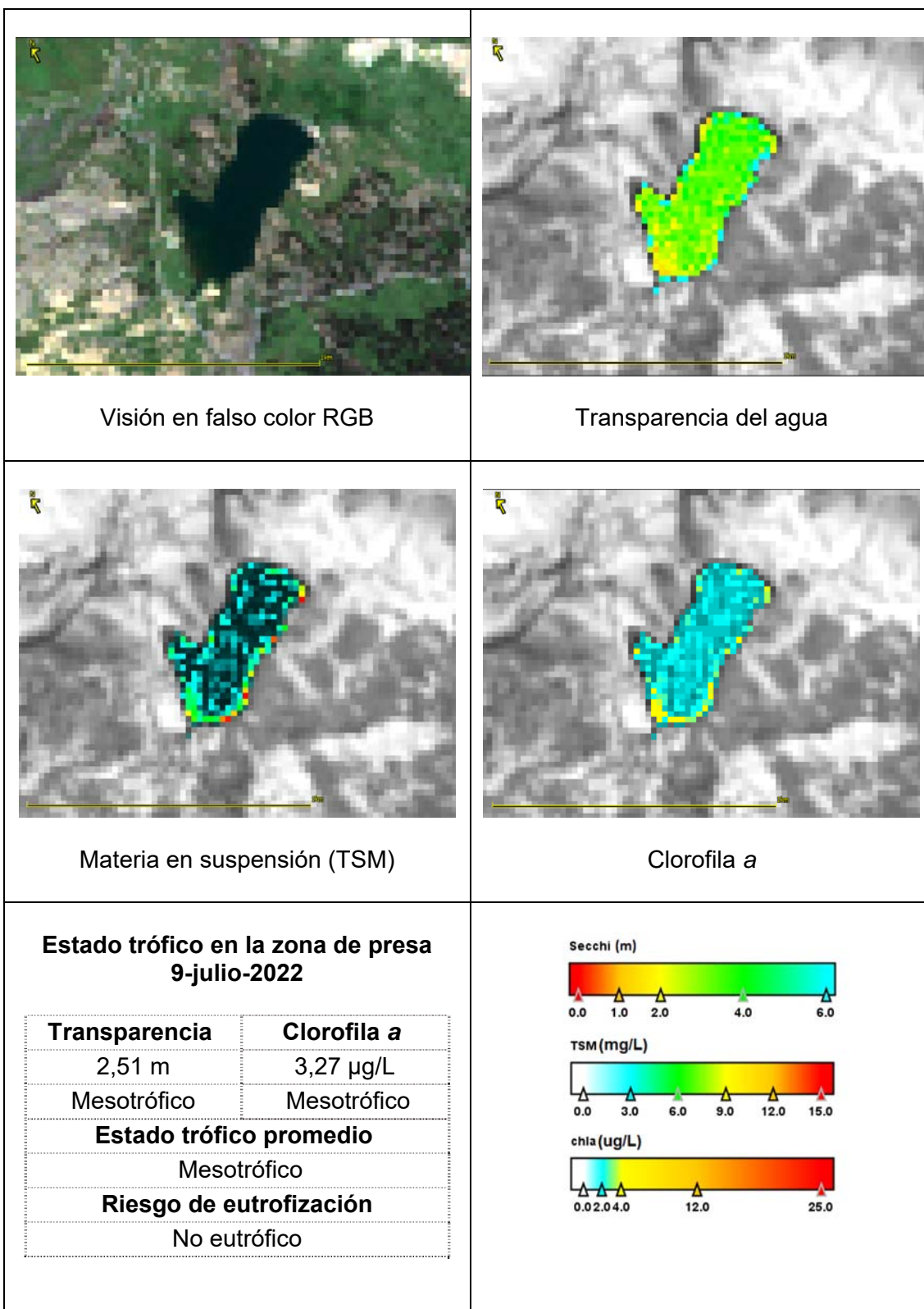
MASA 949. EMBALSE DE RIBARROJA



MASA 949. EMBALSE DE RIBARROJA



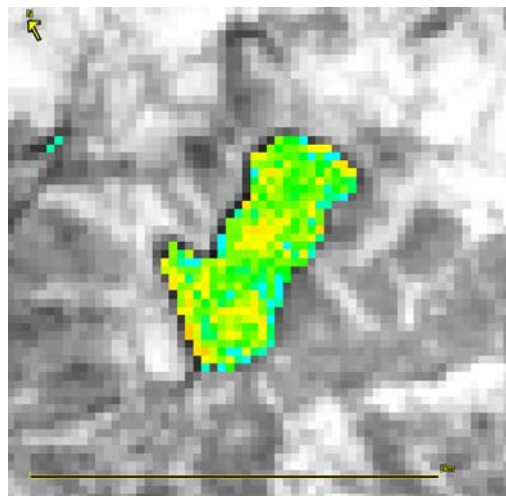
MASA 1002. TRAMACASTILLA DE TENA



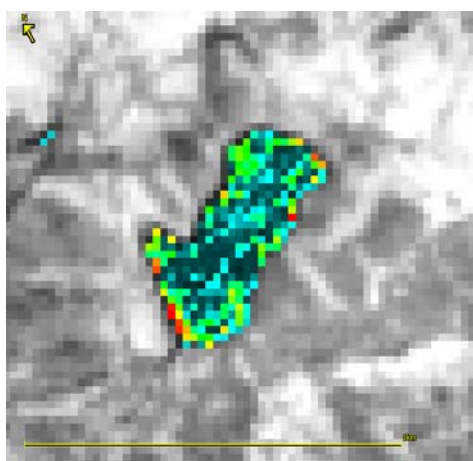
MASA 1002. TRAMACASTILLA DE TENA



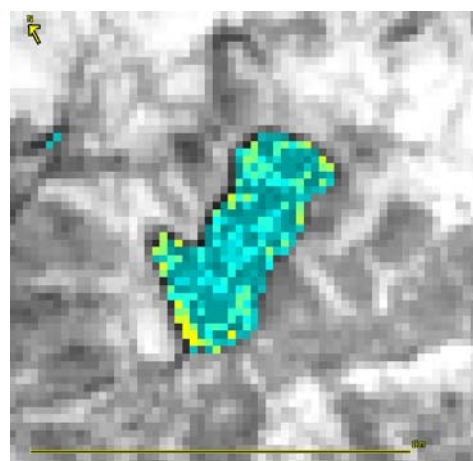
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



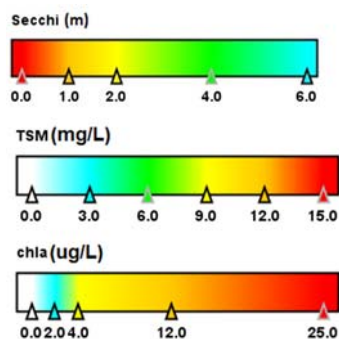
Materia en suspensión (TSM)



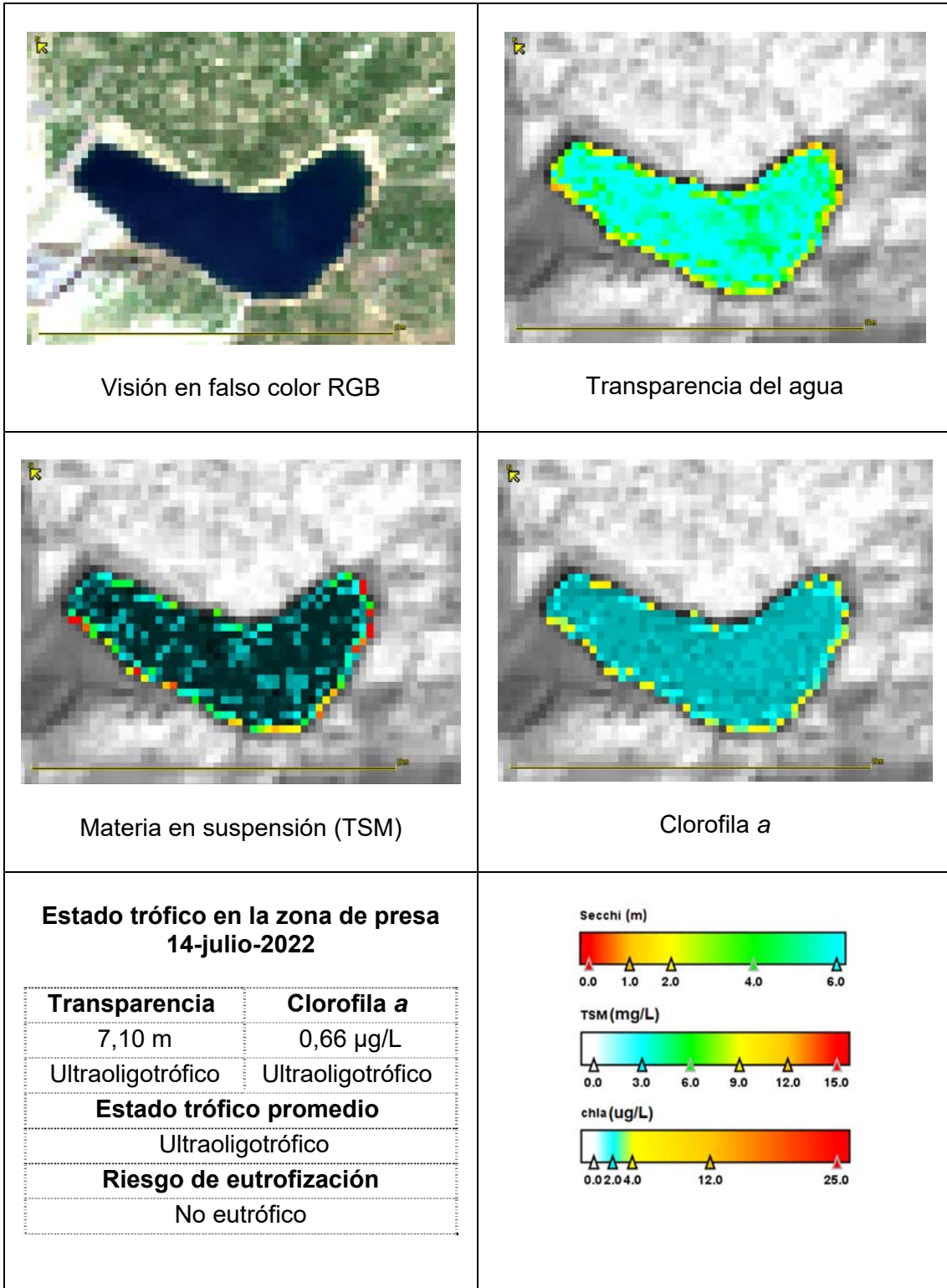
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-septiembre-2022**

Transparencia	Clorofila a
3,17 m	2,04 µg/L
Oligotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



MASA 1003. IBÓN RECRECIDO DE IP



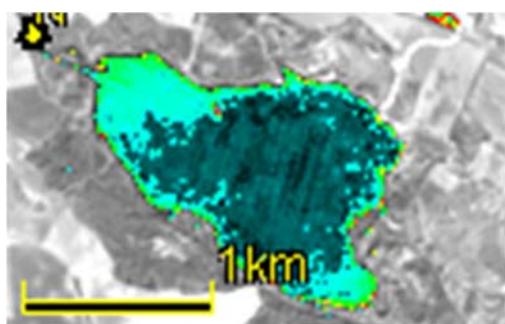
MASA 1022. EMBALSE ESTANCA DE ALCAÑIZ



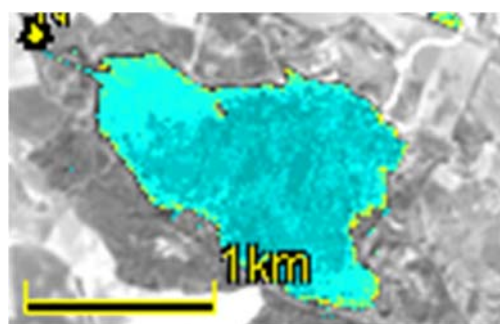
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



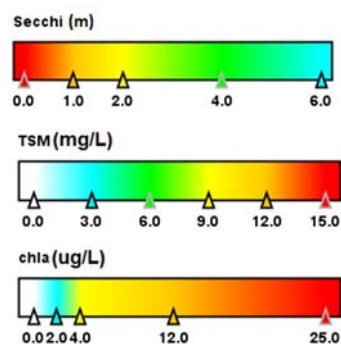
Materia en suspensión (TSM)



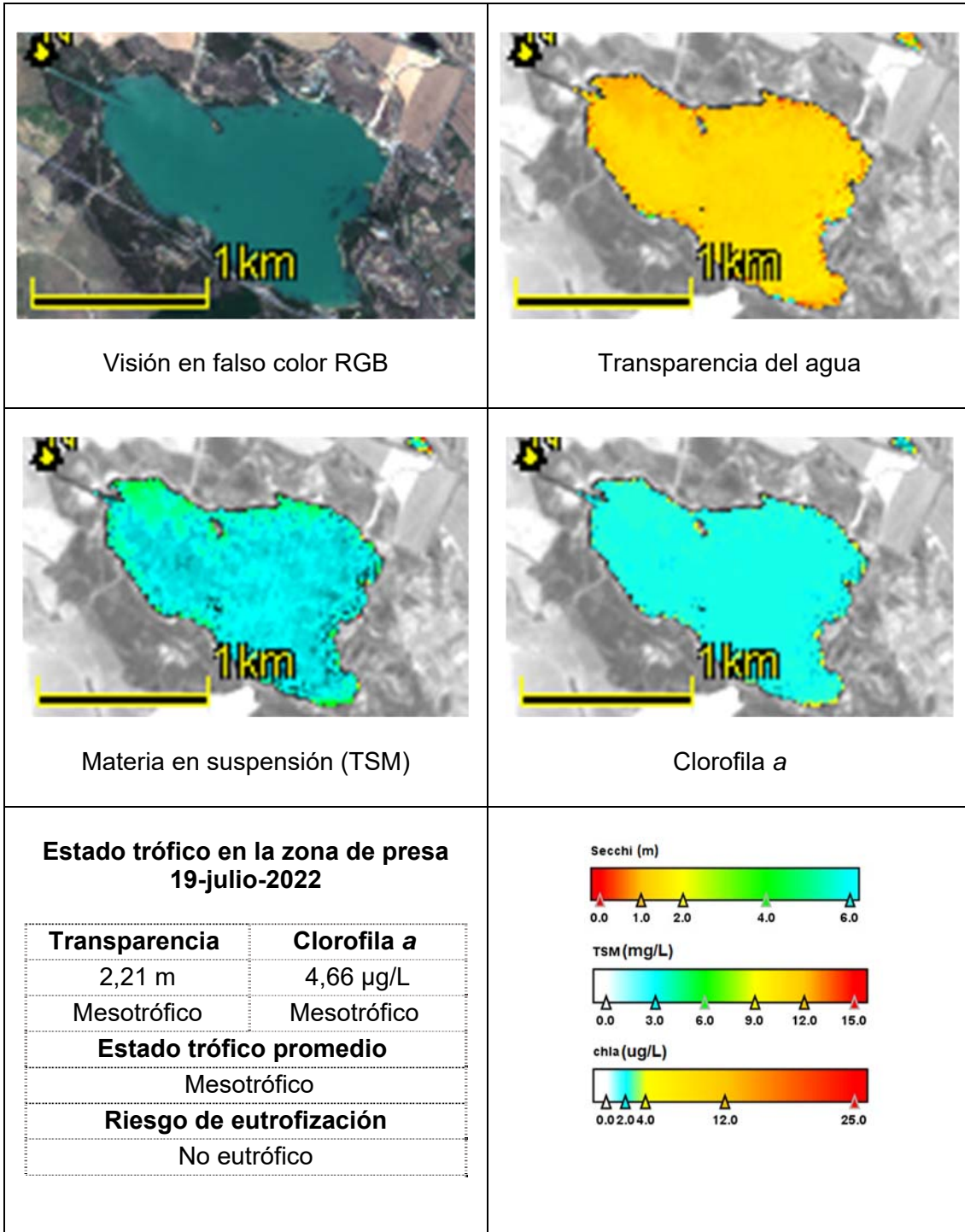
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
1-marzo-2022**

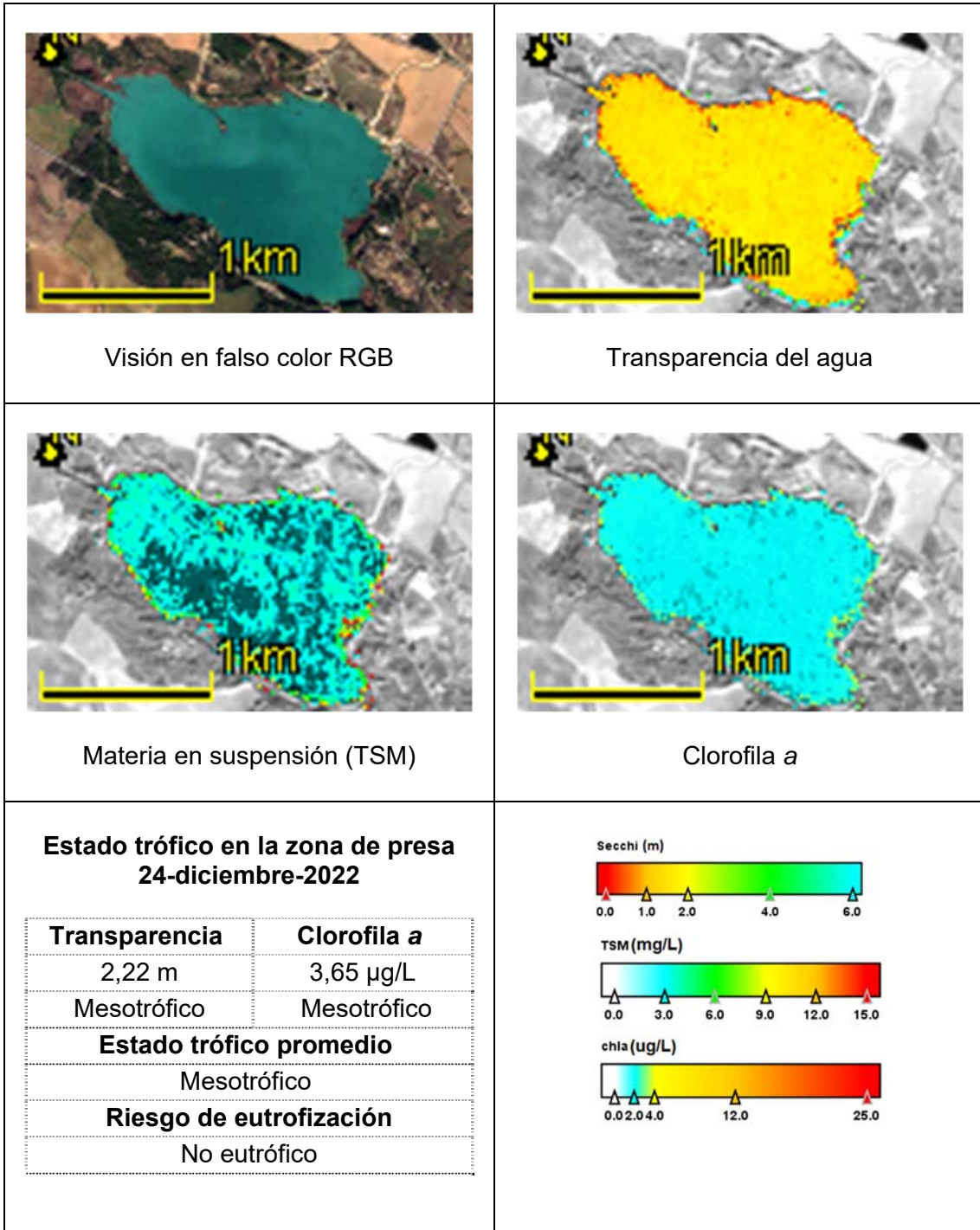
Transparencia	Clorofila a
2,53 m	1,82 µg/L
Mesotrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



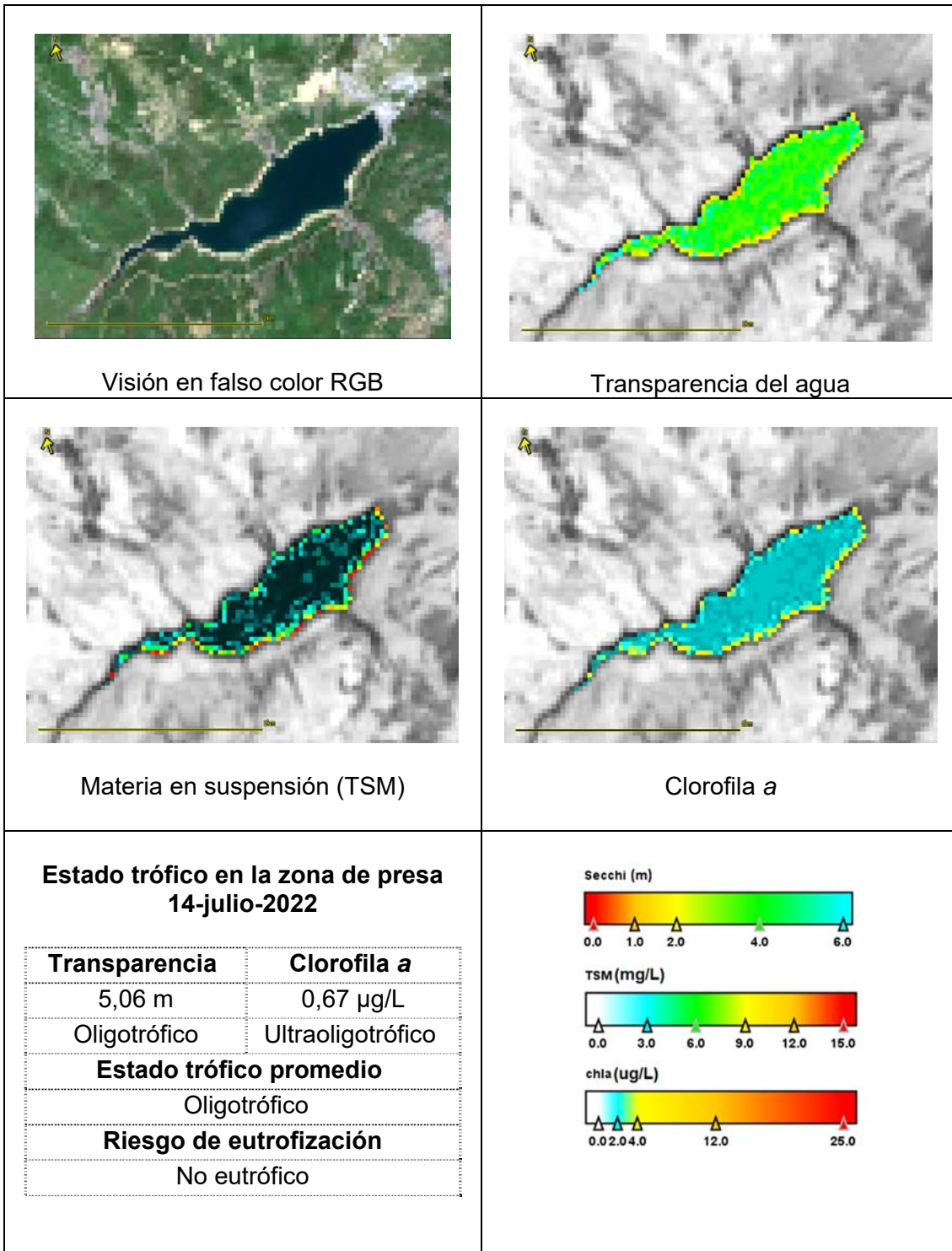
MASA 1022. EMBALSE ESTANCA DE ALCAÑIZ



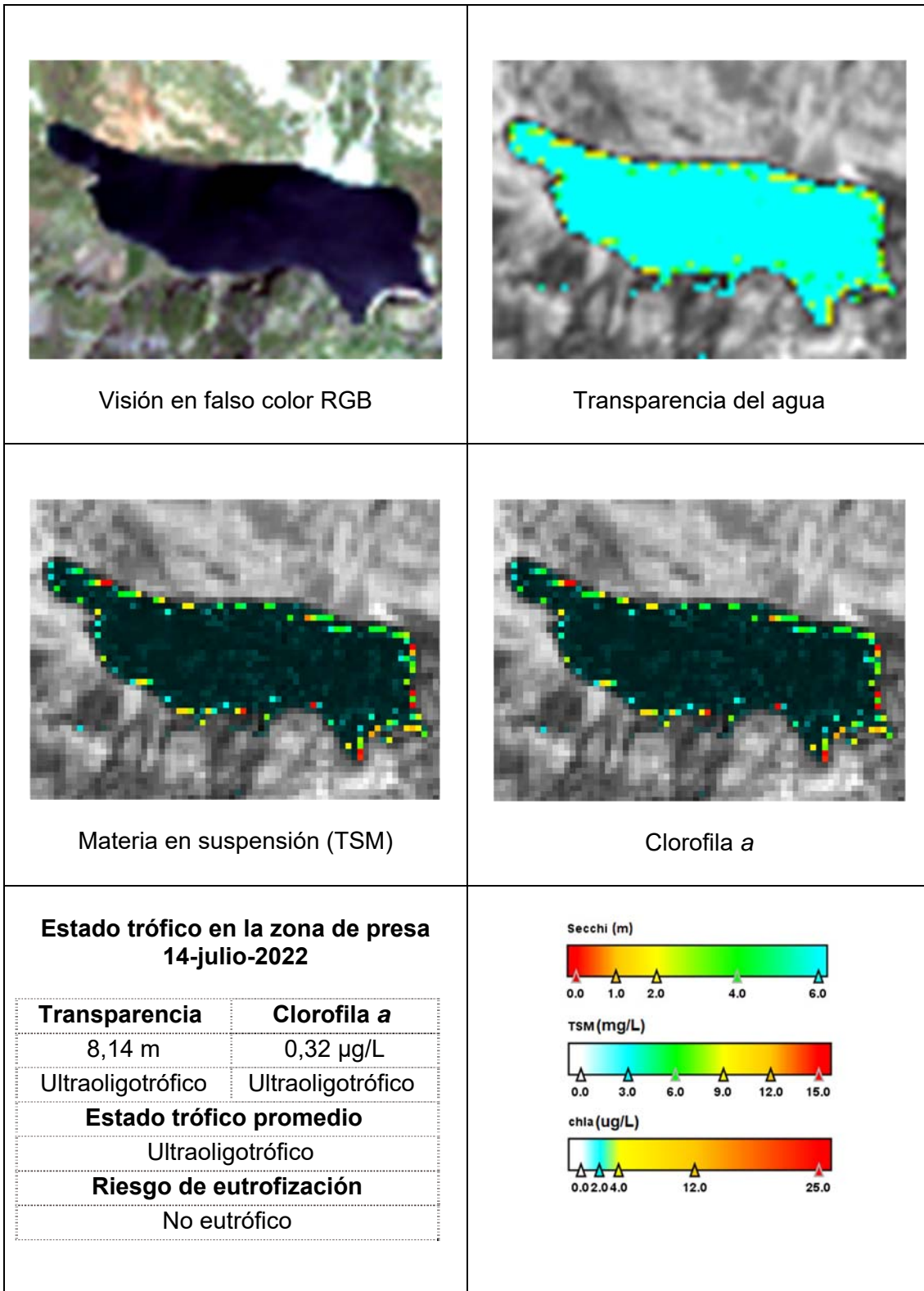
MASA 1022. EMBALSE ESTANCA DE ALCAÑIZ



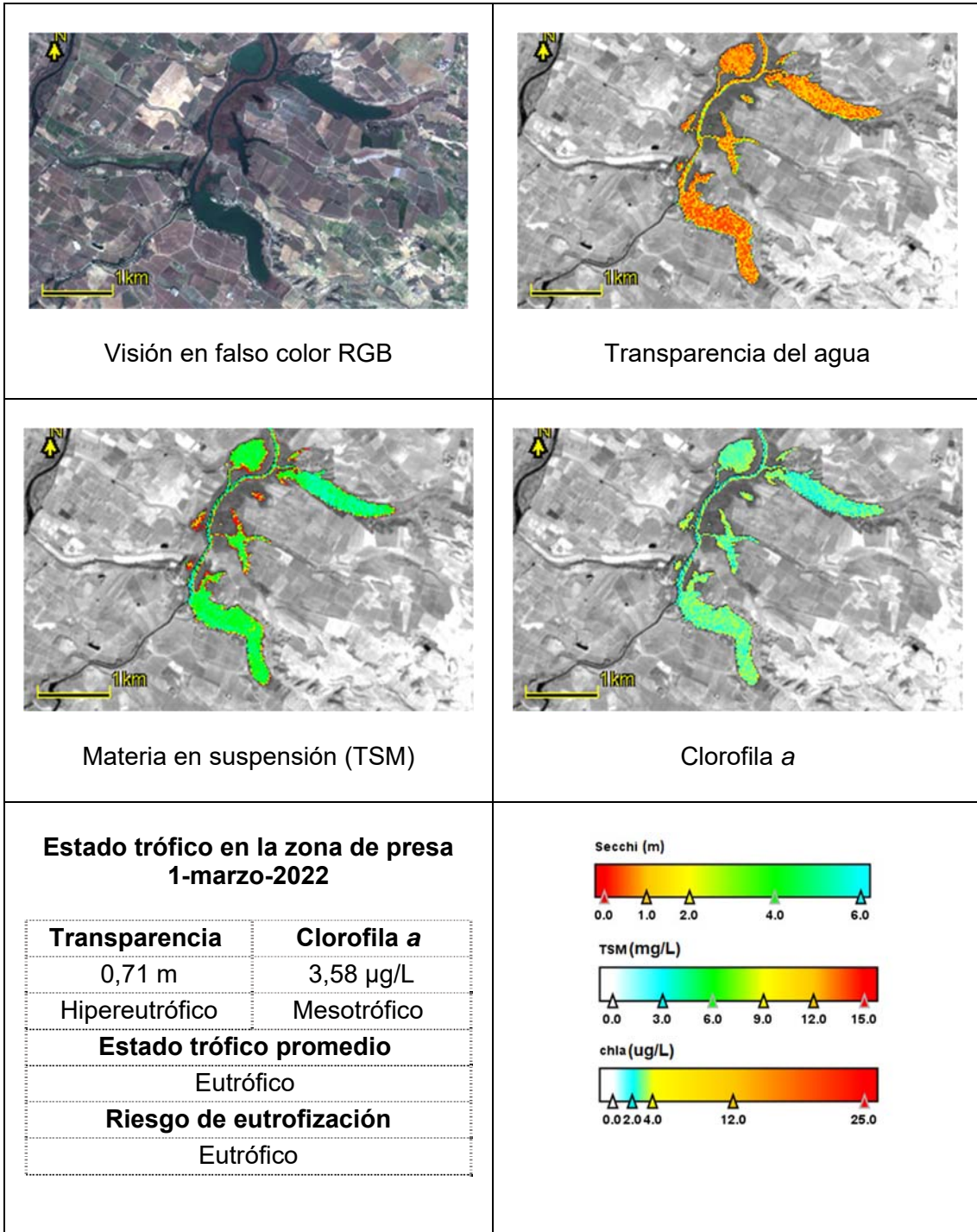
MASA 1051. EMBALSE DE ESCARRA



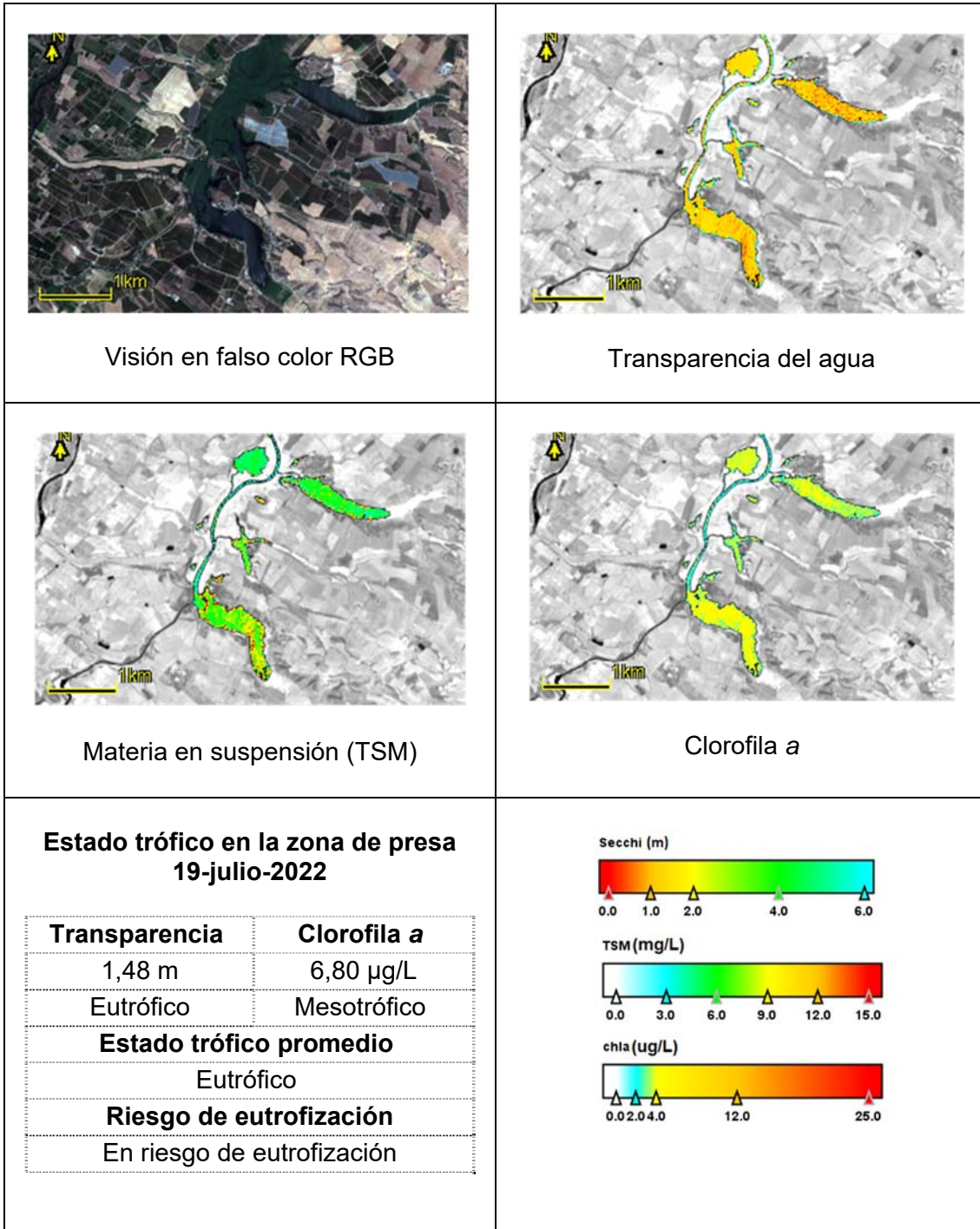
MASA 1053. EMBALSE DE LLAUSET



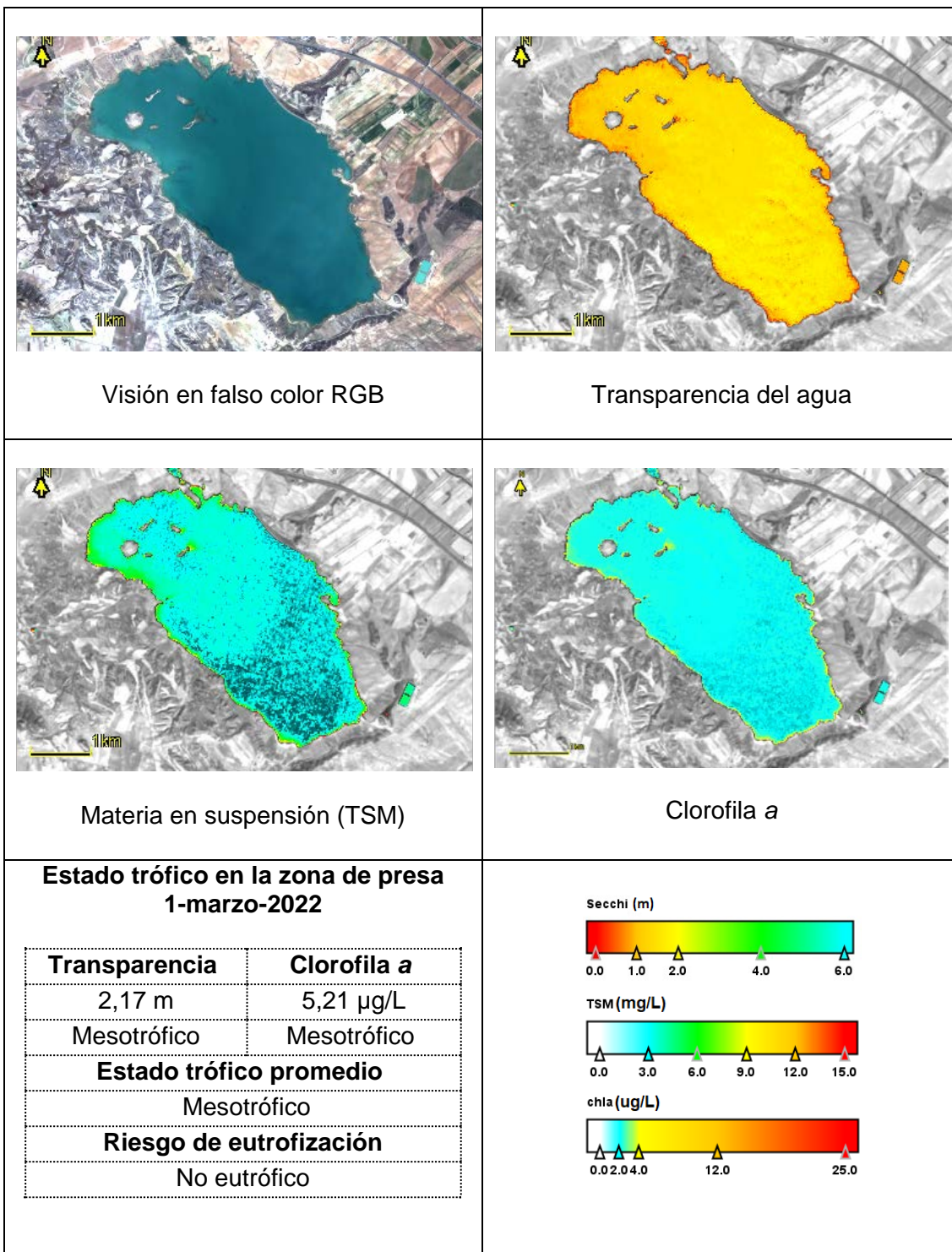
MASA 1679. HUMEDAL DE UTCHESA SECA



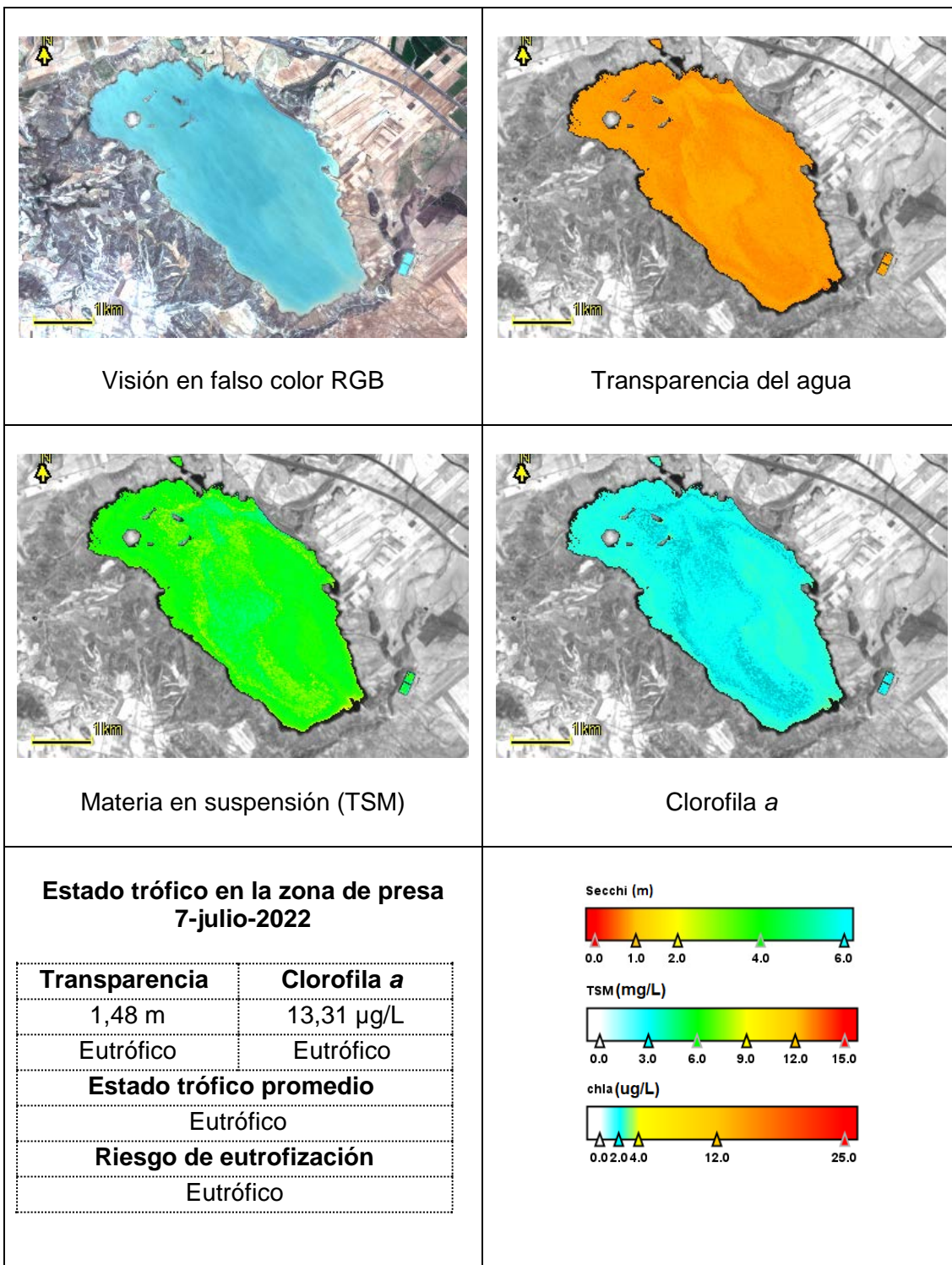
MASA 1679. HUMEDAL DE UTCHESA SECA



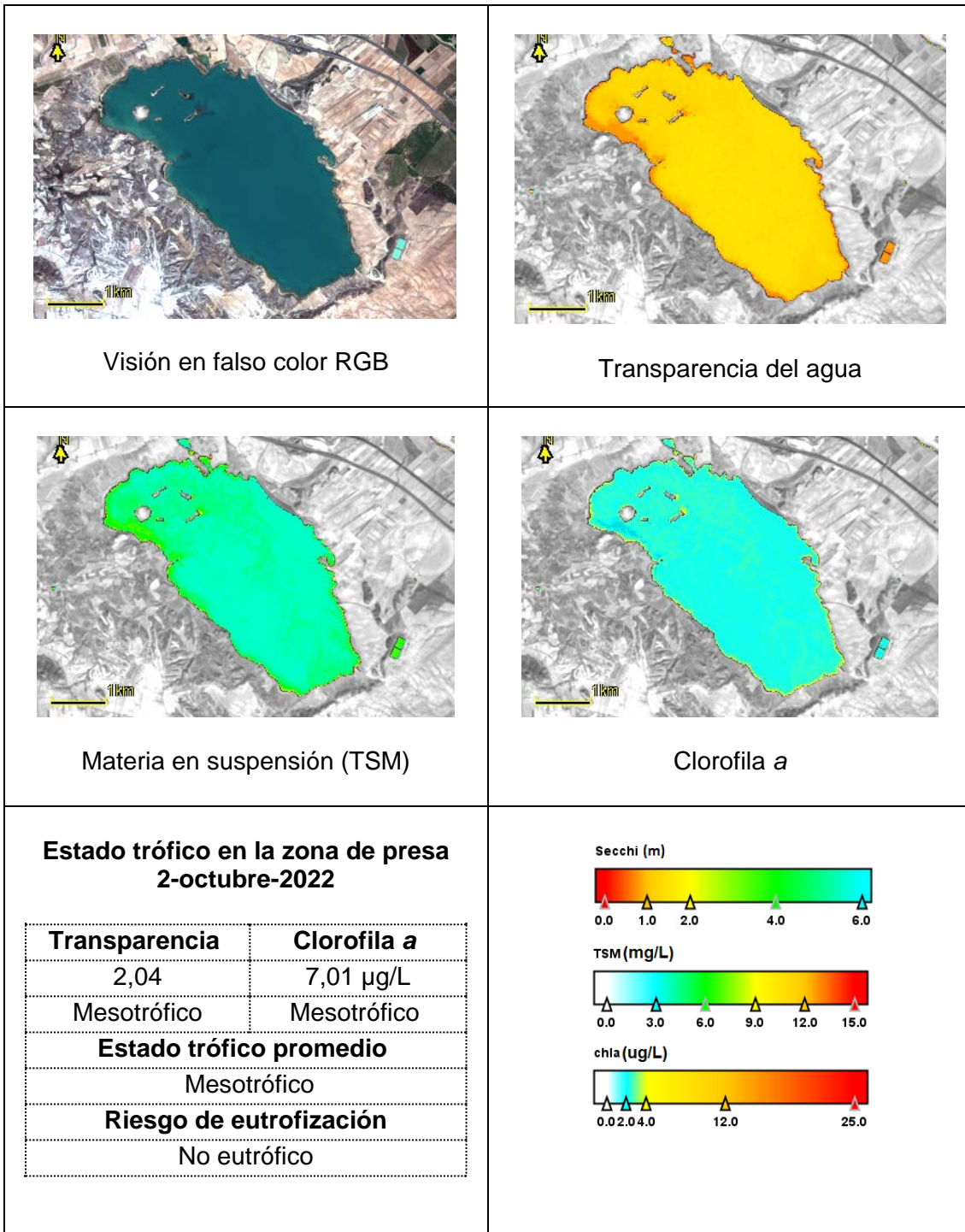
MASA 1680. LA LOTETA



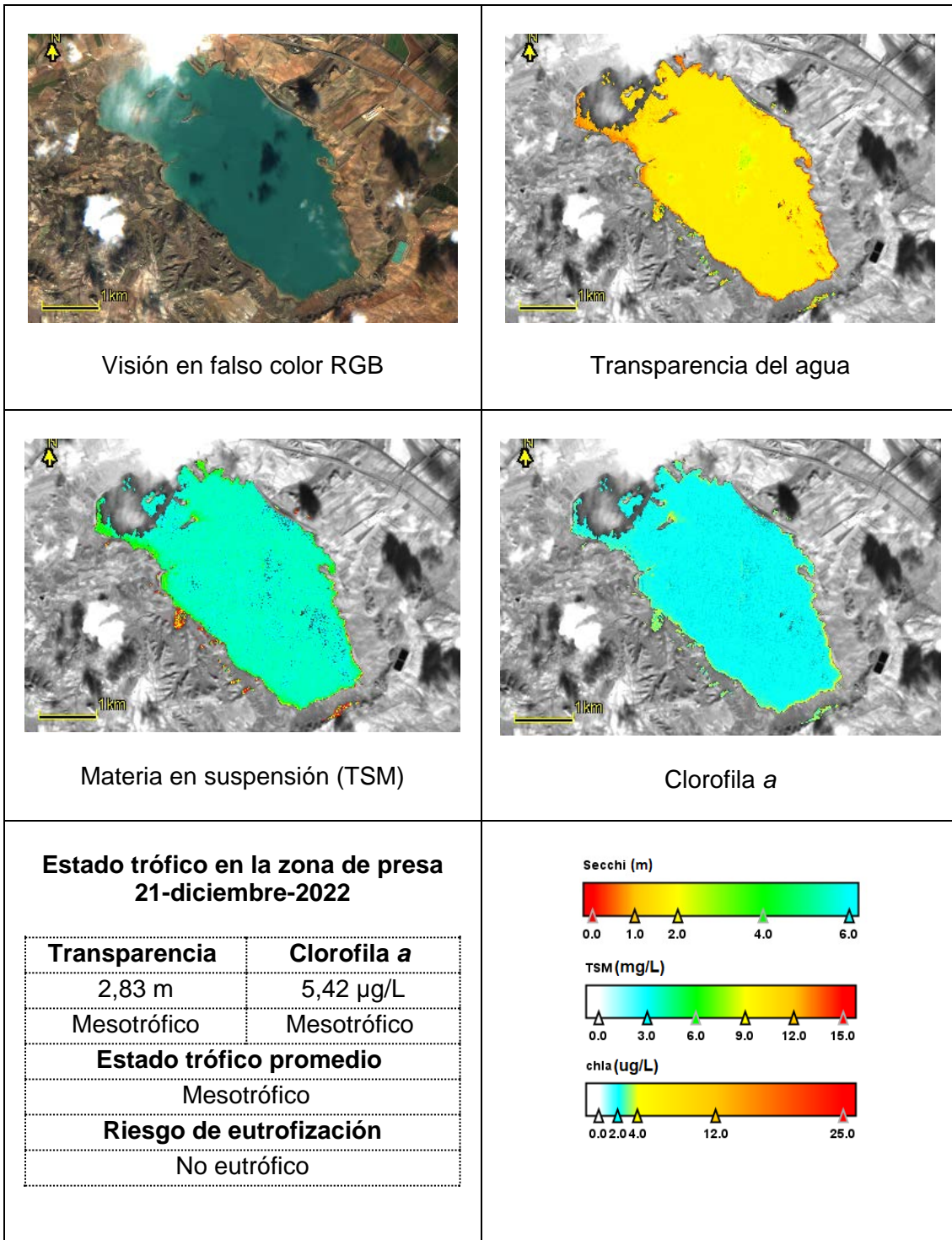
MASA 1680. LA LOTETA



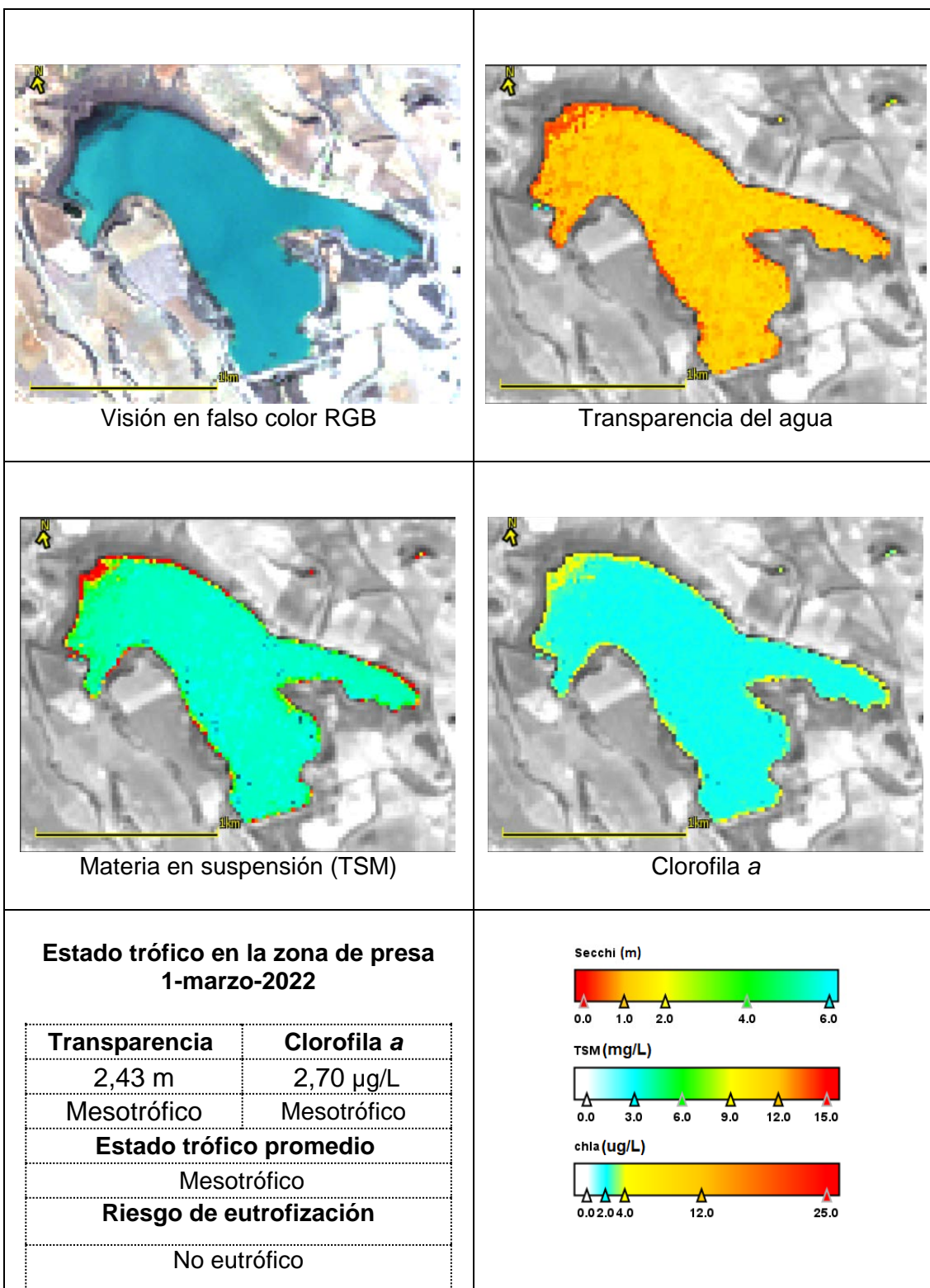
MASA 1680. LA LOTETA



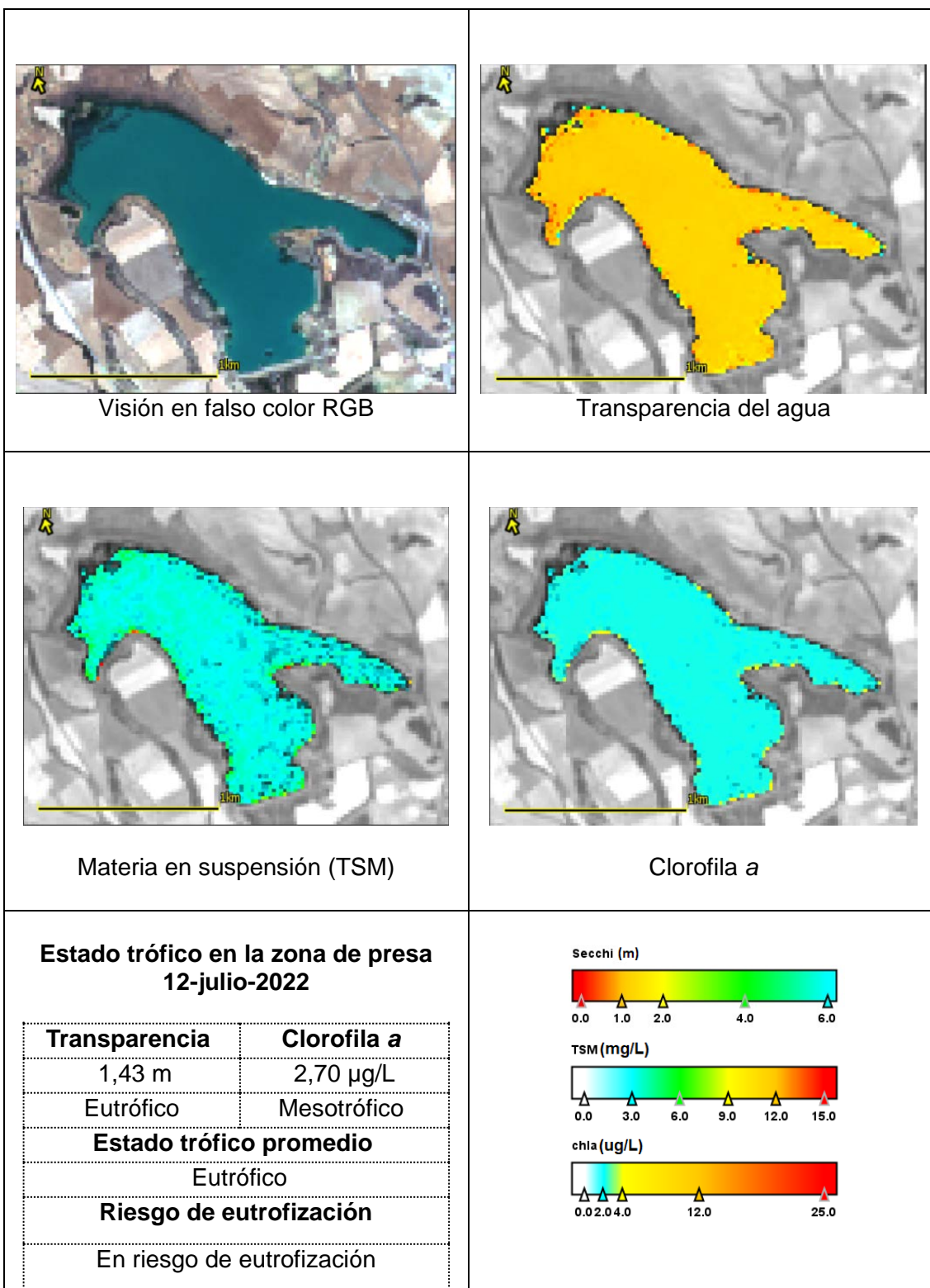
MASA 1680. LA LOTETA



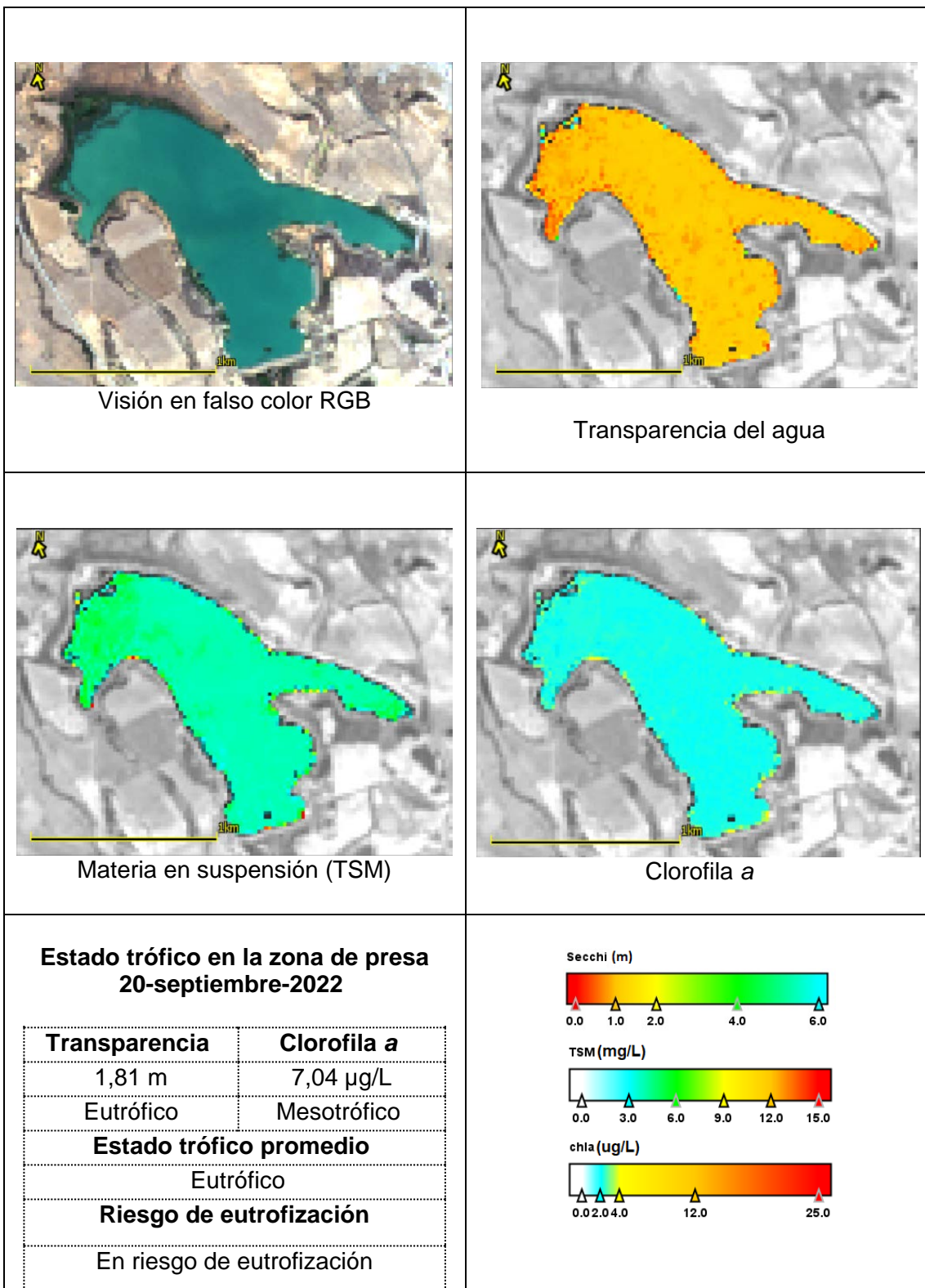
MASA 1681. MONTEAGUDO DE LAS VICARIAS



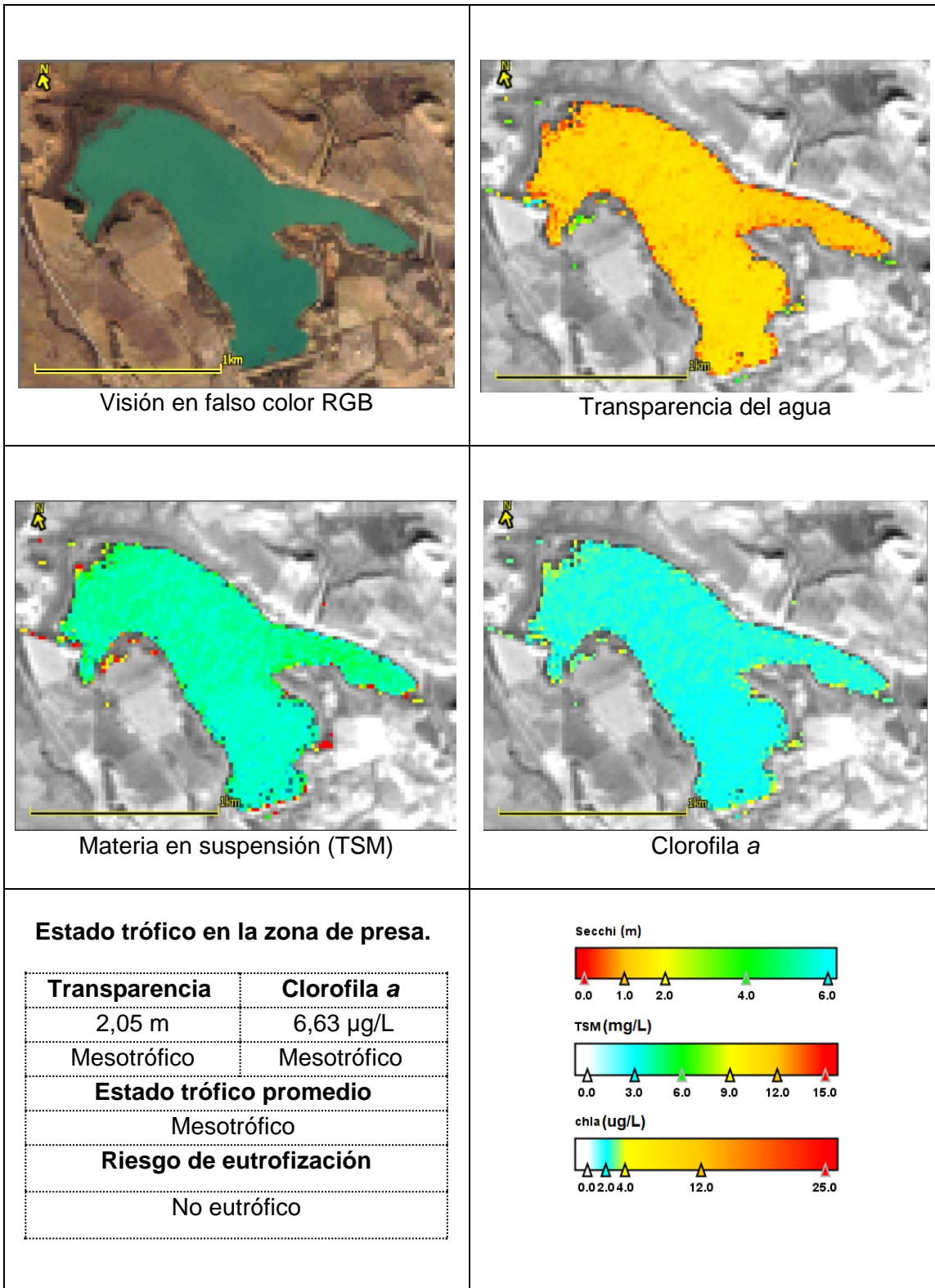
MASA 1681. MONTEAGUDO DE LAS VICARIAS



MASA 1681. MONTEAGUDO DE LAS VICARIAS



MASA 1681. MONTEAGUDO DE LAS VICARIAS



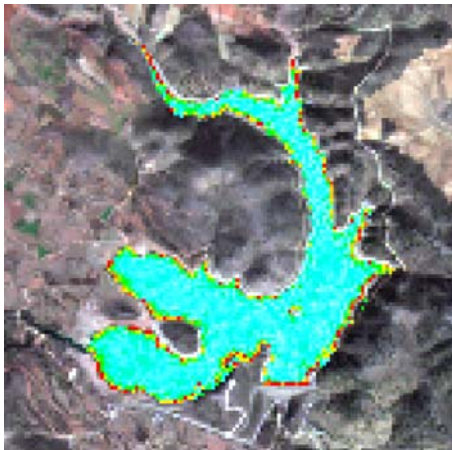
MASA 1804. EMBALSE DE MAIDEVERA



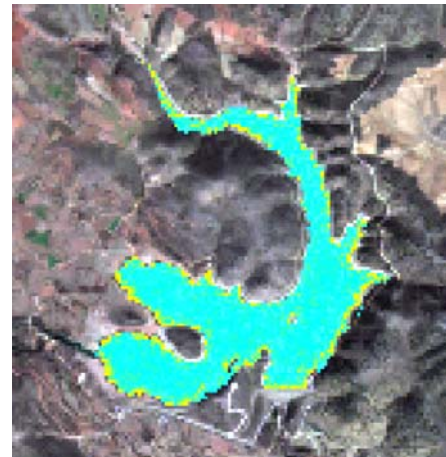
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



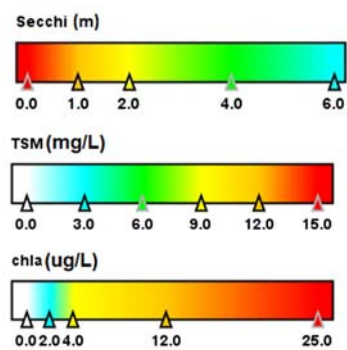
Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-febrero-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,62 m	1,54 µg/L
Eutrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
En riesgo de eutrofización	



MASA 1804. EMBALSE DE MAIDEVERA



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



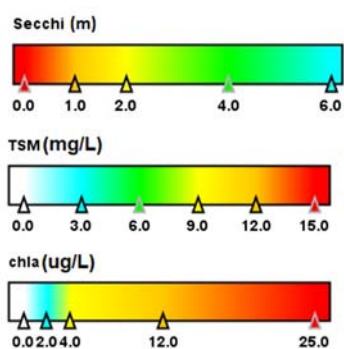
Materia en suspensión (TSM)



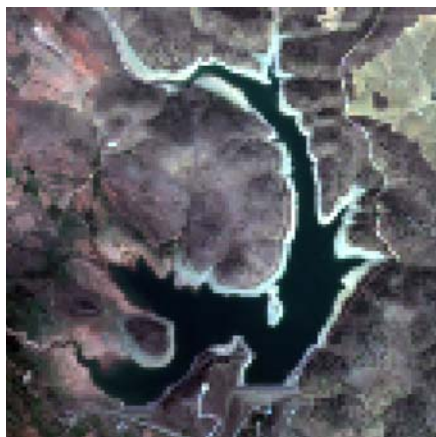
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
10-julio-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,35 m	1,83 µg/L
Eutrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
En riesgo de eutrofización	



MASA 1804. EMBALSE DE MAIDEVERA



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



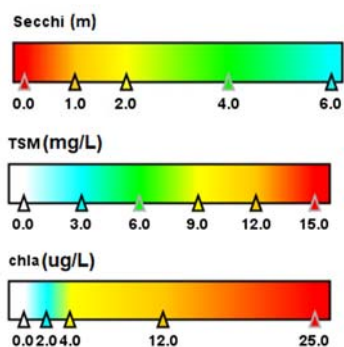
Materia en suspensión (TSM)



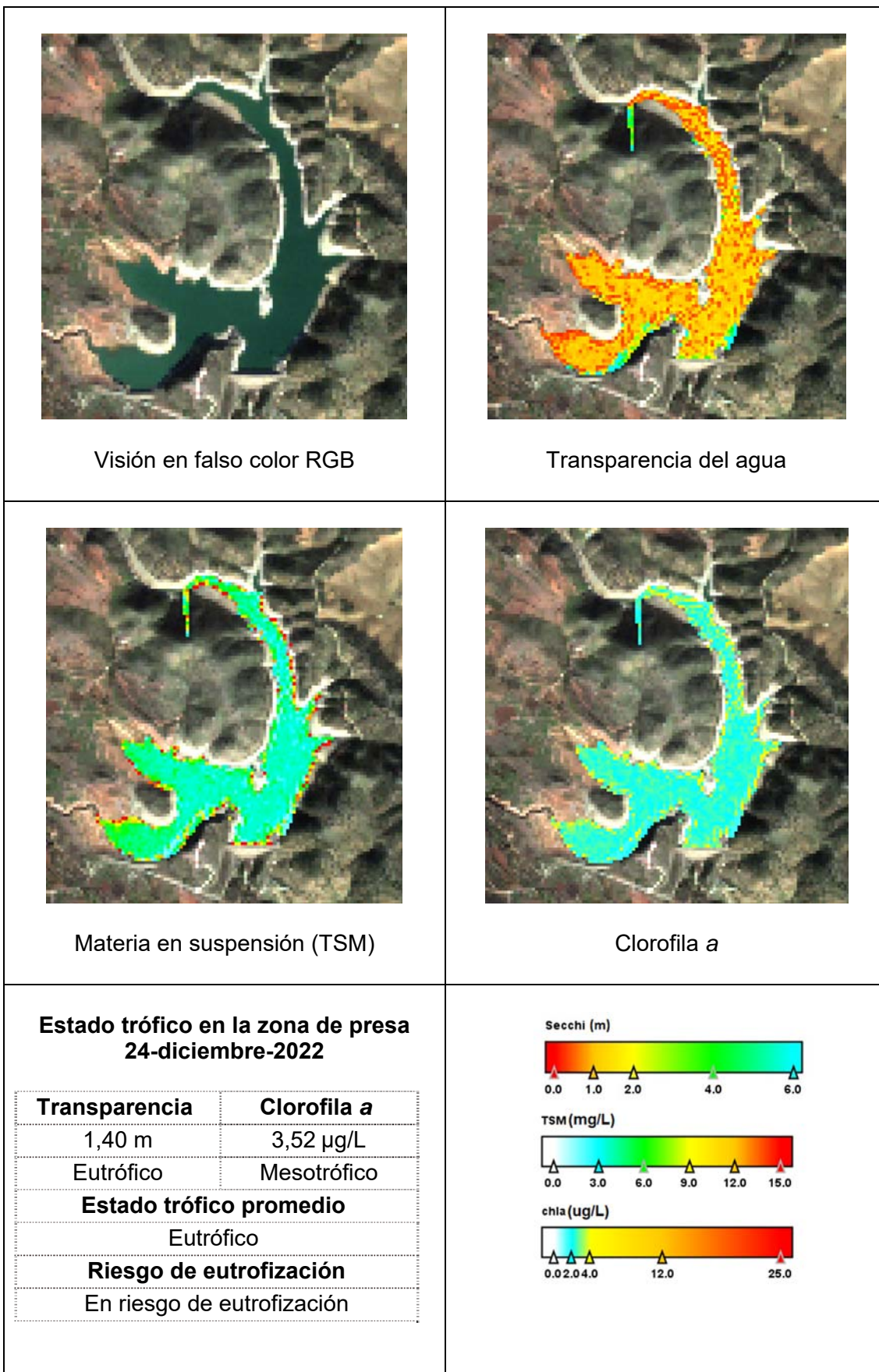
Clorofila a

**Estado trófico en la zona de presa
22-septiembre-2022**

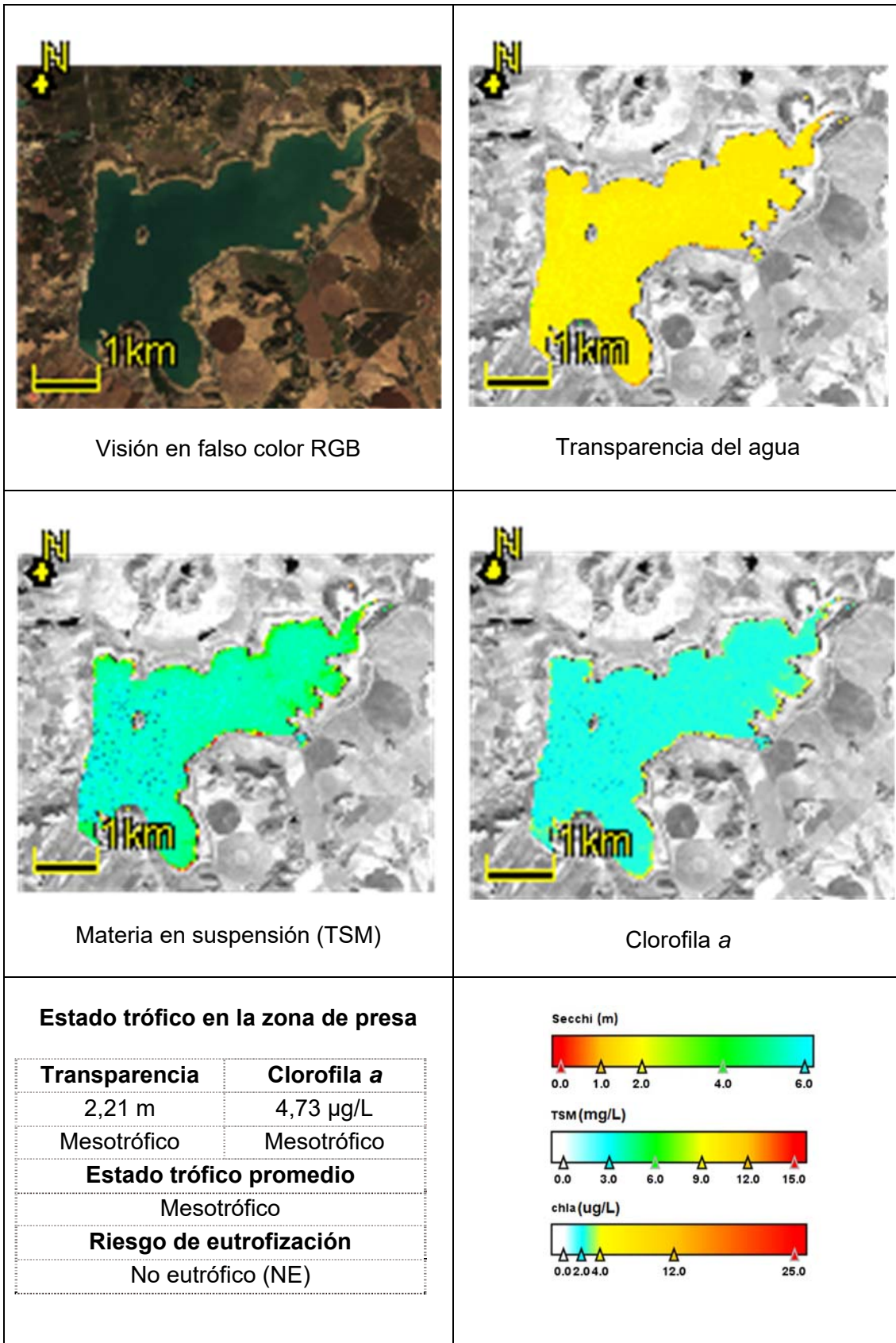
Transparencia	Clorofila a
1,33 m	2,26 µg/L
Eutrófico	Oligotrófico
Estado trófico promedio	
Mesotrófico	
Riesgo de eutrofización	
En riesgo de eutrofización	



MASA 1804. EMBALSE DE MAIDEVERA



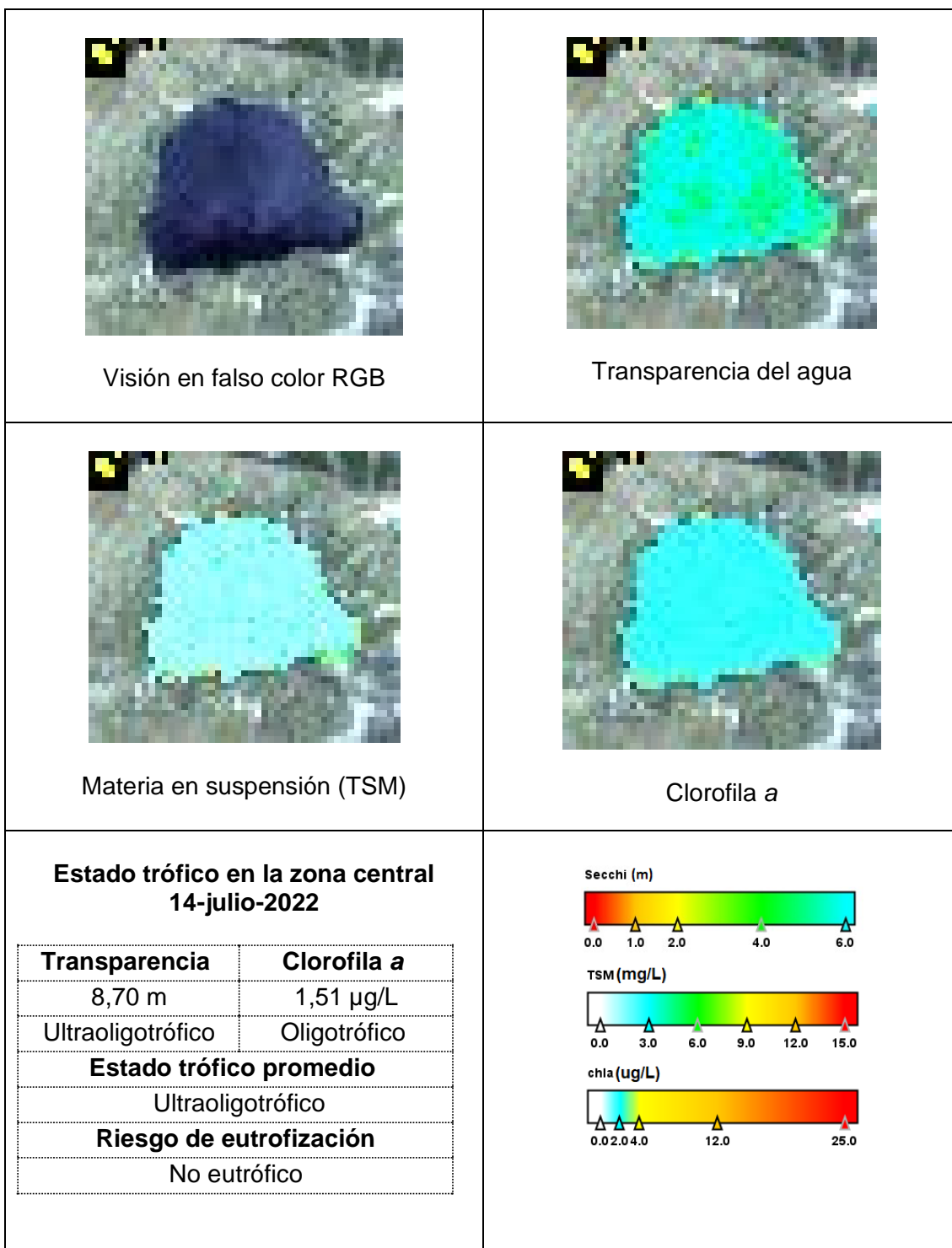
MASA 1807. SAN SALVADOR.





ANEXO 2. FICHAS DE LOS LAGOS ESTUDIADOS

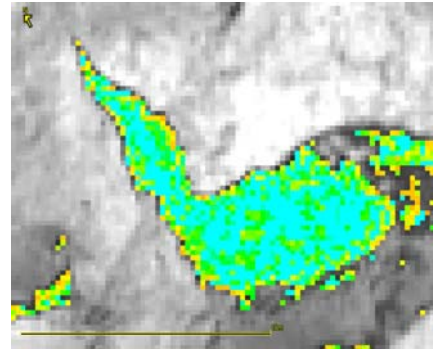
MASA 970. LAC REDON



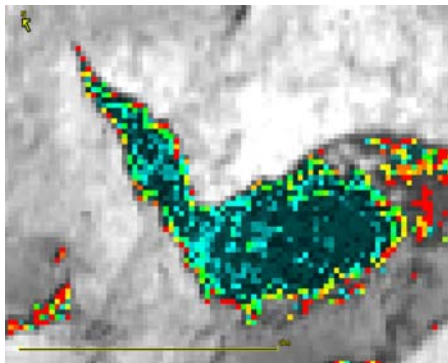
MASA 983. IBON DE CREGÜEÑA



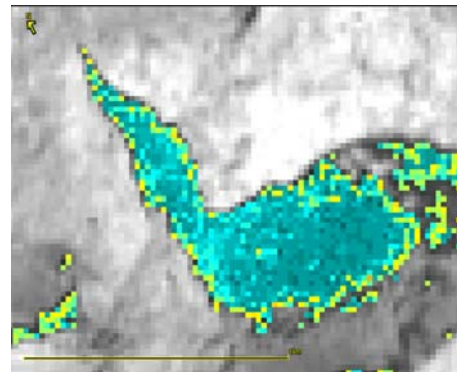
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



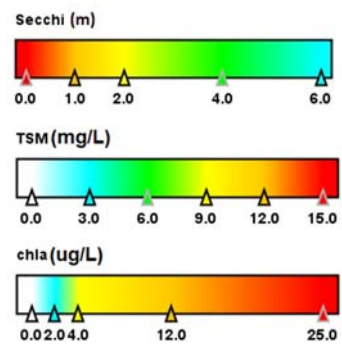
Materia en suspensión (TSM)



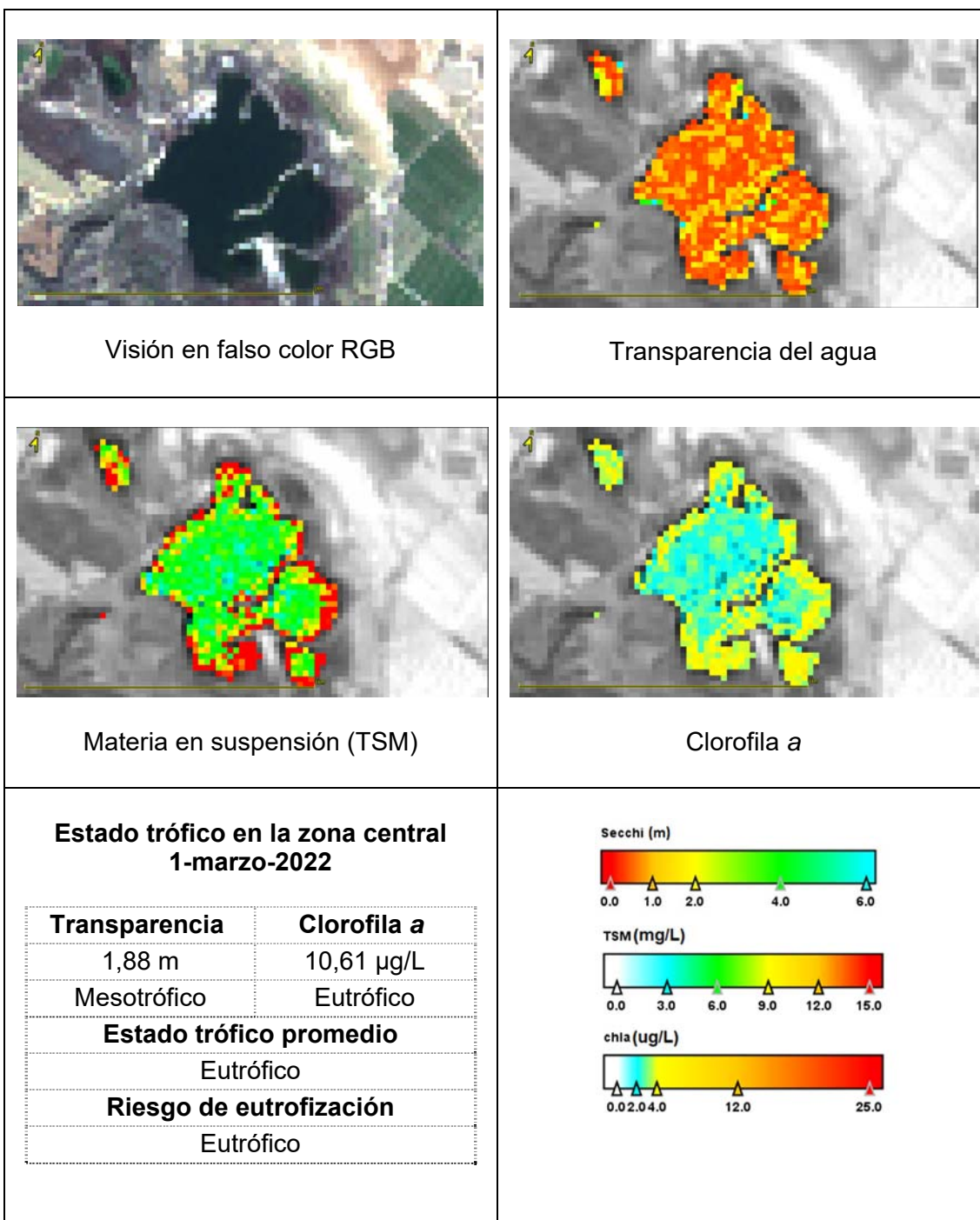
Clorofila a

Estado trófico en la zona de presa

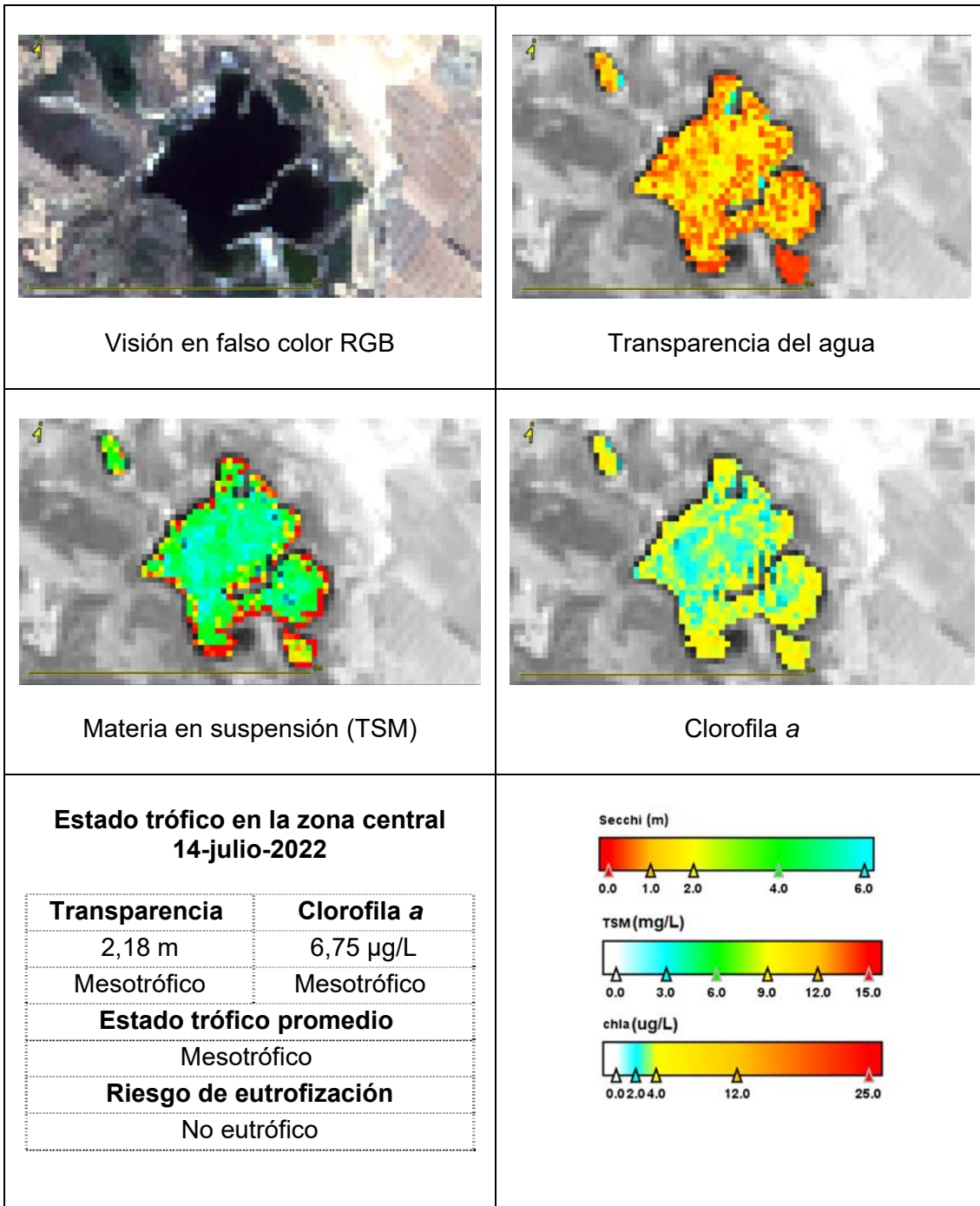
Transparencia	Clorofila a
5,89 m	0,96 µg/L
Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	



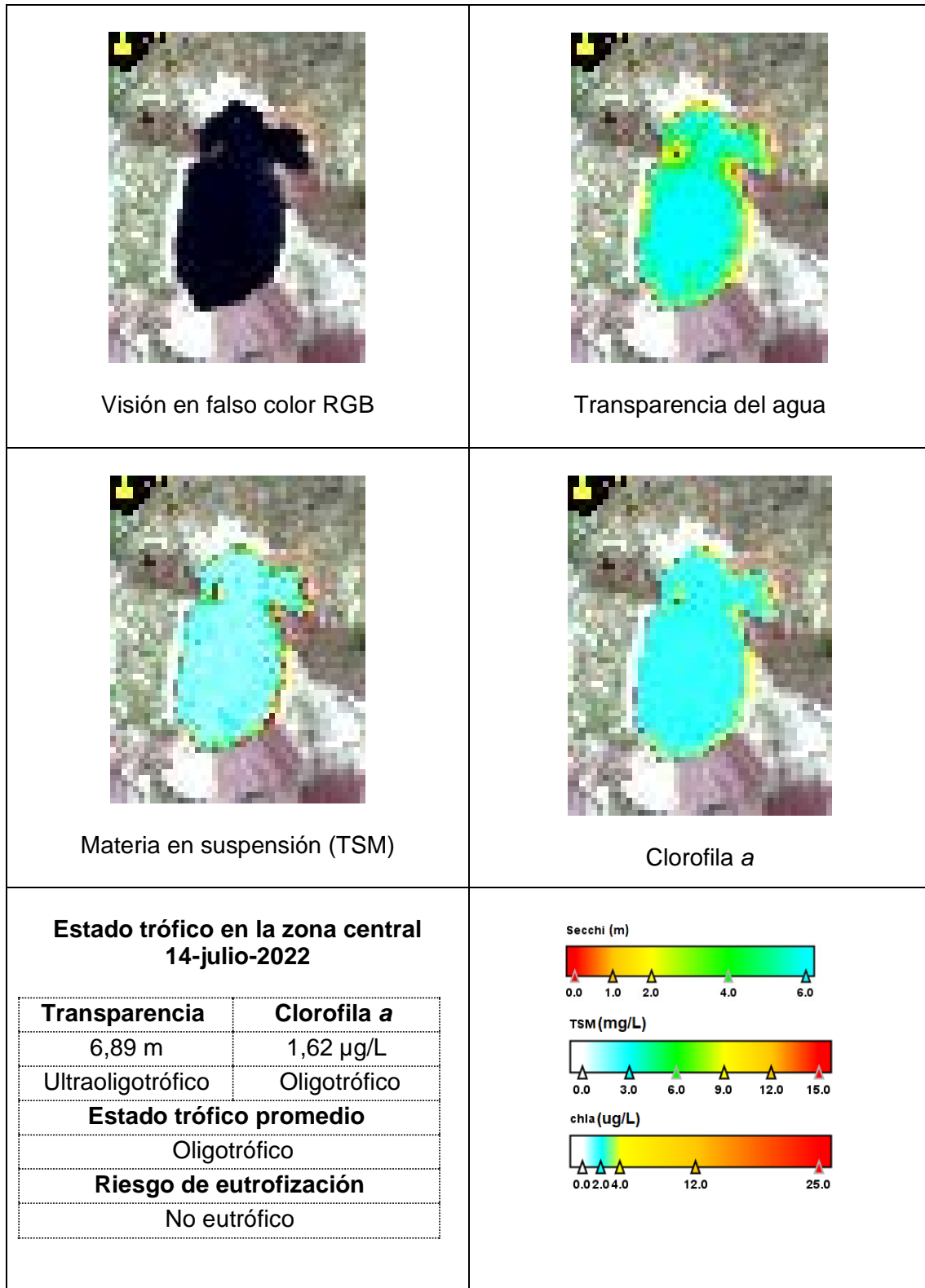
MASA 990. LAGUNA SALADA DE CHIPRANA



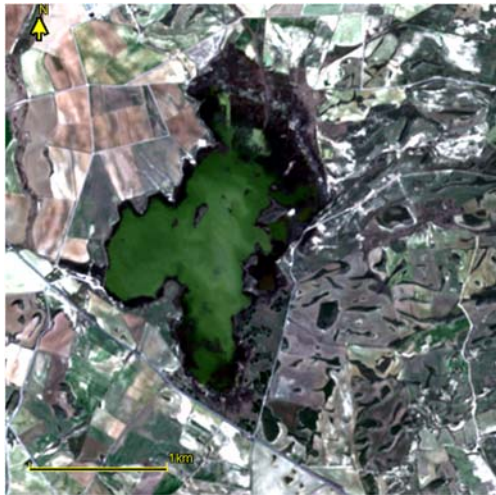
MASA 990. LAGUNA SALADA DE CHIPRANA



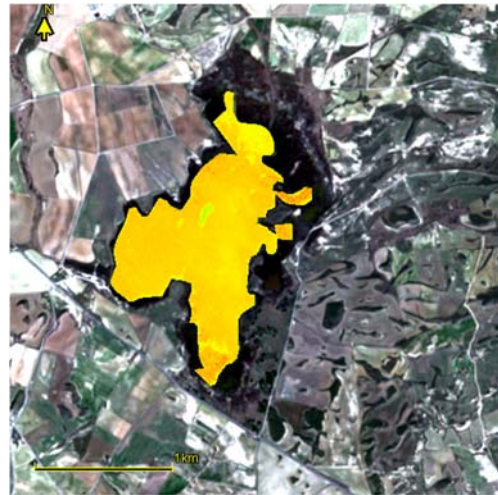
MASA 1001. LAGO DE URDICETO



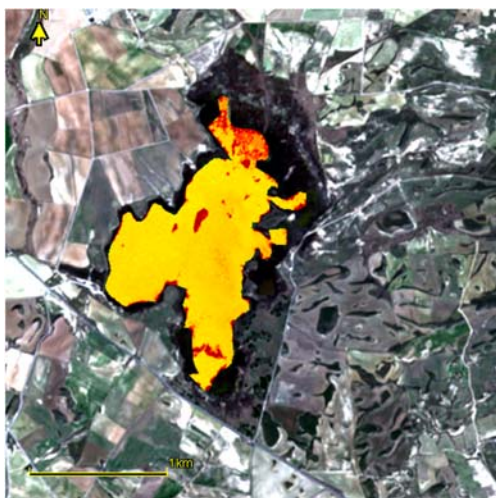
MASA 1016. LAGUNA DE PITILLAS



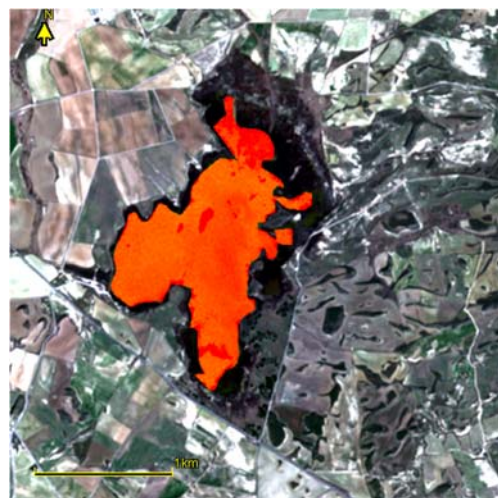
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

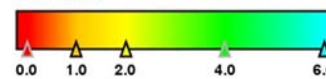


Clorofila a

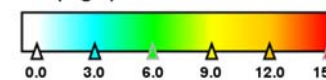
**Estado trófico en la zona central
22-febrero-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,26 m	24,61 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
Estado trófico promedio	
Eutrófico	
Riesgo de eutrofización	
Eutrófico	

Secchi (m)



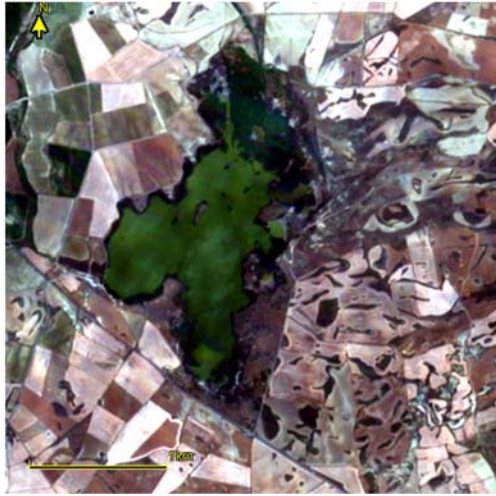
TSM (mg/L)



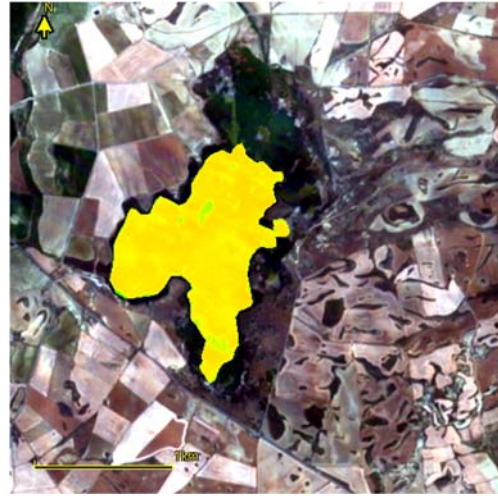
chl a (ug/L)



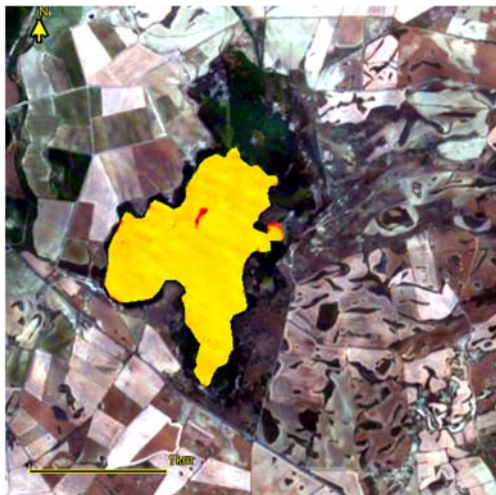
MASA 1016. LAGUNA DE PITILLAS



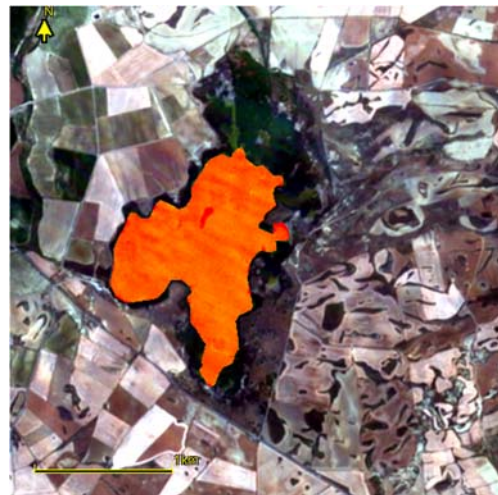
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)

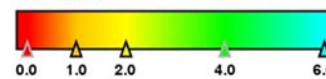


Clorofila a

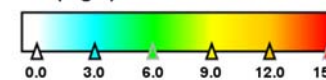
**Estado trófico en la zona central
22-junio-2022**

Transparencia	Clorofila a
1,72 m	21,41 µg/L
Mesotrófico	Eutrófico
Estado trófico promedio	
Eutrófico	
Riesgo de eutrofización	
Eutrófico	

Secchi (m)



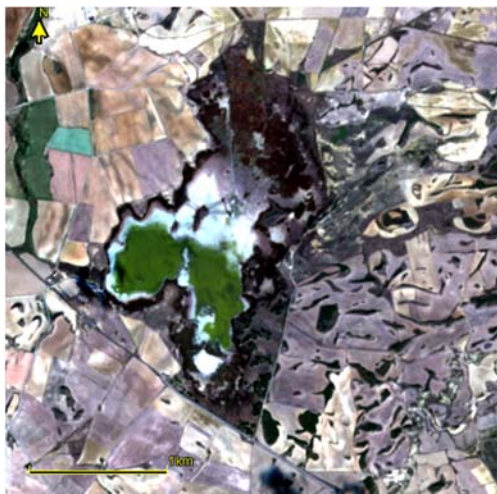
TSM (mg/L)



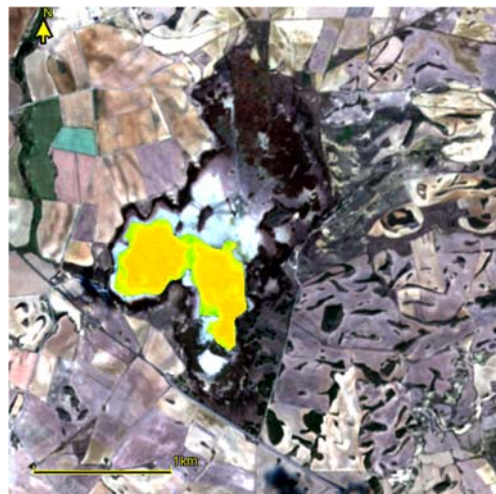
chl a (ug/L)



MASA 1016. LAGUNA DE PITILLAS



Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



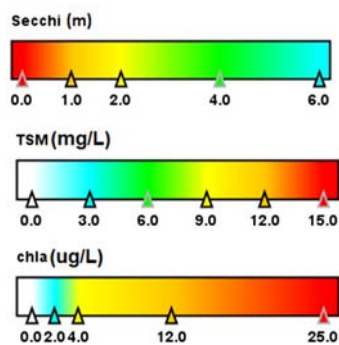
Materia en suspensión (TSM)



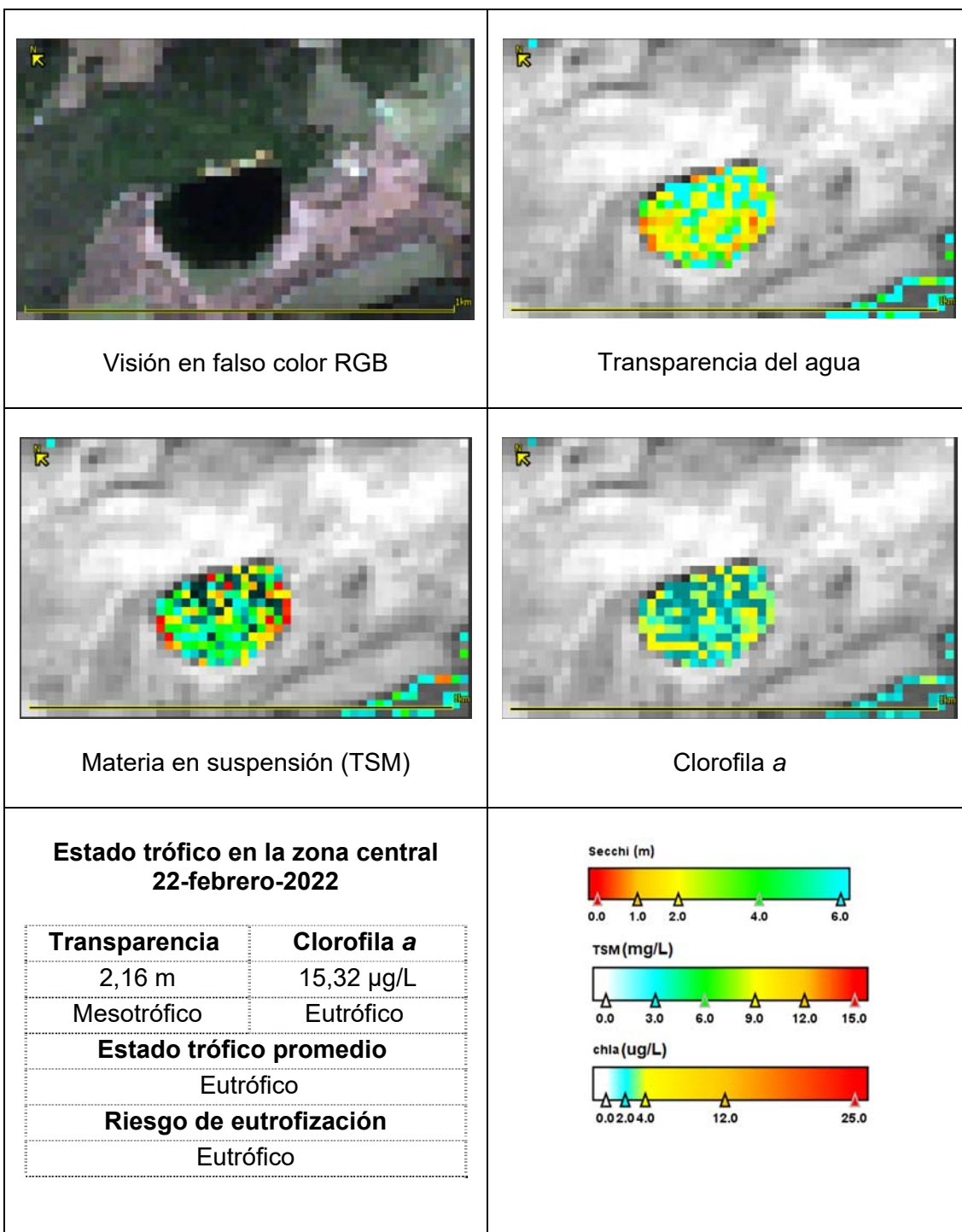
Clorofila a

**Estado trófico en la zona central
16-noviembre-2022**

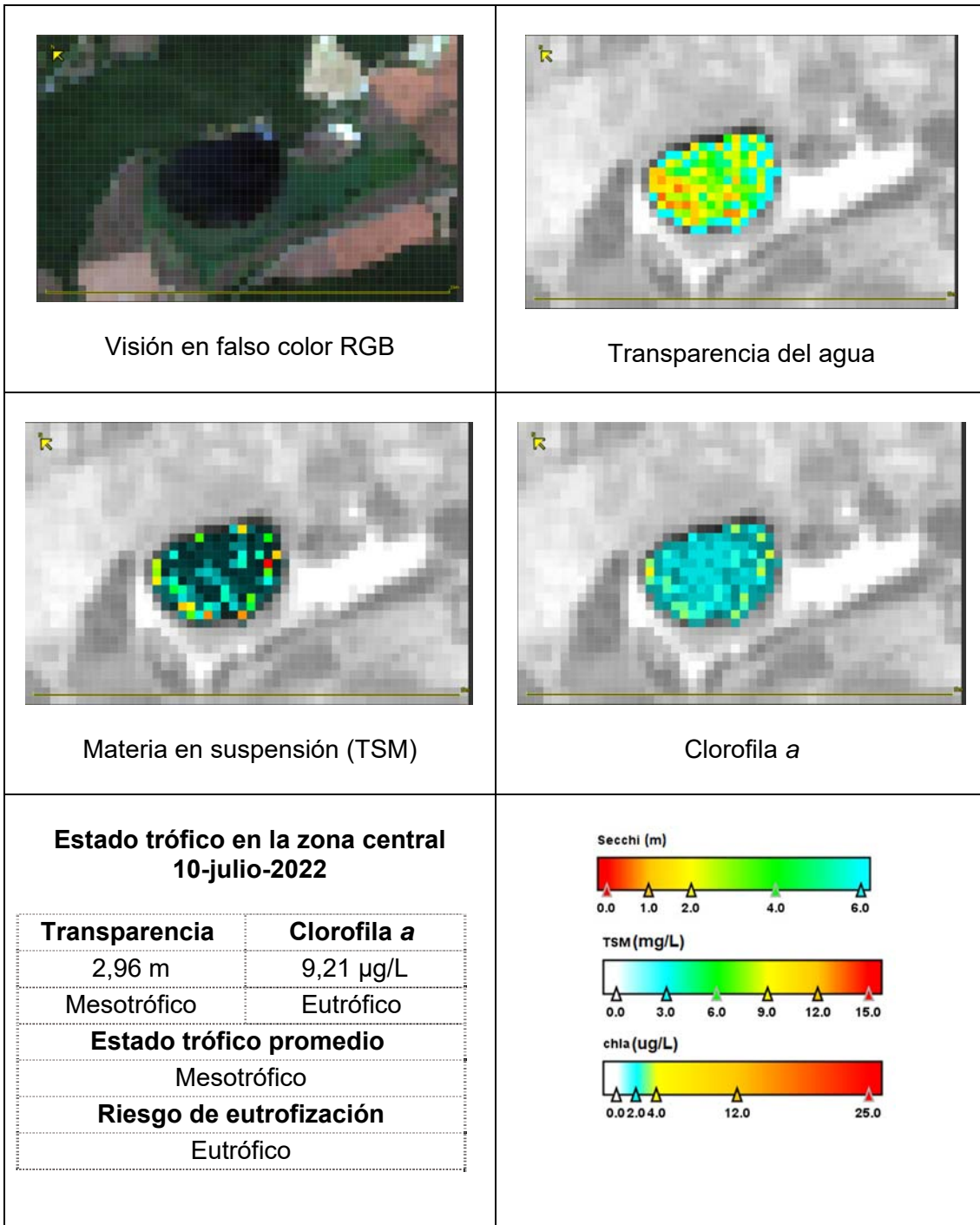
Transparencia	Clorofila a
0,68 m	32,27 µg/L
Eutrófico	Hipereutrófico
Estado trófico promedio	
Eutrófico	
Riesgo de eutrofización	
Eutrófico	



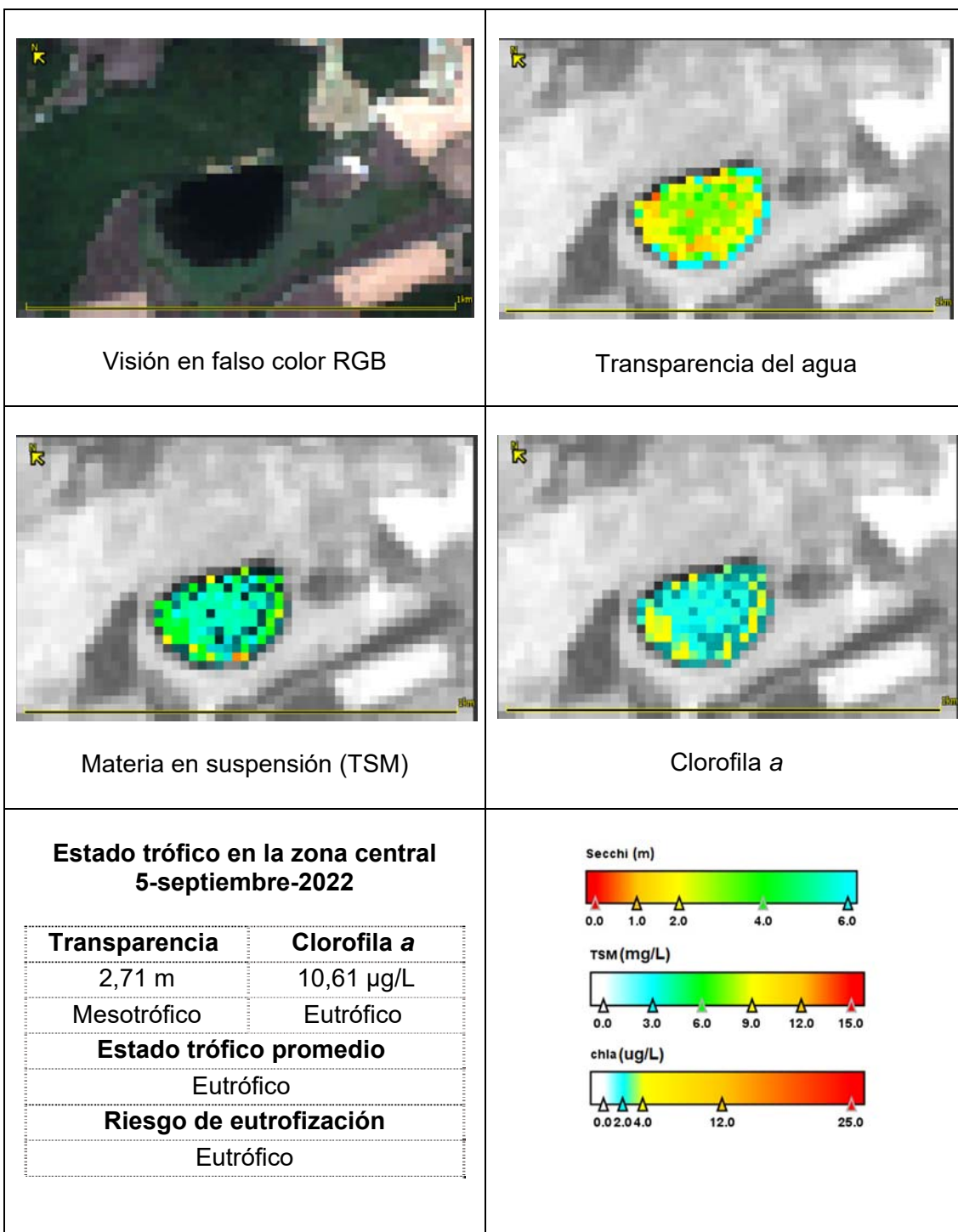
MASA 1019. LAGO DE ARREO



MASA 1019. LAGO DE ARREO



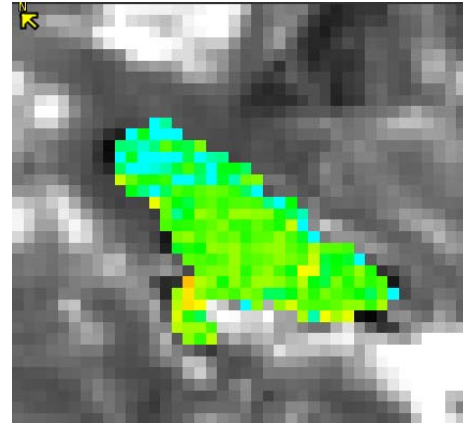
MASA 1019. LAGO DE ARREO



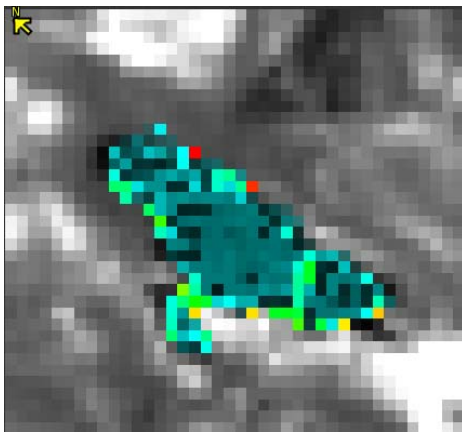
MASA 1027. LAGO DE MARBORÉ



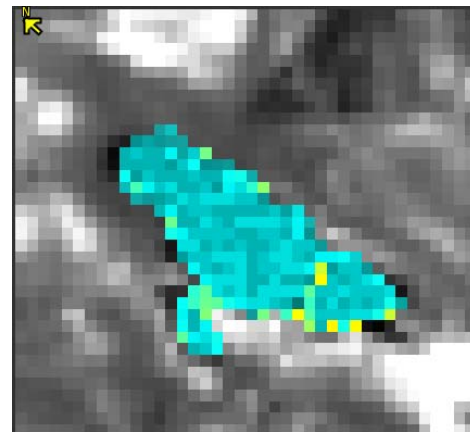
Visión en falso color RGB



Transparencia del agua



Materia en suspensión (TSM)



Clorofila a

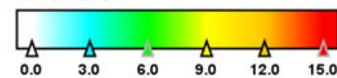
**Estado trófico en la zona central
3-agosto-2022**

Transparencia	Clorofila a
3,40 m	2,55 µg/L
Oligotrófico	Mesotrófico
Estado trófico promedio	
Oligotrófico	
Riesgo de eutrofización	
No eutrófico	

Secchi (m)



TSM (mg/L)



chl a (ug/L)







ANEXO 3. ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE PLANTAS FLOTANTES EN EL EMBALSE DE RIBARROJA

INFORME SOBRE LA PRESENCIA DE ESPECIES FLOTANTES EN EL EMBALSE DE RIBARROJA EN DICIEMBRE DE 2022

ANTECEDENTES

Por parte del Área de Calidad de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro se ha proporcionado documentación gráfica relacionada con observaciones de plantas flotantes en el embalse de Ribarroja en la confluencia de los cauces del Ebro y el Matarraña. La imagen panorámica desde el mirador sobre el embalse muestra una vista del día 14 de diciembre de 2022, en la cual una extensión importante de plantas flotantes se observa con contundencia.



14-diciembre-2022. Observación del embalse, a la izquierda el Ebro aguas arriba y a la derecha el Matarraña y el cauce del Ebro hacia la presa de Ribarroja. Imagen facilitada por C.H.E.

Los crecimientos de plantas flotantes importantes en este embalse no son frecuentes, pero sí que han tenido lugar algunas veces en años anteriores. Se ha realizado una revisión desde el año 2000 hasta el presente de observación en imágenes de satélite Landsat de presencia apreciable, similar a la de este año, de masas de plantas flotantes, y el resultado ha sido que se observan con claridad los años 2006, 2009, 2019 y 2021.

Incluso en las imágenes de ESRI World Imagery de libre disposición, se puede observar con buena resolución la escena correspondiente al año 2021, donde se puede postular que el origen de las plantas flotantes es del río Segre, que tienden a acumularse en la confluencia con el Ebro, junto al puente de Mequinenza y que se desplazan por la corriente hacia Ribarroja, aunque por nuestro conocimiento en otros embalses, el viento fuerte también puede desplazar estas masas flotantes en el sentido del viento dominante.

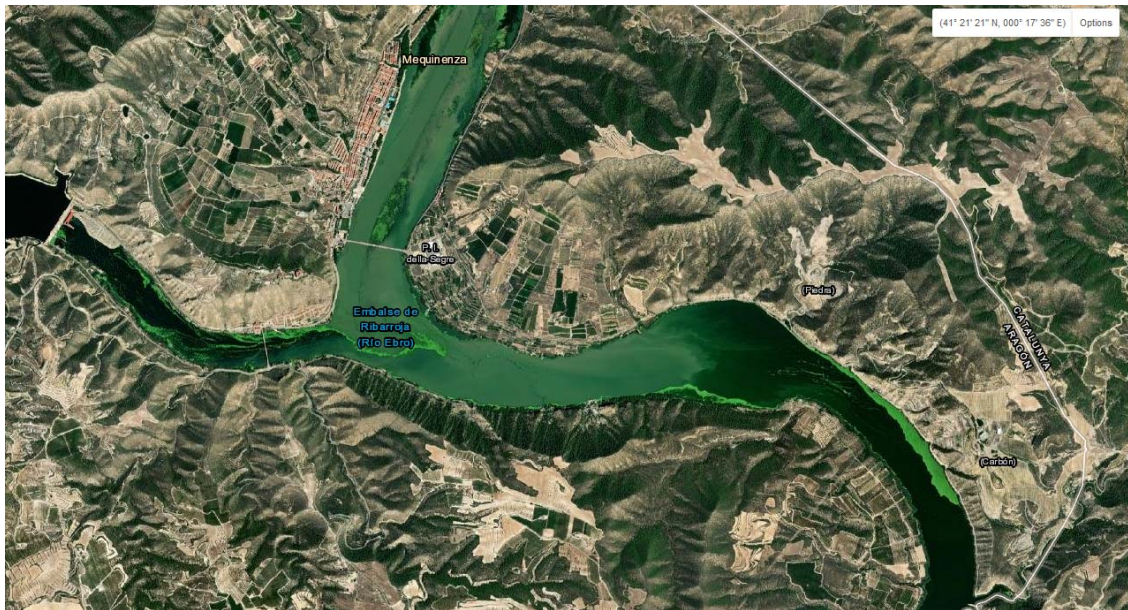
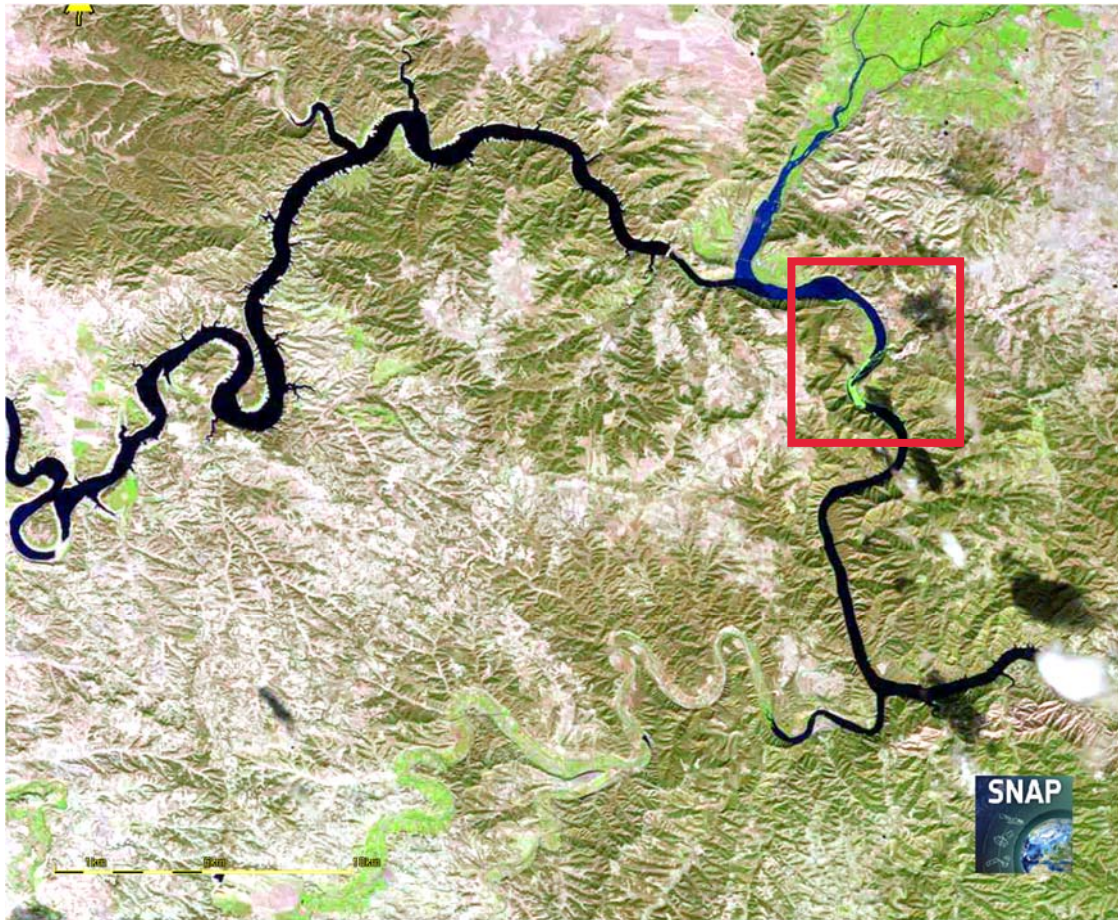
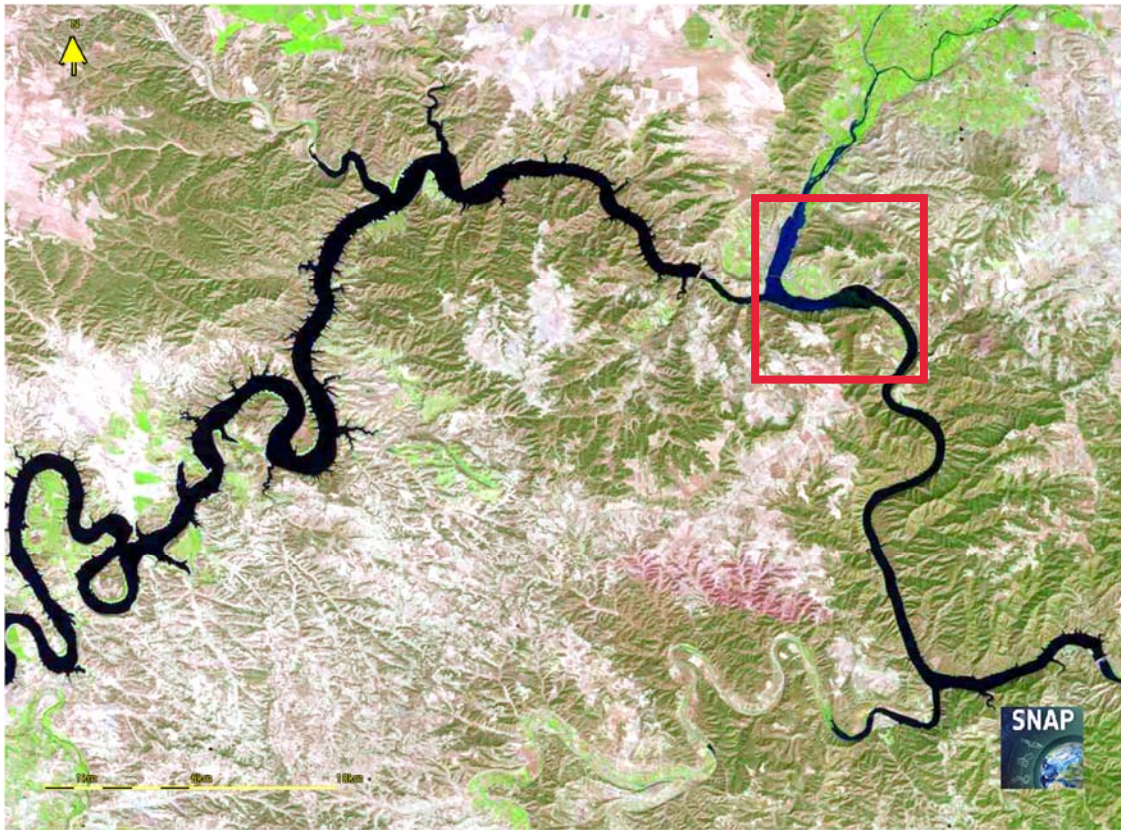


Imagen de fecha desconocida de 2021 obtenida de ESRI World Imagery. La vegetación flotante aparecerá en las imágenes con el color verde intenso.

En las imágenes siguientes observaremos este suceso en años anteriores. Habiéndose observado desde el año 2000 por primera vez en el otoño de 2006. Dado que entre la confluencia del Ebro y el Segre hasta la confluencia del Ebro y Matarraña es una zona despoblada, sin accesos al río, más que los pescadores, es probable que cuando ha sucedido este crecimiento espectacular de las plantas flotantes, haya pasado desapercibido. Sin embargo, la disponibilidad de las imágenes de satélite nos permite conocer estas situaciones sucedidas en el pasado en el momento presente.



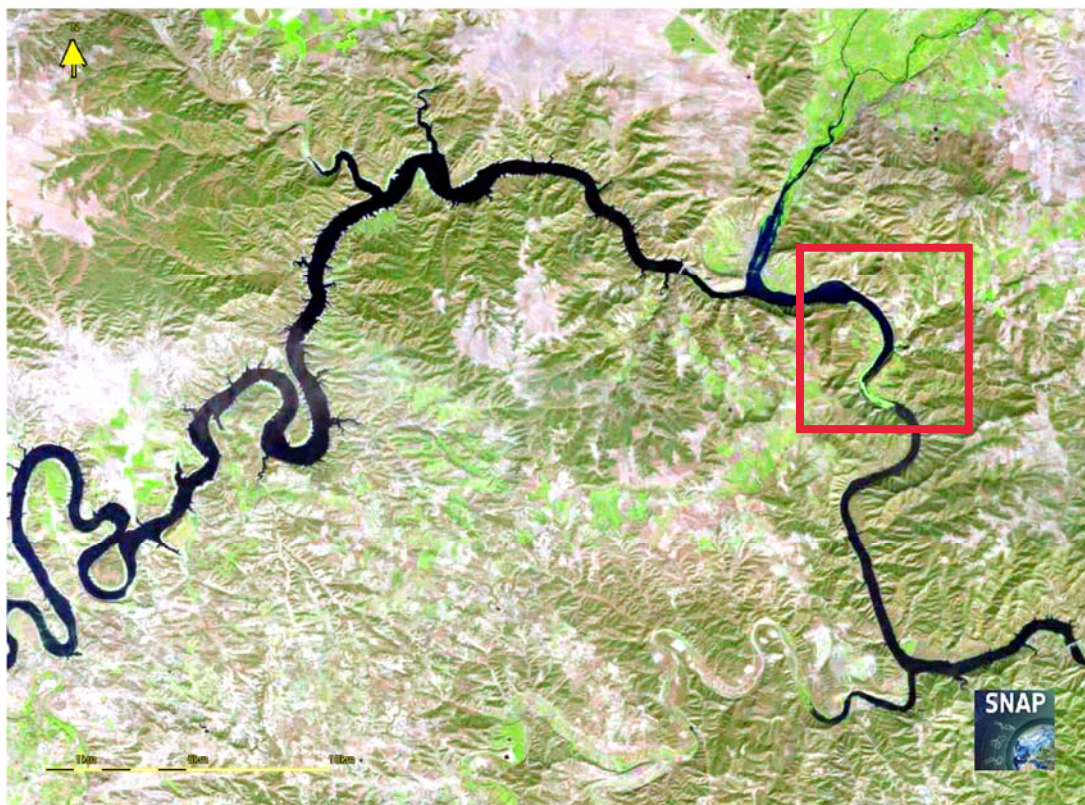
13-octubre-2006. Presencia de flotantes en una longitud de unos 2 km, con recubrimiento apreciable que se extienden por el embalse.



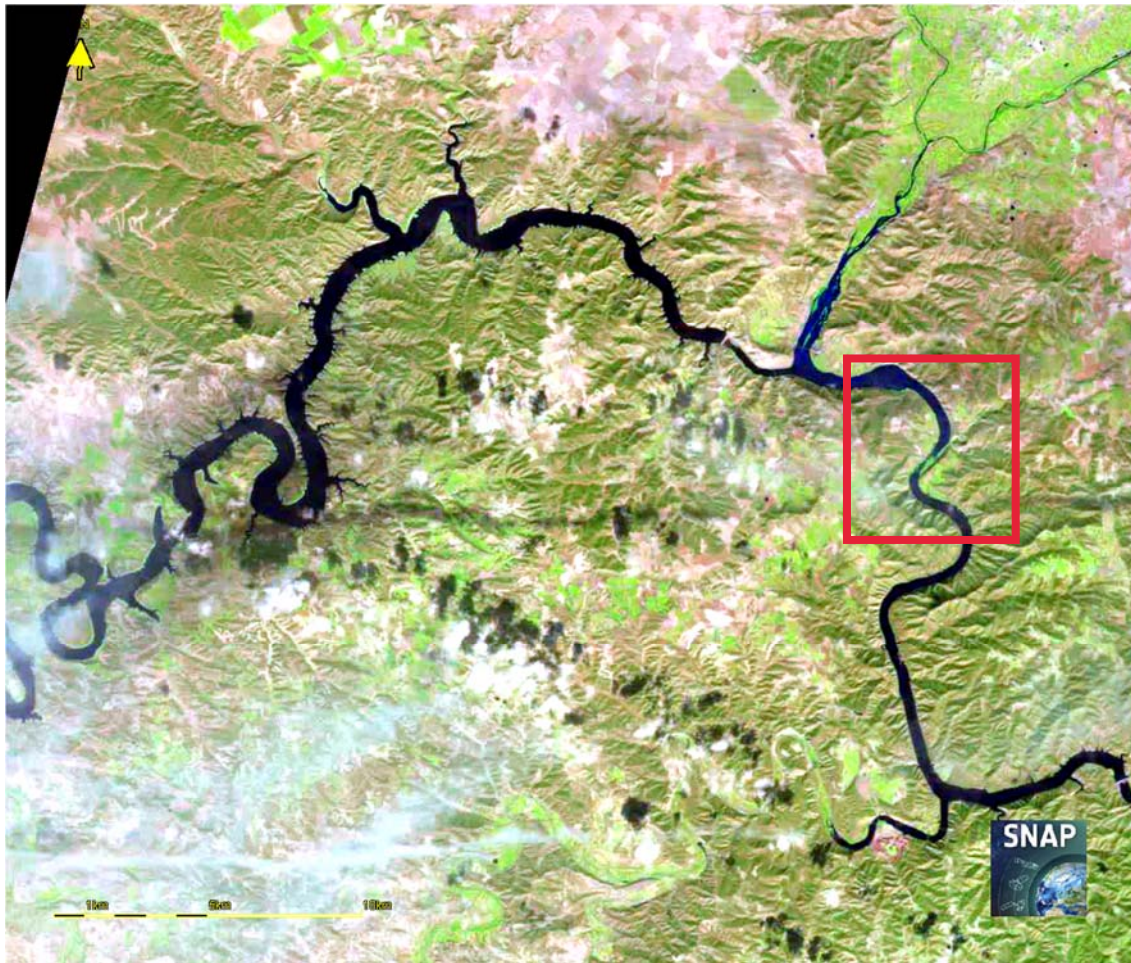
10-septiembre-2009. Presencia de flotantes con recubrimiento bajo, sin formar masas. En el detalle siguiente se aprecia mejor.



Detalle de los flotantes con recubrimiento bajo. Longitud estimada 1 km.



8-octubre-2019. Presencia de flotantes con recubrimiento importante aunque no llega a ocupar el total de la anchura del embalse en esta escena, pero con una longitud próxima a los 4 km.



6-octubre-2021. Presencia de flotantes sin recubrir toda la anchura del embalse en una longitud de unos 2 km.

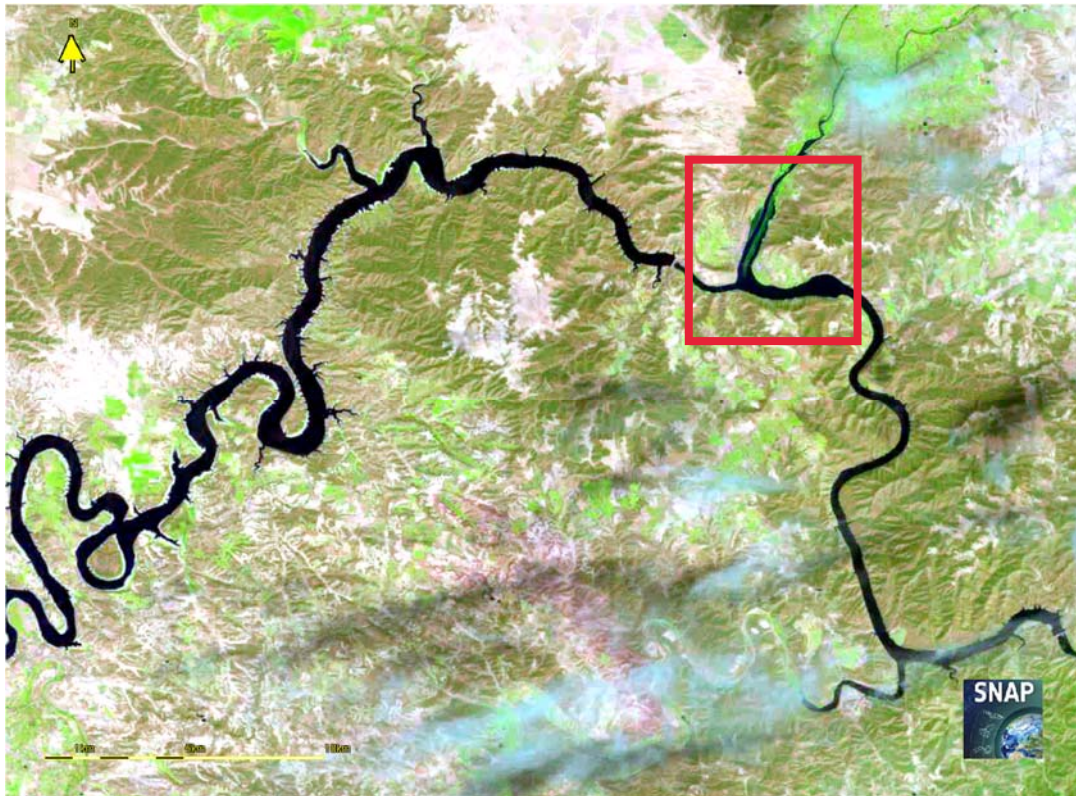
En este año 2022, se ha descargado todas las imágenes disponibles en las que se pueda apreciar, incluso con la presencia de nubes, que se visualiza las plantas flotantes. Se parte del estado inicial, sin flotantes en el mes de julio de 2022.

No existe por ahora una razón clara de la presencia de estas plantas, ahora se ha observado que son lenteja de agua principalmente en las muestras de diciembre de 2022. Dado que es una planta que crece bien en aguas limpias con nutrientes, hipotetizamos que puede deberse al desembalse de aguas hipolimnéticas de Rialb y de Mequinenza durante este verano y otoño. Es conocido que estos dos embalses presentan un hipolimnion anóxico en el cual se acumulan nutrientes, que al liberarse al cauce han favorecido el crecimiento de la vegetación en general y también de la lenteja de agua, indicador de aguas eutrofizadas. Ahora, a finales de diciembre de 2022, está ya senescente porque han cesado los desembalses, pero la masa se extiende todavía a merced del viento y la corriente por este tramo del embalse.

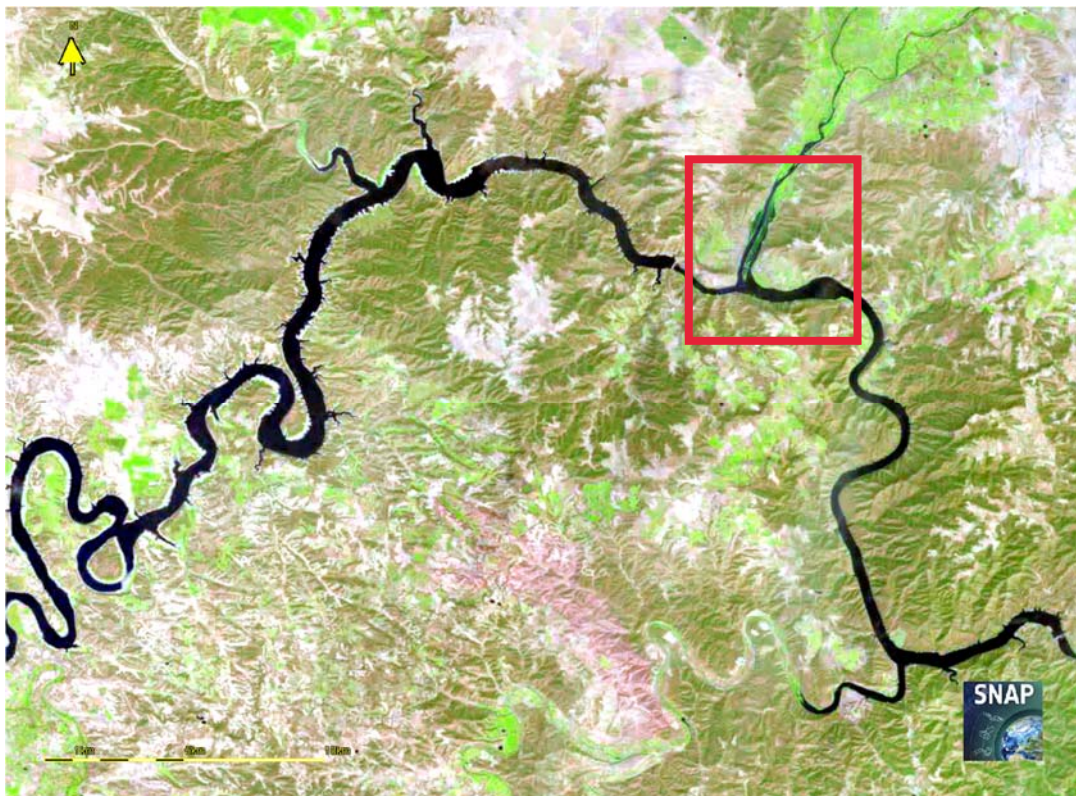
De haberse observado en sus inicios, se podría haber realizado labores de recogida de la cosecha y extracción con el fin de que no fuera un problema visual. Durante el invierno se arrastrará hasta la presa, degradará y pasará a formar parte del sedimento del embalse probablemente, o bien si hubiera habido una crecida y un desembalse por superficie, se trasladaría aguas abajo y desaparecería, cosa que no pasó.



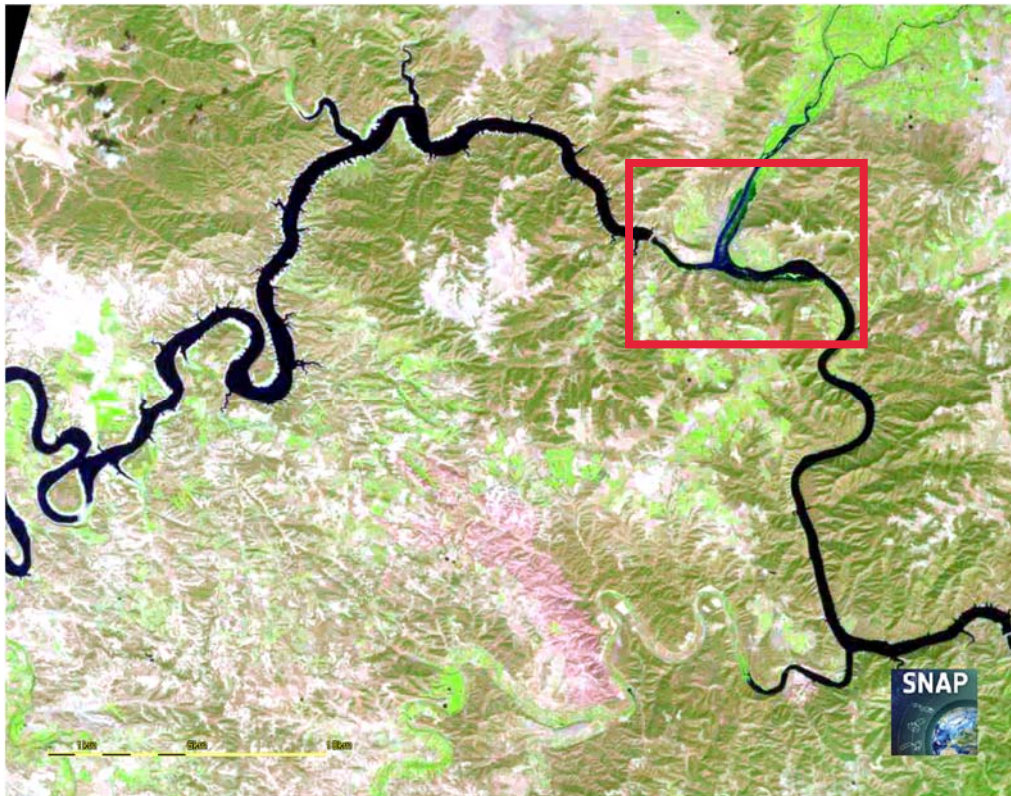
21-julio-2022. Ausencia de plantas flotantes.



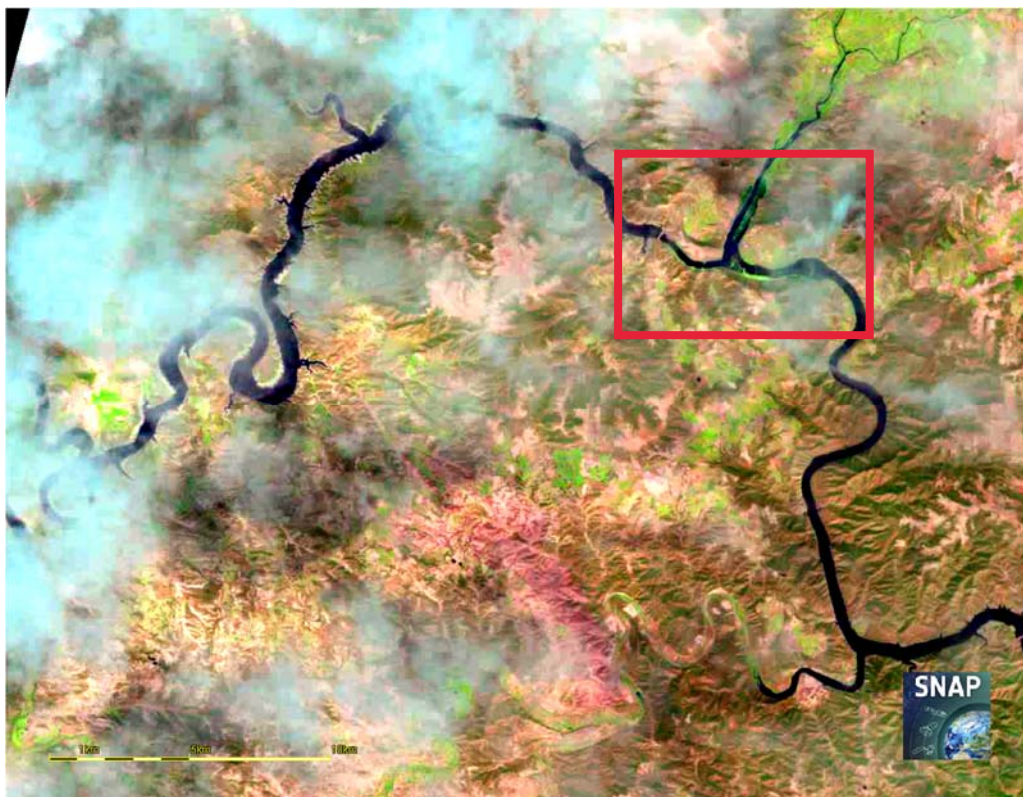
5-agosto-2022. Ausencia de flotantes, pero observar que el tramo del Segre en Mequinenza ha intensificado su tonalidad verde. Pensamos que es el germen de acumulación de los flotantes que luego se dispersan aguas abajo.



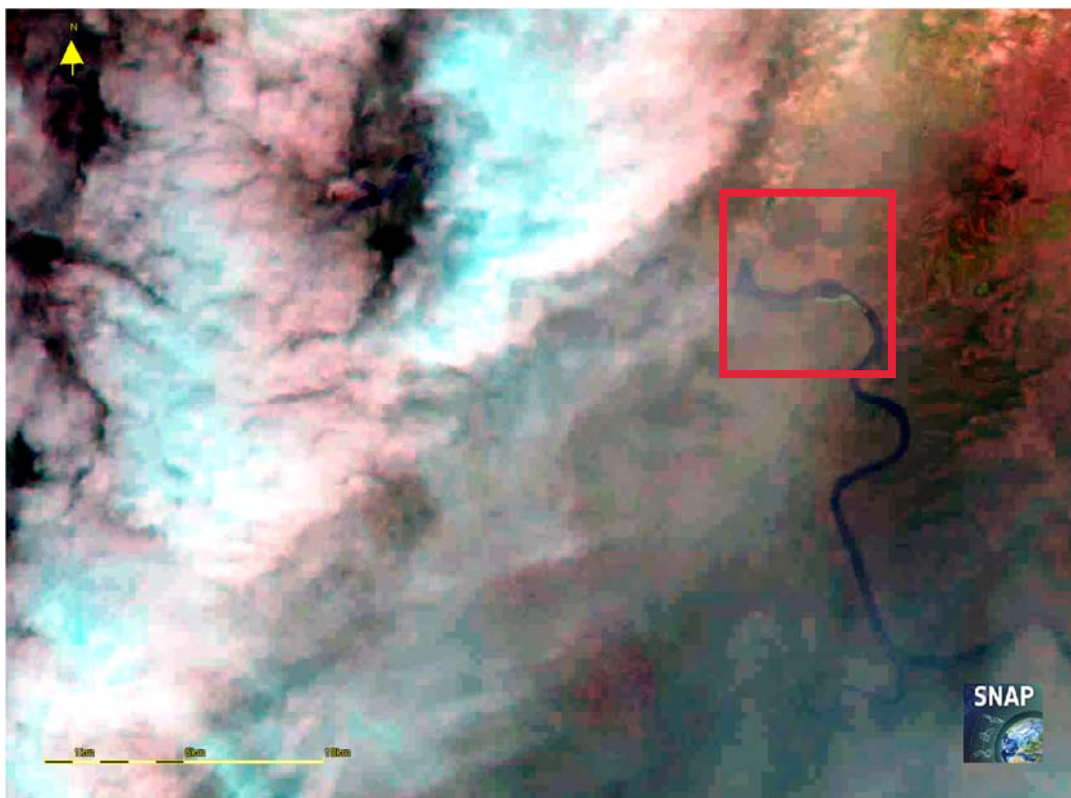
21-agosto-2022. Aumenta la densidad de verde en el Segre en la población de Mequinenza.



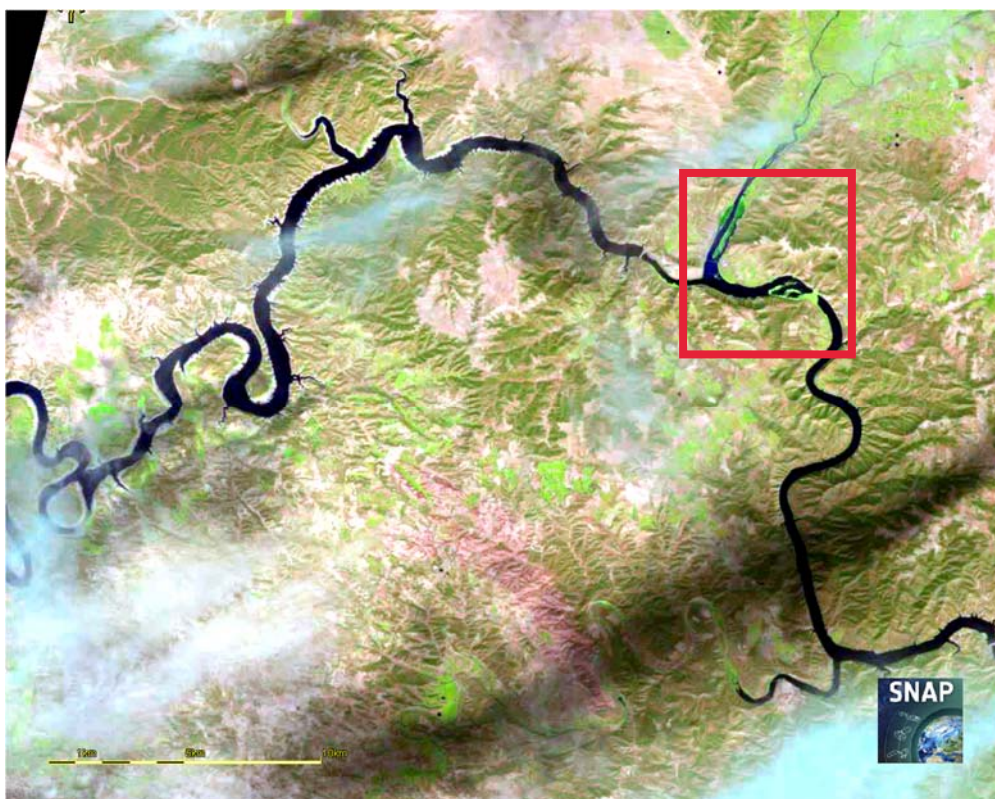
30-agosto-2022. Se observa los flotantes en el Ebro en Ribarroja. Longitud 2 km, recubrimiento bajo. También hay acumulaciones debajo de la presa de Mequinzenza en la orilla sur.



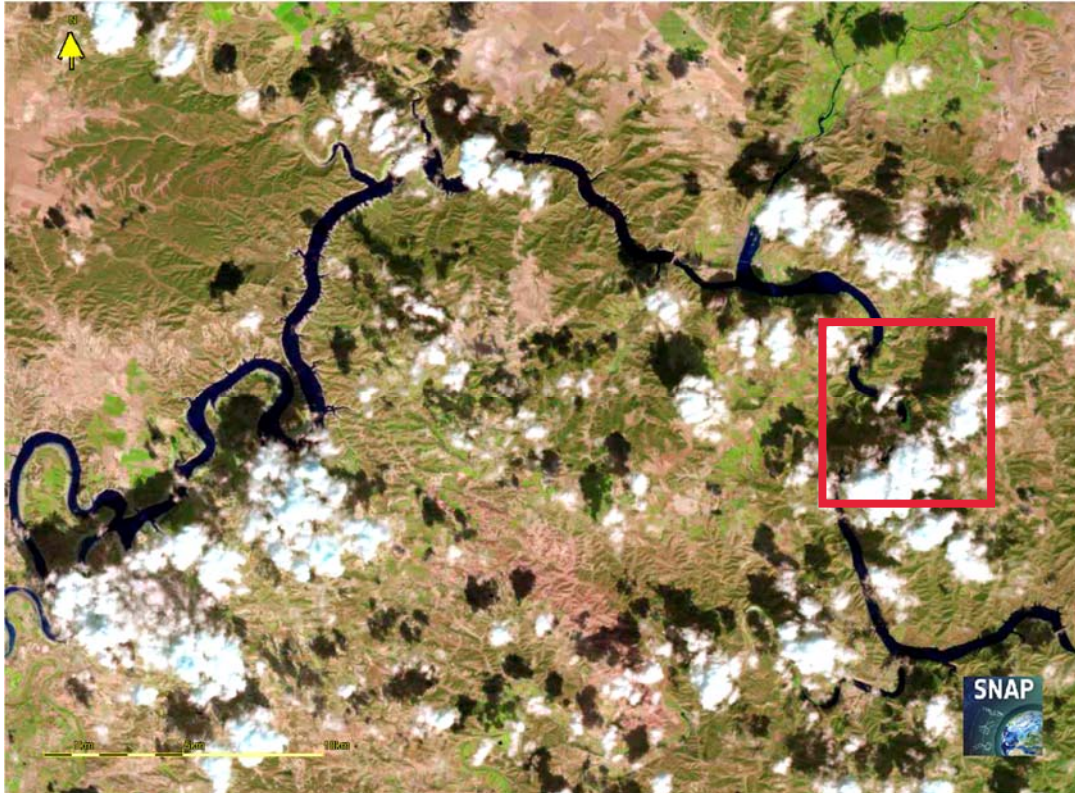
7-septiembre-2022. Extensión similar a la semana anterior, pero aumenta el recubrimiento en Ribarroja en la orilla sur y abajo de la presa de Mequinzenza.



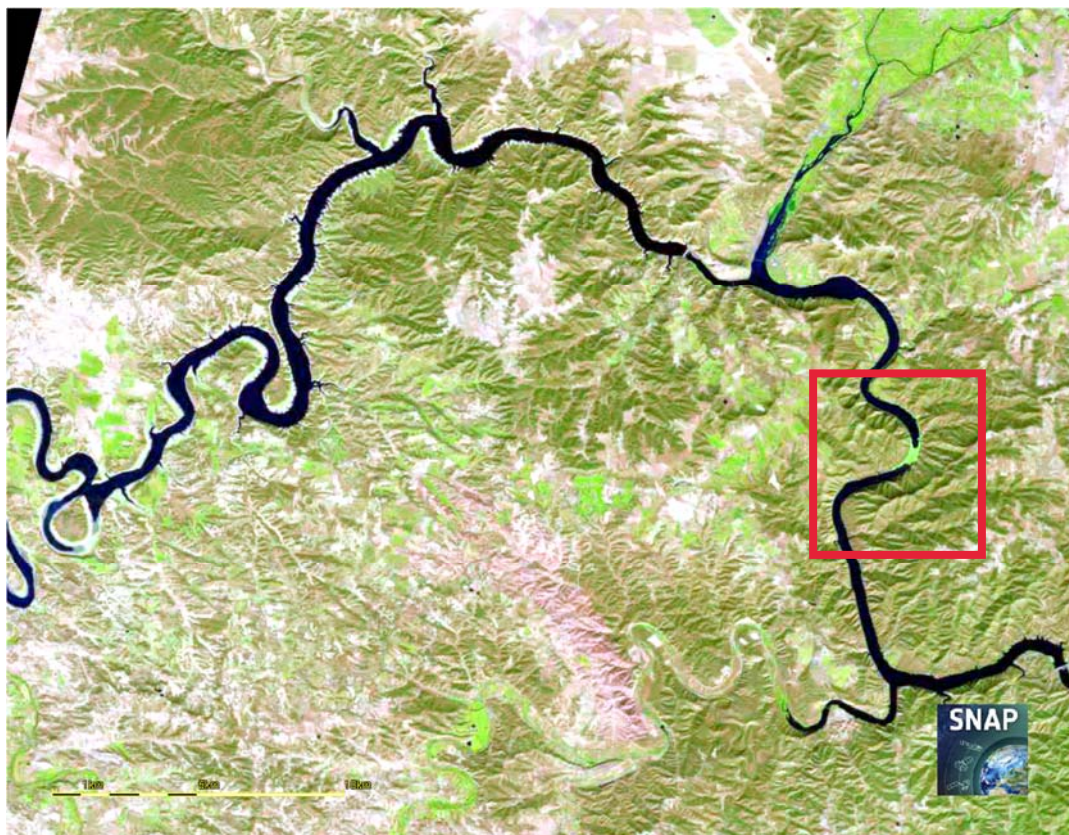
14-septiembre-2022. Las plantas se desplazan ya por Ribarroja, entrando en la primera curva, a unos 4 km de la confluencia.



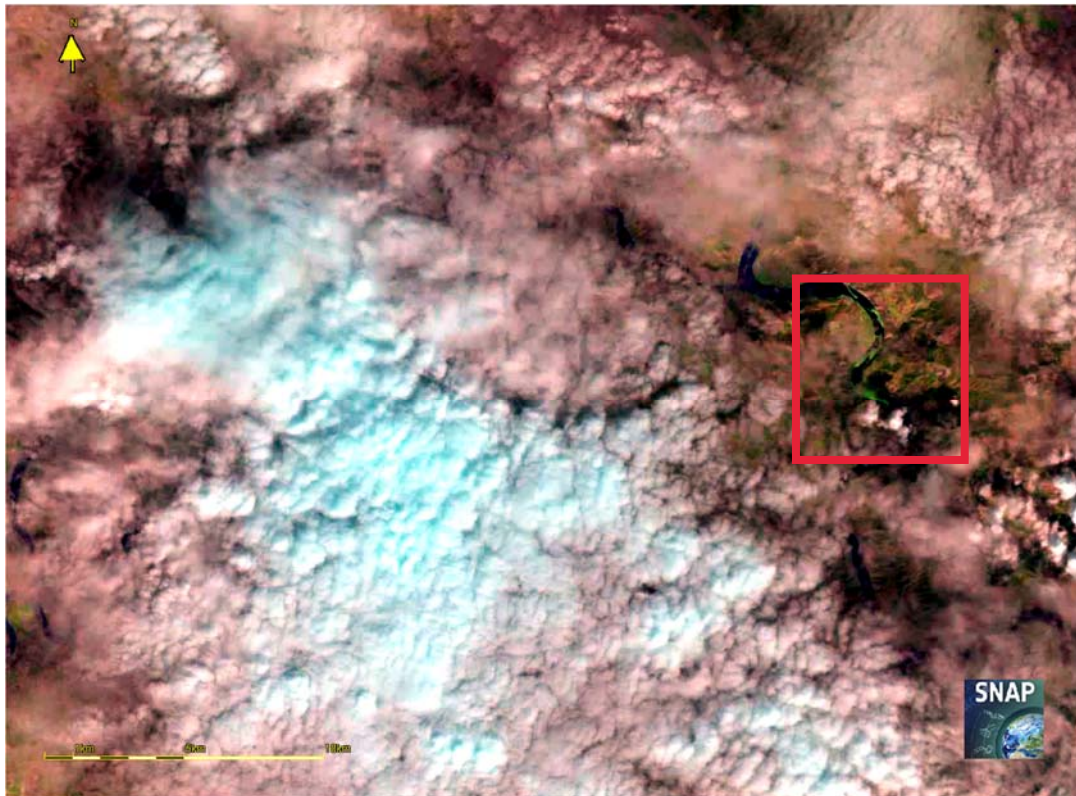
15-septiembre-2022. Se observa la acumulación en la primera curva que ya cubre toda la anchura del embalse.



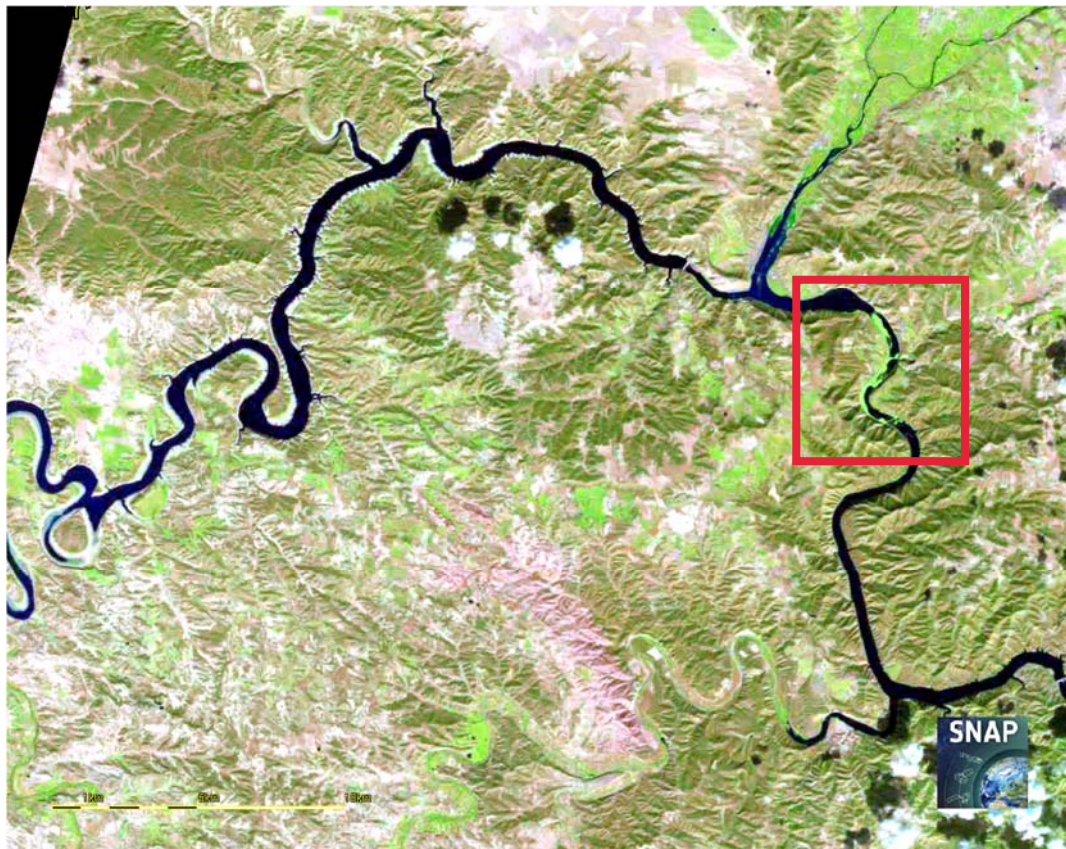
30-septiembre 2022. Entre las nubes se observa la acumulación ya en la tercera curva del embalse.



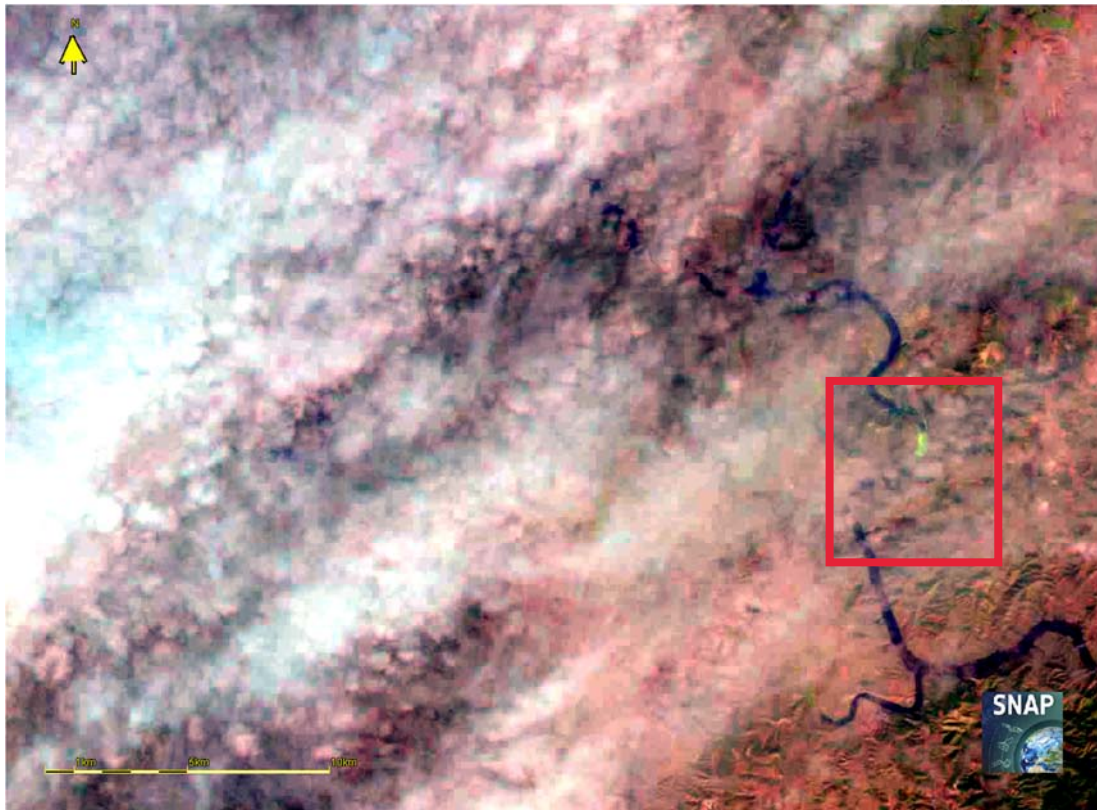
1-octubre-2022. Acumulación de 1 a 2 km de largo que recubre toda la anchura en la tercera curva.



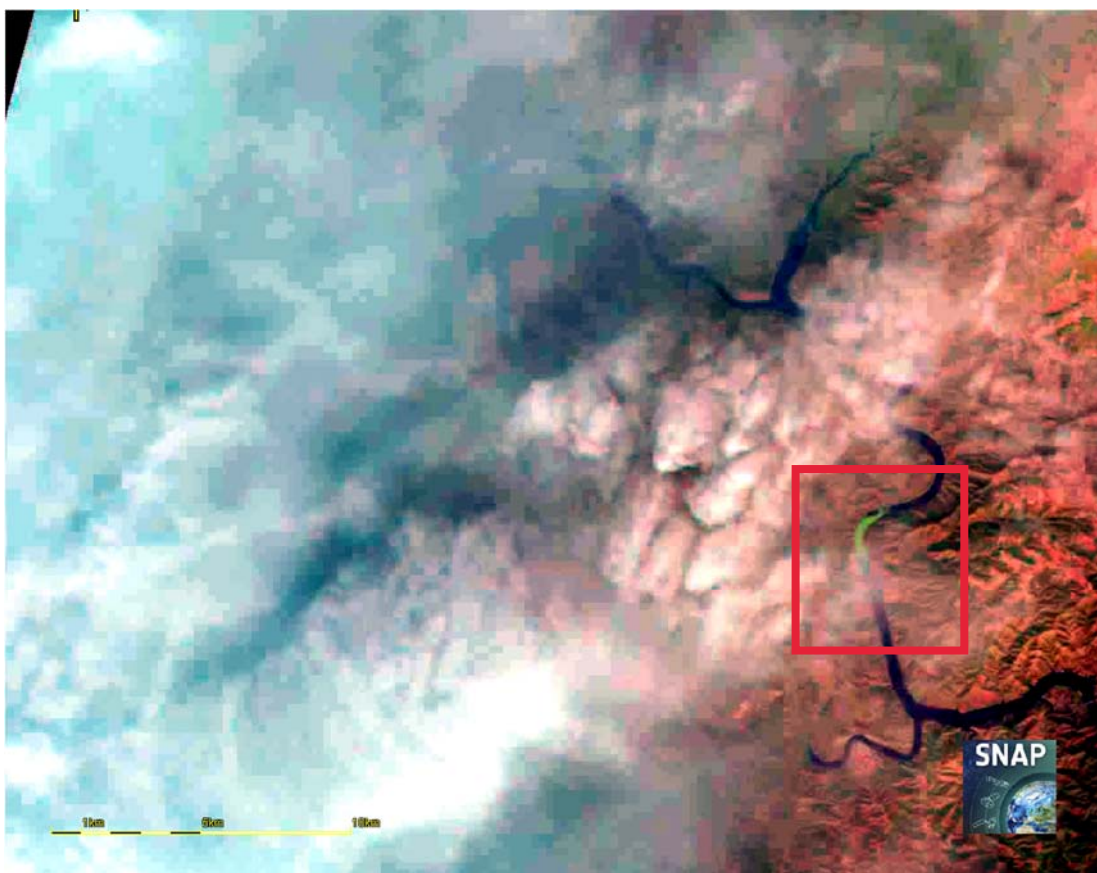
8-octubre-2022. Entre las nubes se observan masas dispersas por la primera y segunda curva.



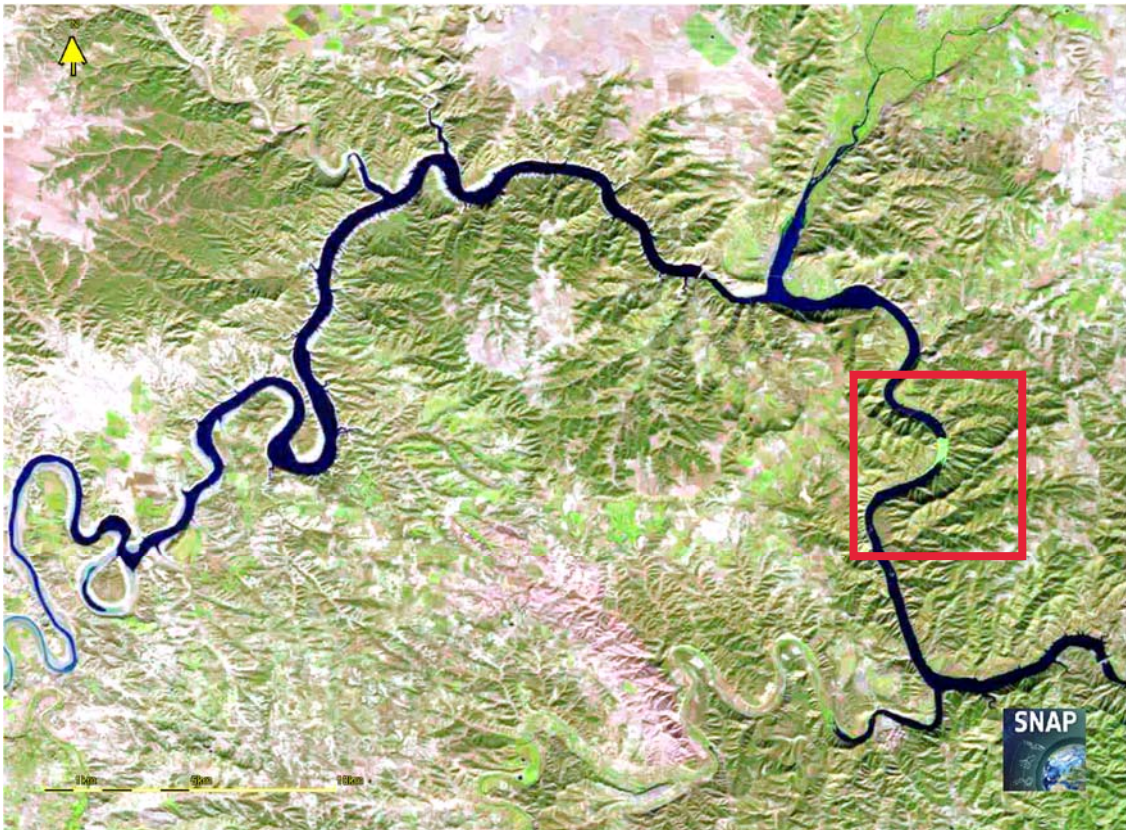
9-octubre-2022. Acumulaciones importantes en la primera y segunda curva.



24-octubre-2022. Acumulación en la tercera curva en toda la anchura del embalse.



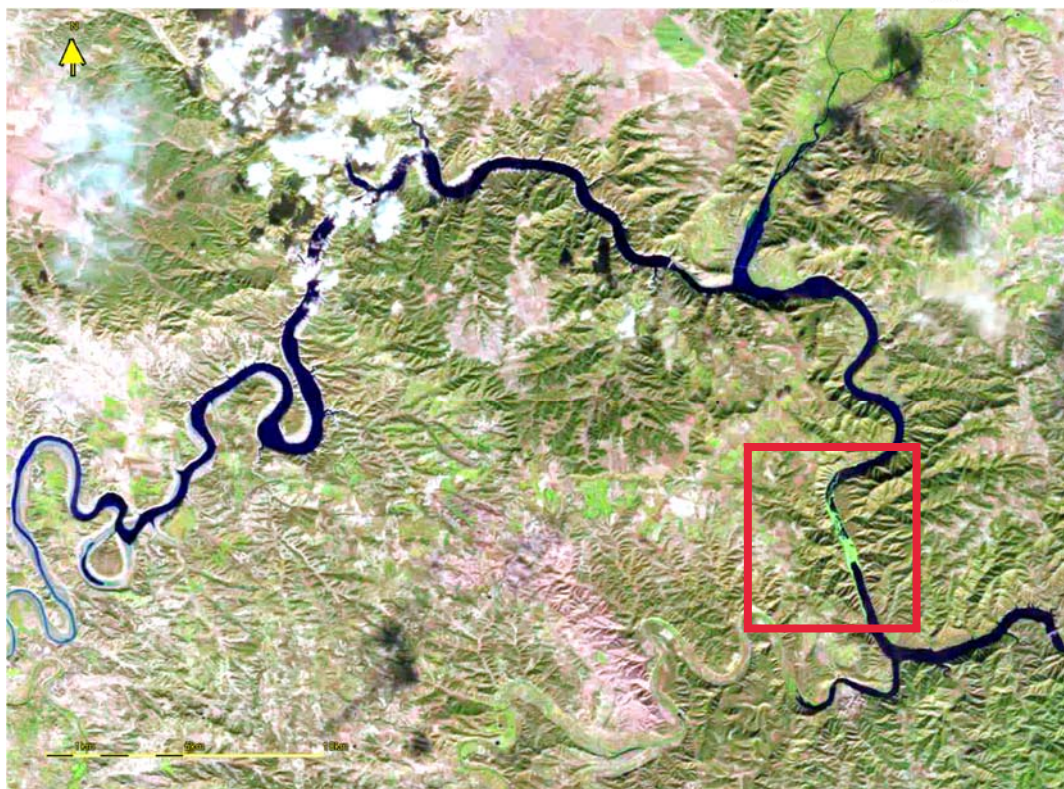
25-octubre-2022. Acumulación en la cuarta curva del embalse de unos 3 km de longitud.



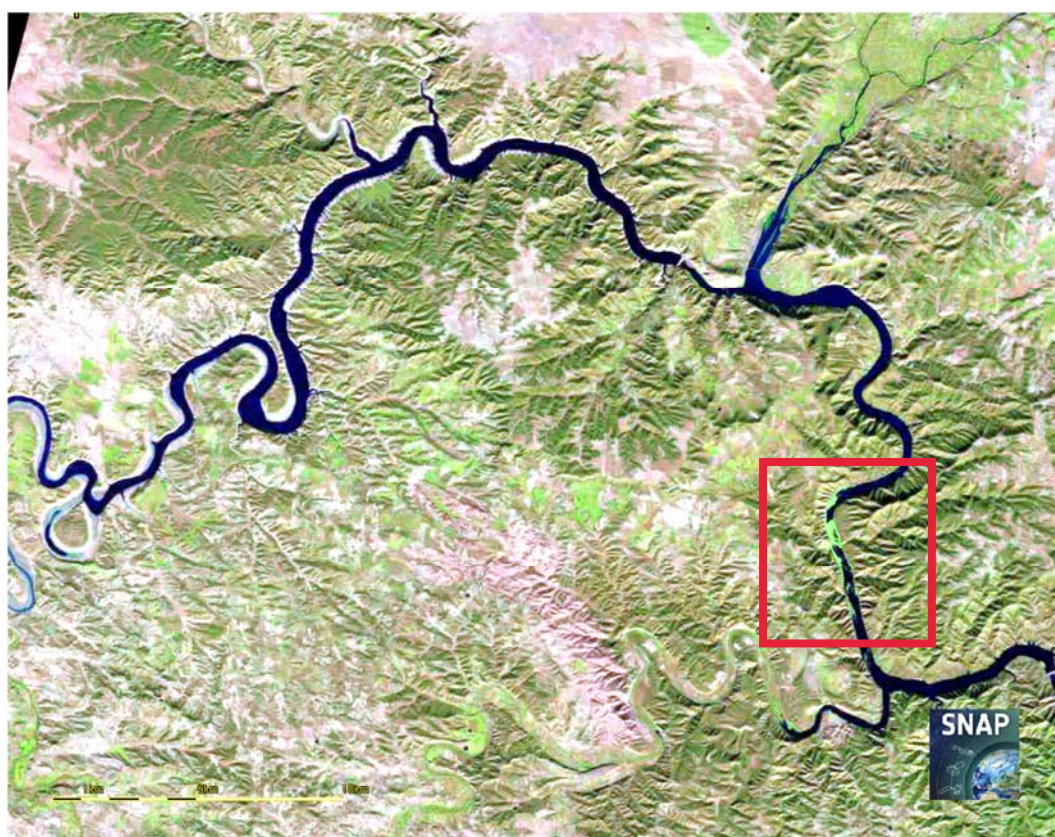
1-noviembre-2022. Acumulación en la tercera curva en toda la anchura y 1,5 km de longitud.



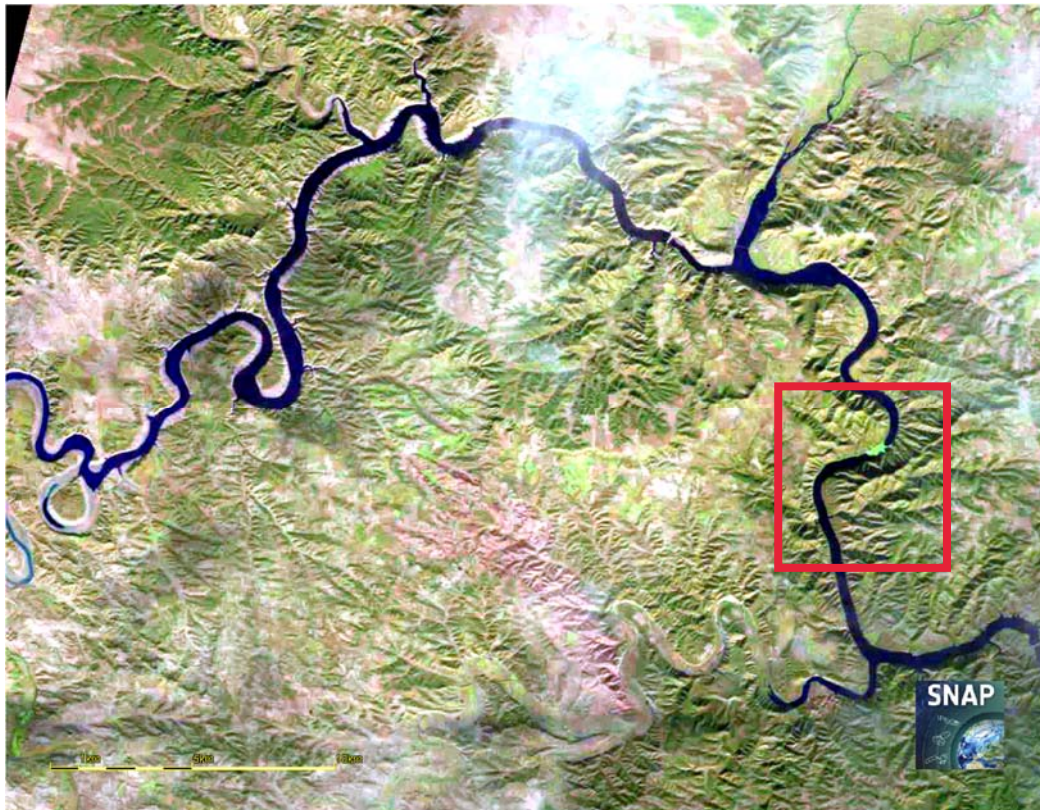
2-noviembre-2022. Acumulación de unos 2 km entre la tercera y cuarta curva.



9-noviembre-2022. Las plantas sobrepasan la cuarta curva y se entienden unos 5 km, llegando al Matarraña.



10-noviembre-2022. La acumulación se extiende unos 6 km desde la cuarta curva hasta la confluencia.



26-noviembre-2022. La acumulación se sitúa ente la tercera y cuarta curva, siendo poco apreciable aguas abajo.



21-diciembre-2022. Se observa acumulación ya en las proximidades de la presa y márgenes del embalse.



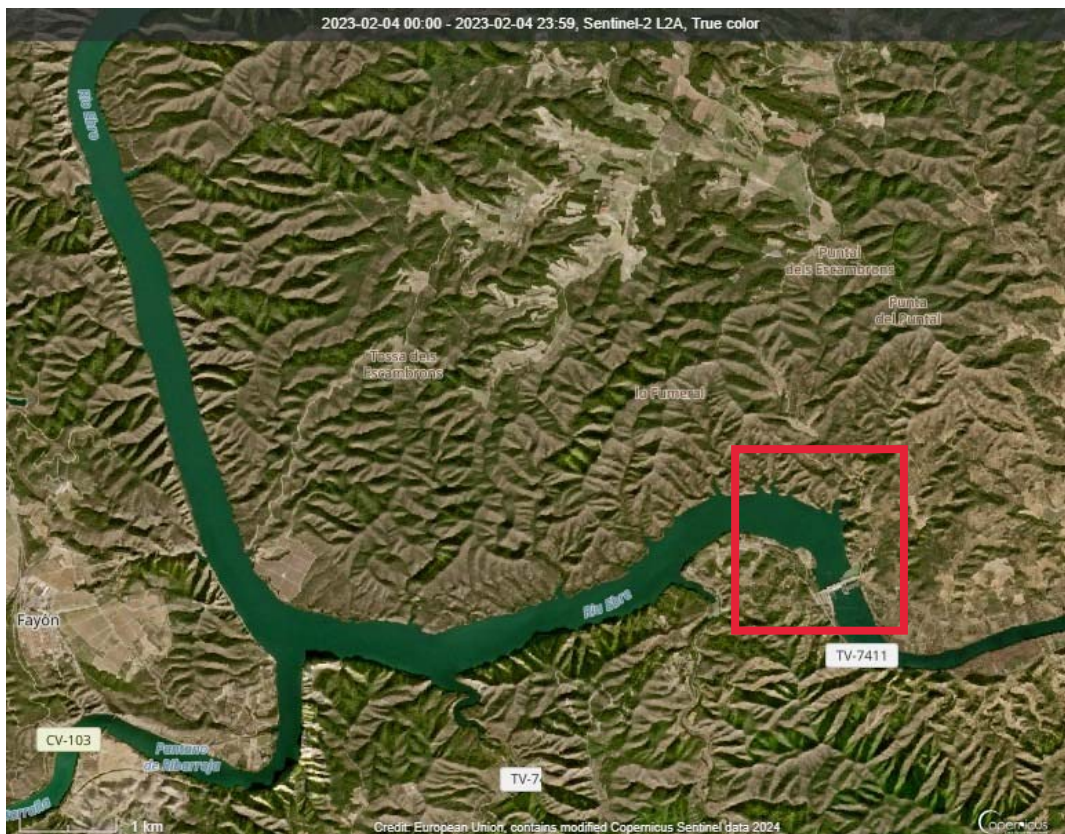
31-diciembre-2022. La masa flotante se acumula ya junto a la presa.



10-enero-2023. La masa flotante se acumula ya junto a la presa de Ribarroja, en la margen izquierda en menor superficie.



20 enero-2023. La masa flotante prácticamente ha desaparecido, quedando algunas acumulaciones en los bordes de la presa y en el afluente de la margen derecha.



4-febrero-2023. Queda una pequeña masa junto a la presa.



14-febrero-2023. Se observan acumulaciones dispersas con formas debidas a la acción del viento que las mueve de un lado a otro.



19-febrero-2023. De nuevo se acumula junto a la presa.



1-marzo 2023. Se observan sólo pequeñas acumulaciones por última vez.



16-marzo-2023. Pequeños grupos ligeros. Posteriormente ya no se observaron flotantes.

