



**DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL EMBALSE DE AS CONCHAS MEDIANTE
TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN.**

**DETERMINATION OF THE WATER QUALITY STATUS OF
THE AS CONCHAS RESERVOIR USING REMOTE SENSING
TECHNIQUES.**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

Jorge Arturo Quirós Fernández

Dirigido por:

D. Francisco Carreño Conde

Alcalá de Henares, a 6 de junio de 2022

Índice

Índice de figuras	4
Índice de tablas.....	5
Tabla de abreviaturas	6
Resumen.	7
1. Introducción.	8
2. Zona de Estudio.	12
3. Metodología.	14
3.1 Instrumentos.	14
3.2 Algoritmo C2RCC.....	14
3.3 Obtención de las imágenes.	17
3.4 Tratamiento de las imágenes.	18
3.5 Análisis de las medidas <i>in situ</i>	20
3.6 Elaboración del mapa de ubicación.....	21
4. Resultados.	22
5. Discusión.	23
5.1 Correlación entre los datos obtenidos por el algoritmo C2RCC con información de campo y sin información de campo.	23
5.2 Correlación entre los datos obtenidos en campo y los proporcionados por el algoritmo C2RCC con correcciones.	25
5.3 Variación en la calidad del agua del embalse As Conchas.....	27
5.4 Distribución de la clorofila y los sólidos suspendidos totales durante el 2021 en el embalse de As Conchas.....	31
6. Conclusiones.	34
Bibliografía	35
Anexos	39
Anexo I: Capturas de notas de prensa y titulares de diarios referentes al embalse de As Conchas.....	39
Anexo II: Codificación de las imágenes y datos obtenidos con el algoritmo corregido y datos de campo.....	40
Anexo III: Promedios de clorofila, sólidos suspendidos y transparencia del algoritmo sin corregir para el embalse y para cada boya, datos meteorológicos y volumen del embalse,	42
Anexo IV: Distribución de sólidos suspendidos y clorofila durante el 2021.	45

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	12
Figura 2. Captura del proceso de selección del algoritmo C2RCC y los parámetros de entrada que contiene	16
Figura 3. Captura del proceso de selección de Resample y Subset	18
Figura 4. Localización de las boyas dentro del embalse	19
Figura 5. Correlación de solidos suspendidos (tsm), clorofila (chl) y transparencia para ambas boyas	24
Figura 6. Correlación de los datos aportados por las boyas y el algoritmo C2RCC	25
Figura 7. Correlación de los datos aportados por ambas boyas y el algoritmo C2RCC	26
Figura 8. Evolución de las concentraciones de clorofila y solidos en suspensión en el embalse de As Conchas durante el 2021.....	27
Figura 9. Evolución meteorológica y de las condiciones del cuerpo de agua de As Conchas durante el 2021.....	28
Figura 10. Variación de las condiciones del agua durante el 2021 en ambas boyas	30
Figura 11. Concentraciones de tsm (a) y chl (b) 28/02/2021	31
Figura 12. Concentraciones de tsm (a) y chl (b) 19/09/2021.....	32
Figura 13. Concentraciones de chl 16/07/2021	32
Figura 14. Concentraciones de tsm 26/10/2021	32
Figura 15. Concentraciones de chl 15/11/2021	32
Figura 16. Concentraciones de tsm 19/05/2021	32
Figura 17. Captura de la nota de prensa de la confederación hidrográfica del Miño-Sil	39
Figura 18. Captura de los titulares de prensa referentes a los problemas del embalse. Capturas de La voz de Galicia (a), El Español (b) y La Región (c).	39
Figura 19. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 17/01/2021.	45
Figura 20. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 20/03/2021.	45
Figura 21. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 17/04/2021.	45
Figura 22. Concentraciones de chl 19/05/2021.....	46
Figura 23. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 23/06/2021.	46
Figura 24. Concentraciones de tsm 16/07/2021.....	46
Figura 25. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 20/08/2021.	47
Figura 26. Concentraciones de chl 26/10/2021.....	47
Figura 27. Concentraciones de tsm 15/11/2021.....	47
Figura 28. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 18/12/2021.	48

Índice de tablas

Tabla 1. Productos generados por el algoritmo C2RCC, definición de cada producto y unidades.....	17
Tabla 2. Imágenes recopiladas y fechas de obtención.	22
Tabla 3. Datos generados sin y con datos de campo para ambas boyas	23
Tabla 4. Fecha y código de las imágenes seleccionadas.	40
Tabla 5. Datos de clorofila-a (mg m ⁻³) medidos en campo y aportados por el algoritmo corregido.....	41
Tabla 6. Máximos mínimos y promedios de concentración de solidos en suspensión (tsm), concentración de clorofila-a (chl).	42
Tabla 7. Promedios de solidos suspendidos (tsm), clorofila-a (chl) y transparencia (kd_zmax90) para el embalse de As Conchas.....	43
Tabla 8. Información de la estación meteorológica de Entrimo, Ourense	43
Tabla 9. Volúmenes promedio mensuales del embalse de As Conchas	44
Tabla 10. Promedios de transparencia (kd_z90max), concentración de solidos en suspensión (conc_tsm) y concentración de clorofila-a (conc_chl) para ambas boyas.....	44

Tabla de abreviaturas

C2RCC: Case 2 Regional Coast Colour.

C2RX: Case-2 Extreme Cases.

CDOM: Materia orgánica disuelta coloreada.

CHL: Clorofila-a.

ESA: Agencia Espacial Europea.

IOP: Inherent Optical Properties (Propiedades Ópticas Inherentes).

MERIS: Medium Resolution Imaging Spectrometer.

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

MSI: Multispectral Instrument (Instrumento multispectral).

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio.

OLI: Operational Land Imager (generador de imágenes terrestres operacionales).

PSU: Unidades prácticas de salinidad.

SNAP: Plataforma de Aplicación Sentinel.

TSM: Total Suspended Matter (Materia Total Suspendida).

Resumen.

El incremento en la demanda de los recursos hídricos hace que la vigilancia de estos sea fundamental. Frente a los análisis *in situ*, la teledetección permite realizar mediciones de forma remota, facilitando las labores de control y seguimiento. Esto ha incrementado su uso, sin embargo, es necesario establecer correcciones debido a que las mediciones no siempre se ajustan a los valores reales.

Con el fin de establecer el grado de ajuste de las mediciones y analizar el estado del embalse de As Conchas, Galicia, se recopilaron 39 imágenes a lo largo del 2021 que se complementaron con datos de campo aportados por dos boyas del proyecto cianoMOD. Las imágenes fueron obtenidas del satélite *Sentinel-2*, perteneciente a *Copernicus*. Para determinar el estado del embalse se empleó el algoritmo C2RCC, sin y con correcciones aportadas por la información de campo, para obtener datos de clorofila-a, sólidos suspendidos totales y transparencia.

Los resultados indican una alta correlación cuando se comparan datos del algoritmo con y sin corrección, siendo el valor de la transparencia el que mejor ajuste presenta. Sin embargo, el modelo no se ajusta al comparar los datos corregidos del algoritmo para clorofila-a, con los obtenidos por las boyas. Comparando los valores de cada boya, la boya_playa presenta, en todos los casos, mejores ajustes que la boya_presa.

Las imágenes también indican fuertes variabilidades en las concentraciones de clorofila y sólidos suspendidos, presentando concentraciones más elevadas en el segundo semestre del año y distribuciones desiguales a lo largo del embalse. La transparencia aumenta en los meses de menor concentración de clorofila y sólidos suspendidos.

Si bien las imágenes permiten hacer una valoración de cómo evoluciona el embalse, el modelo requiere de mejores ajustes para proporcionar datos más cercanos a la realidad.

1. Introducción.

El uso de los recursos hídricos ha sido fundamental para el desarrollo de la civilización humana. La mejora en las técnicas y el uso de nuevas tecnologías ha permitido realizar una mejor gestión de este escaso recurso con el paso de los años. En los últimos tiempos la importancia de estos recursos se ha incrementado, debido al crecimiento de la población y al uso de estos en multitud de campos como la industria, la ganadería, la agricultura, la generación de electricidad, etc. (ONU, 2003). Este aumento de la demanda supone un mayor riesgo para las masas de agua debido a que, tienen una mayor probabilidad de verse afectada por las diferentes presiones a las que son sometidas, por tanto, se hace necesario realizar controles de calidad sobre los cuerpos de agua para determinar si se están ocasionado alteraciones en sus propiedades. La forma habitual de proceder consiste en realizar mediciones directas, medición y transporte de muestras para ser analizadas en laboratorio o a través de la construcción de infraestructuras de medición. Todos estos métodos son muy útiles, pero no siempre son viables debido a los costos de desplazar personal, equipos e insumos hasta los puntos de medición, la accesibilidad de las zonas a estudiar, etc. A pesar de lo laborioso que resulta, es un método muy útil ya que ofrece datos muy precisos, sin embargo, esta metodología no permite identificar con suficiente rapidez las variaciones de la calidad del agua, lo cual dificulta el poder realizar un seguimiento de forma continua (Gholizadeh et al., 2016).

Una metodología complementaria puede ser el empleo de técnicas de teledetección para determinar el estado de la calidad de agua de las diferentes masas de agua. La teledetección consiste en la observación a distancia de los objetos, sin estar en contacto directo con ellos (Di Bella et al., 2008). La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana [Mitma], s.f.). La utilización de sensores aéreos y satelitales se viene empelando desde 1970 permitiendo examinar multitud parámetros para estimar la calidad del agua (Topp et al., 2020). Estas facilidades para obtener información de forma remota, unidas a la accesibilidad de los datos recopilados, gracias a programas

como *Landsat* (operado de forma conjunta entre la NASA y el servicio geológico de Estados Unidos) o *Copernicus*, de la Agencia Espacial Europea, han permitido que la aplicación de estas herramientas lleguen a un sector más amplio de la población permitiendo que su uso se extienda en ámbitos tan diversos como la ordenación del territorio, la agricultura o la cartografía.

El programa *Copernicus* se centra en la observación terrestre a través de la información recopilada tanto con mediciones *in situ* como a través de los datos aportado por el grupo de 6 satélites *Sentinel*. Cada uno de ellos tiene una función específica con el objetivo de proporcionar información detallada para los seis ejes principales del programa *Copernicus*: Vigilancia atmosférica, vigilancia medioambiental marina, vigilancia terrestre, cambio climático, gestión de emergencias y seguridad (Union Europea, 2015).

El seguimiento y control de la calidad de las aguas continentales queda englobado dentro de estos ejes. Satélites como los *Sentinel-2* se utilizan para llevar a cabo estas tareas. La generación de información de forma prácticamente continua cobra aún más importancia, si el seguimiento se realiza sobre masa de agua que son susceptibles de ser utilizadas para abastecimiento como pueden ser lagos o embalses. En España cerca de un 50% del agua embalsada de la que se dispone de información, presenta episodios de eutrofización (Ministerio de Medio Ambiente, 2006) por lo que la detección de posibles focos de contaminación, natural o antrópica es fundamental para garantizar la seguridad de las actividades en las que se vaya a emplear este recurso. Aunque este proceso se origina de forma natural, pasando una masa de agua de estado oligotrófico a eutrófico (Bayly & Williams, 1973), las actividades humanas contribuyen a incrementar la velocidad del proceso. Una de las formas de detectar estos episodios es mediante la medición de los productores primarios, debido a que el aumento de los nutrientes contribuye a un crecimiento de estos. Los sensores instalados en los satélites permiten registrar la interacción de estos microorganismos (algas y bacterias) con la radiación solar que incide en el agua, haciendo que esta se vea modificada (Ruiz-Verdú et al., 2003). Habitualmente los parámetros que se registran mediante teledetección son (Serrano et al., 1997):

- Clorofila-a: Los organismos con capacidad para realizar la fotosíntesis contienen clorofila-a (Gholizadeh et al., 2016), por eso se utiliza como un indicador ya que permite detectar la presencia de productores primarios debido a que las algas y las cianobacterias la producen durante la fotosíntesis (OMS, 2011).
Sólidos en suspensión: La presencia de partículas ocasiona la pérdida de claridad del agua (OMS, 2011). El control de este parámetro es importante ya que al afectar a la cantidad de luz que es capaz de entrar en el agua, influye directamente en el crecimiento de productores primarios (Gholizadeh et al., 2016).
- Temperatura de la superficie del agua: La temperatura a la que se encuentra la masa de agua es fundamental para los procesos físicos y bioquímicos. Unos valores elevados de temperatura disminuyen la solubilidad del oxígeno reduciendo su disponibilidad y afectando a la vida acuática. También se emplea para analizar los cambios estacionales, así como para analizar la interacción de contaminantes en la columna de agua (Gholizadeh et al., 2016).
- Transparencia medida con el disco de Secchi: Debido a su simplicidad, este método se utiliza actualmente para medir la transparencia del agua. La clorofila-a, la materia orgánica disuelta coloreada y la materia total suspendida son los principales componentes ópticos que influyen en la medida de la profundidad de la claridad (Alikas & Kratzer, 2017). La profundidad del disco de Secchi disminuye a medida que la concentración de sólidos totales suspendidos aumenta (Gholizadeh et al., 2016).

Una vez que se obtienen los datos, es necesario comprobar que los resultados generados se ajustan a la realidad. Para ello se suelen realizar medias en campo que luego se comparan con las obtenidas por satélite con el fin de determinar el grado de correlación entre los datos. En función del instrumento utilizado para adquirir los datos, se obtiene una ecuación que sirve específicamente para ese caso. Esto hace que para cada masa de agua deban realizarse ajustes e incluso dentro de un mismo punto de estudio, en función de la época del año pueden existir suficientes variaciones que requieran de nuevos ajustes.

El objetivo de este trabajo consiste en determinar si los resultados de calidad de agua obtenidos del embalse de As Conchas (Galicia) mediante teledetección, difieren sustancialmente de los obtenidos *in situ* por las boyas instaladas. Para ello se utilizarán imágenes proporcionadas por la misión *Sentinel-2* y se aplicará el algoritmo C2RCC. Las imágenes y datos recopilados también servirán para analizar la evolución de la masa de agua a lo largo del año y determinar cómo se relacionan los diferentes parámetros registrados mediante teledetección (clorofila-a, sólidos en suspensión y transparencia del agua).

2. Zona de Estudio.

El punto seleccionado es el Embalse Las Conchas o As Conchas, se localiza entre los municipios de Lobeira, Bande y Muíños, Comarca de Baixa Limia, en la Provincia de Ourense y pertenece a la cuenca hidrográfica Miño-Sil. La población en esta comarca es de menos de 10.000 personas según la información obtenida del Instituto Galego de Estadística para el año 2021. Alrededor de la masa de agua se localizan pequeñas poblaciones, entre las que destacan O Outeiro, Mugeimes, O Rañadoiro, Os Baños, Fradalvite Santa Comba y Muíños. En las proximidades de este embalse se localizan otros dos (Lindoso y Salas) cuyos usos se destinan a producción eléctrica (Figura 1).

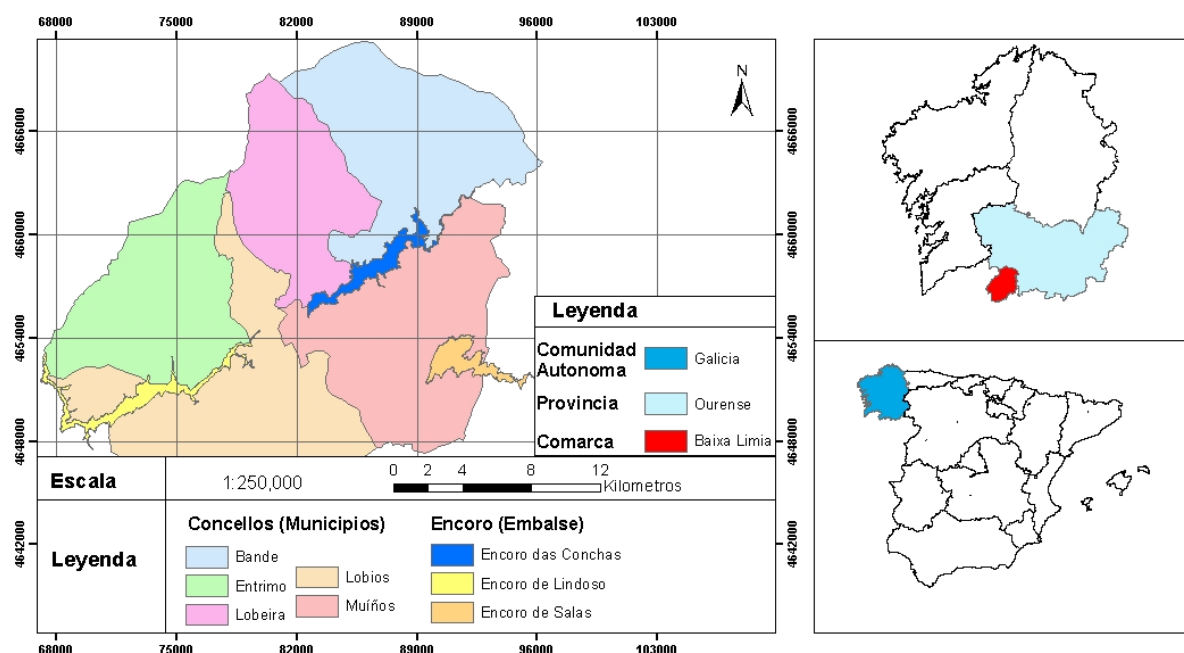


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Capas obtenidas de Sergas.

El embalse de As conchas se construyó en 1949 y es una presa de gravedad (SEPREM, s.f.). Con una capacidad de 78 Hm³ y una superficie del embalse de 645 ha, el embalse de As Conchas utiliza las aguas del río Limia para la producción hidroeléctrica (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación/Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022). Aunque la economía de la zona se basa principalmente en actividades tradicionales, existen nuevas oportunidades, a través de la preservación de espacios naturales como en el caso de la ampliación del

Parque Nacional portugués de Peneda-Xeres hacia el lado gallego (Xunta de Galicia, s.f.). Otro ejemplo de esa diversificación es que, en la actualidad, las aguas de este embalse también se utilizan con fines recreativos como la navegación el baño o la pesca (Embalses.net, 2022).

Sin embargo, en esta zona son habituales las incidencias debido al crecimiento algas y de cianobacterias lo que ha obligado a prohibir el uso de estas aguas con fines recreativos. Esto es debido a que, aparte del olor o la coloración que puede adquirir el agua, algunas especies de cianobacterias pueden afectar a la salud ya que producen toxinas (OMS, 2011). Desde el 2012 se presentan problemas recurrentes haciendo necesario llevar acciones con el fin prevenir su crecimiento (Anexo I).

La Confederación Hidrográfica del Miño-Sil en el año 2013 desarrolla el “Proyecto mejora de la calidad de las aguas y recuperación ambiental del entorno del embalse de As Conchas TT.MM. Bande y Muiños”. Entre las acciones llevadas a cabo destacan la colocación de islas vegetales flotantes o la aplicación de sistemas de ultrasonidos (Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, 2013), no obstante, estas incidencias han continuado en la zona, a pesar de las acciones correctivas, pudiendo encontrar ejemplos de la persistencia de este problema el año pasado según diversos medios como La Voz de Galicia, El Español o La Región (Anexo I).

3. Metodología.

Una vez definida la zona de estudio se procede a obtener y procesar las imágenes necesarias por poder analizar las variaciones en la masa de agua a lo largo del tiempo seleccionado.

3.1 Instrumentos.

La misión *Sentinel-2* consta de dos satélites, Sentinel-2A y Sentinel-2B, que fueron lanzados en 2015 y 2017 respectivamente. Ambos satélites tienen una órbita heliosíncrona con una altitud media de 780 km y una resolución temporal de 10 días cada uno, si se combinan puede reducirse hasta los 5 días (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [Mitma], 2018). Los satélites disponen del sensor MSI que está conformado por 13 bandas desde el espectro visible e infrarrojo cercano (VNIR) al infrarrojo de onda corta (SWIR) con resoluciones espaciales diferentes (ESA, 2015):

- Resolución a 10 metros: Bandas 2, 3, 4 y 8.
- Resolución a 20 metros: Bandas 5, 6, 7, 8a, 11 y 12.
- Resolución a 60 metros: Bandas 1, 9 y 10.

Las imágenes obtenidas tienen diferentes niveles de procesamiento según las necesidades específicas. Los niveles de procesamiento disponibles para el usuario son (ESA, s.f.)

- Nivel 1C: ofrece imágenes con valores de reflectancia aparente en el techo de la atmosfera.
- Nivel 2A: ofrece imágenes con correcciones atmosféricas que genera imágenes con niveles digitales expresados en valores de reflectancia reales a nivel de superficie.

3.2 Algoritmo C2RCC.

Para realizar el análisis de las imágenes obtenidas se empleará esta herramienta que proporciona SNAP. El algoritmo C2RCC procesa datos a partir de diferentes instrumentos satelitales (OLI, MERIS, MODIS, SeaWiFS, MSI y OLCI) (Brockmann et al., 2016) lo que le permite disponer de una gran base de datos sobre reflectancias de

salida de agua simuladas y radiancias relacionadas en la parte superior de la atmósfera (Brockmann et al., 2016). Para procesar la información se emplean redes neuronales entrenadas para realizar la inversión del espectro para la corrección atmosférica (NASA, s.f.). Es necesario llevar a cabo estas correcciones cuando se realizan estudios de calidad de agua mediante teledetección, debido a la baja reflectividad del agua (Brockmann et al., 2016). Al aplicar estos procesos se obtienen productos en SNAP entre los que se encuentran los coeficientes de absorción para diferentes constituyentes, las reflectividades para cada banda e incluso las incertidumbres (Radin, 2020). En este caso de estudio se trabaja en aguas pertenecientes a un embalse y aunque este algoritmo se utiliza para aguas con poca turbidez como las marinas, el C2RCC ha sido adaptado a Sentinel-2 (Radin, 2020).

A parte de ser aplicable en múltiples sensores satelitales, el algoritmo permite ajustar parámetros auxiliares. El usuario puede adaptar las propiedades ópticas inherentes específicas y los parámetros del cuerpo de agua local (Kyryliuk & Kratzer, 2019). Para los constituyentes de las propiedades ópticas inherentes (IOP) del cuerpo de agua, el modelo emplea cinco componentes (a_{pig} , a_{det} , a_{gelb} , b_{p} y b_{w}) para la dispersión y absorción, debido a la amplia que cantidad de IOPs en las aguas naturales. (Brockmann et al., 2016):

- Absorción de pigmentos del fitoplancton: se utiliza el componente a_{pig} .
- Absorción de materia orgánica: se emplean los componentes para el detritus, a_{det} , y para la materia amarilla o gelbstoff, a_{gelb} .
- Dispersión de partículas: utiliza un componente que representa a los sedimentos calcáreos, dispersor blanco (b_{whit}) y dispersor típico de sedimentos (b_{tsm}).

Todos los componentes se definen con una longitud de onda de 443 nm y para convertirlos a concentraciones de productos en el agua, se utilizan factores de conversión que dan como resultados productos como Chl-a (clorofila) o TSM (materia total suspendida). Entre las 29 variables de procesamiento que el algoritmo ofrece (Figura 2), destacaremos algunas de las utilizadas en este estudio (NASA, s.f.):

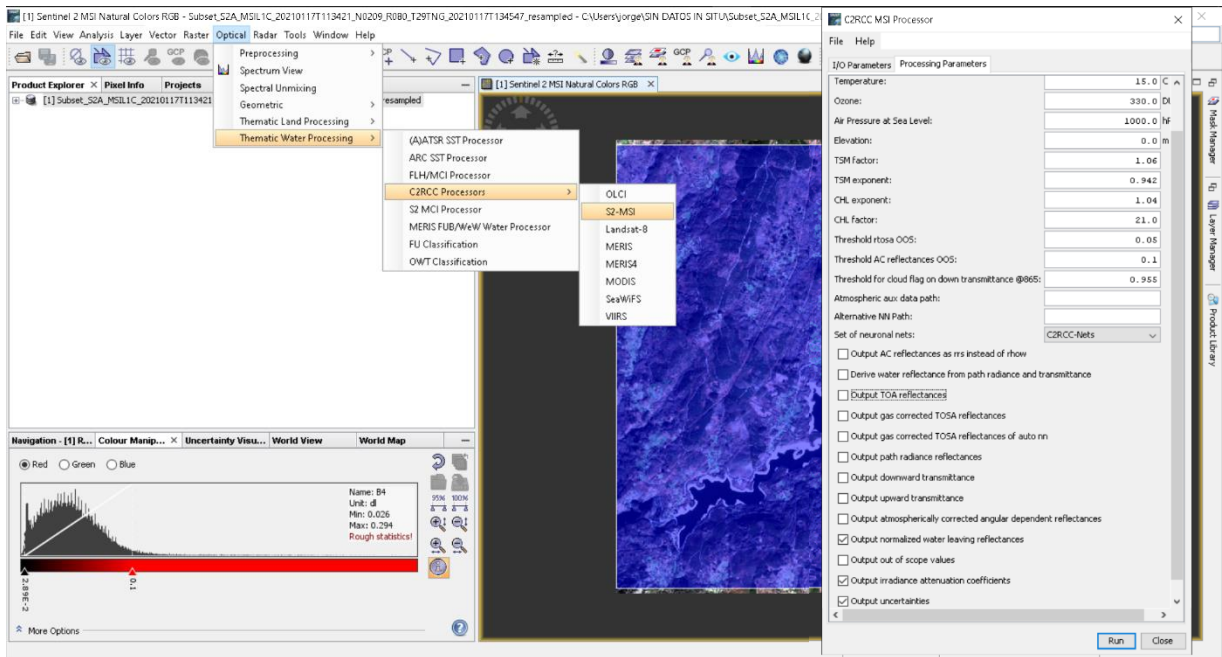


Figura 2. Captura del proceso de selección del algoritmo C2RCC y los parámetros de entrada que contiene.

- Expresión de píxel válido: Esta expresión aritmética define los pixeles que son válidos para el procesamiento.
- Salinidad: se mide en PSU que equivale a gramos por litro de sal y corresponde al valor de salinidad del agua.
- Temperatura: se mide en grados Celsius (°C) e indica el valor de la temperatura del agua.
- Elevación: se mide en metros e indica la altura a la que se encuentra la zona seleccionada.
- Factor TSM bpart: es la conversión del factor bpart mediante la siguiente expresión: $TSM = bpart * TSMfakBpart + bwit * TSMfakBwit$.
- Factor TSM bwit: es la conversión del factor bwit mediante la siguiente expresión: $TSM = bpart * TSMfakBpart + bwit * TSMfakBwit$.
- Exponente CHL: es el exponente de clorofila y se calcula a partir de la siguiente expresión: $CHL = iop-apig^{CHLexp} * CHLfak$.
- Factor CHL: factor de clorofila obtenido a partir de la expresión: $CHL = iop-apig^{CHLexp} * CHLfak$.

Aunque el algoritmo ofrece múltiples resultados (Tabla 1), para este caso emplearemos los productos generados para la clorofila (conc_chl), sólidos en suspensión (conc_tsm) y transparencia del agua (kd_z90max).

Tabla 1. Productos generados por el algoritmo C2RCC, definición de cada producto y unidades (Kyrilyuk & Kratzer, 2019).

Output L2 Products Generated by C2RCC		
Product Name	Description	Unit
Rtoa 400–1020 nm	Top-of-atmosphere reflectance	
Rrs 400–1020 nm	Atmospherically corrected angular dependent remote sensing reflectances	sr ⁻¹
Rhow 400–1020 nm	Atmospherically corrected angular dependent water-leaving reflectances, Rhow = Rrs × π	
	Diffuse attenuation coefficient	
kd489	Irradiance attenuation coefficient at 489 nm	m ⁻¹
kadmin	Mean irradiance attenuation coefficient at the three bands with minimum kd	m ⁻¹
kd_z90max	Depth of the water column from which 90% of the water-leaving irradiance comes from (1/kadmin)	m
	Inherent optical properties	
iop_apig	Absorption coefficient of phytoplankton pigments at 443 nm	m ⁻¹
iop_adet	Absorption coefficient of detritus at 443 nm	m ⁻¹
iop_agelb	Absorption coefficient of Gelbstoff at 443 nm	m ⁻¹
iop_bpart	Scattering coefficient of marine particles at 443 nm	m ⁻¹
iop_bwit	Scattering coefficient of white particles at 443 nm	m ⁻¹
iop_adg	Detritus + gelbstoff absorption at 443 nm (iop_adet + iop_agelb)	m ⁻¹
iop_atot	phytoplankton + detritus + gelbstoff absorption at 443 nm (iop_apig + iop_adet + iop_agelb)	m ⁻¹
iop_btot	total particle scattering at 443 nm (iop_bpart + iop_bwit)	m ⁻¹
	Concentrations (conc)	
conc_tsm	Total suspended matter dry weight concentration (iop_bpart × 0.986 + iop_bwit × 1.72)	gm ⁻³
conc_chl	Chlorophyll concentration (pow (iop_apig, 1.04) × 21.0)	µgL ⁻¹
	User-defined	
SD	Secchi depth = 2.39 × (kd489 ^{-0.86}) [24]	m
Turb1	Turbidity = 0.99 × iop_bpart + 0.24	FNU
Turb2	Turbidity = exp ((0.82 × ln (iop_bpart) + 0.14)	FNU

3.3 Obtención de las imágenes.

La recopilación de las imágenes necesarias para realizar el estudio se obtiene a través de la página web Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). En este portal se pueden elegir tanto la misiones *Sentinel*, se dispone de las *Sentinel* 1, 2 y 3, como el tipo de producto, el número relativo de órbita o la cobertura nubosa. Para el estudio que se va a llevar a cabo se utilizarán las siguientes especificaciones:

- Fecha: 01/01/2021-31/12/2021.
- Misión: Sentinel-2.
- Tratamiento de la imagen: Level 1C.
- cobertura de nubes: ≤50% de la imagen.

Las imágenes que presenten elevada nubosidad sobre la zona de estudio deben descartarse, ya que no serán útiles para analizar las características de la masa de agua. Una vez disponemos de las imágenes, se descargan y se registran sus metadatos para tener un registro de las características de cada archivo. Los documentos descargados lo hacen en formato de archivo comprimido (.zip).

3.4 Tratamiento de las imágenes.

A través de la herramienta SNAP se procesarán las imágenes seleccionadas previamente siguiendo los siguientes pasos:

a) Delimitación de la zona

En la imagen seleccionada se utilizan las opciones para visualizar en color natural y en infrarrojo para verificar en detalle que la zona se encuentra despejada. Una vez disponemos de ambas imágenes se utilizamos la opción *Graph Builder* para delimitar la zona de trabajo agregando las siguientes especificaciones (Figura 3):

- Resample: en esta ventana se define el tamaño de resamplio del producto. Se trabajará con la banda 2 que ofrece una resolución de 10 m por píxel.
- Subset: se utiliza para delimitar la zona de interés. Se especificarán las coordenadas geográficas para obtener mayor precisión. Para ello se creará un polígono sobre la zona de estudio que indicara las coordenadas del área en la que se va a trabajar.

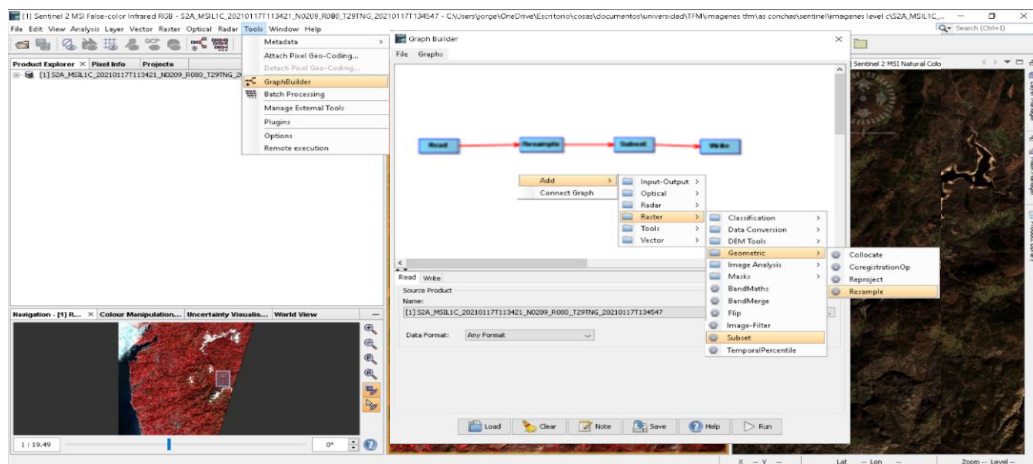


Figura 3. Captura del proceso de selección de Resample y Subset.

b) Aplicación del algoritmo C2RCC

La imagen generada solo mostrara el área de interés previamente delimitada. Para determinar las concentraciones de clorofila, solidos disueltos y transparencia, se utiliza el algoritmo C2RCC. Esta opción ofrece una pestaña en los que aparecen recogidos parámetros establecidos por defecto por el algoritmo como la salinidad, temperatura, elevación o presión del aire entre otros. En nuestro caso realizaremos un primer análisis con los datos ofrecidos por defecto por el programa para salinidad y temperatura y posteriormente con las correcciones obtenidas a partir de los datos de campo. Únicamente el valor de la elevación si se modificara y para ambos procesos se utilizará la elevación real del embalse (550 m).

c) Localización de las boyas.

En la zona de estudio se dispone también de información recogida por dos boyas colocadas en diferentes puntos del embalse del proyecto CianoMOD de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el proyecto CIANOALERT que es financiado por el Ministerio de Economía, industria y Competitividad y cofinanciado por la Unión Europea FEDER (Figura 4). Para poder ubicar las boyas en las imágenes de SNAP, primero se creó una capa utilizando Arcgis a partir de las coordenadas facilitadas. Inicialmente se utilizó el sistema de coordenadas geográficas ETRS 1989 UTM Zone 30N, pero al superponerla con la imagen obtenida con SNAP los puntos no coincidían. Las imágenes de nivel 1-C utilizan el sistema de coordenadas WGS 1984, por lo que se procedió a modificarlo para hacer coincidir ambas capas. Una vez comprobado que los puntos estaban en su localización correcta, se agregó la capa con la ubicación de las boyas en SNAP.

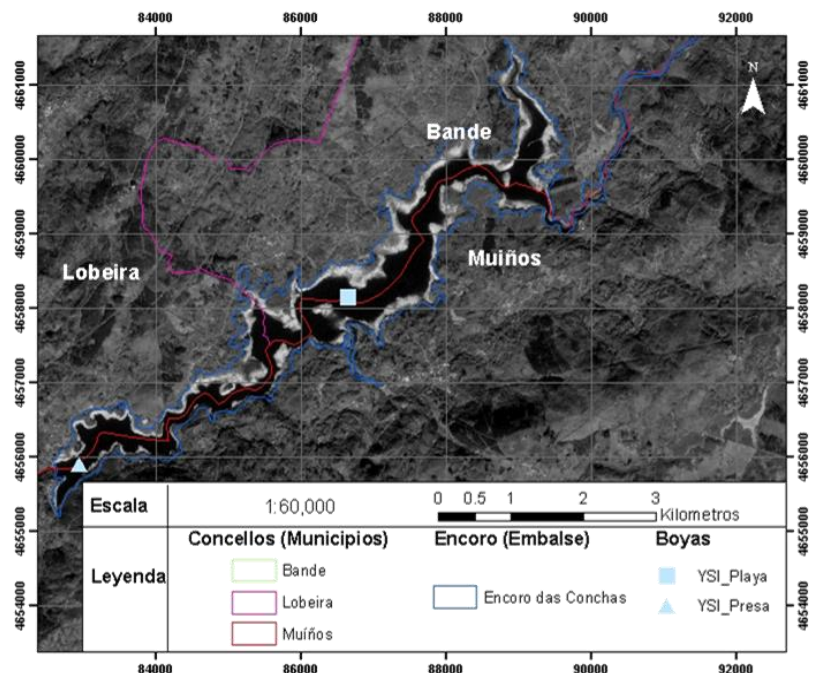


Figura 4. Localización de las boyas dentro del embalse. Boya_playa: 41°58'00,7"N; 7°59'15,8"W. Boya_presa: 41°56'41,3"N; 8°01'50,7"W.

d) Extracción de información de las boyas.

Una vez cargada la ubicación de ambas boyas se selecciona sobre el píxel en el que se encuentran y se extraen los valores de clorofila, sólidos disueltos totales y transparencia del agua.

La información de los valores de clorofila, sólidos disueltos totales y transparencia del agua generados para cada imagen, se anotan para después compararlo al introducir los datos de las mediciones realizadas in situ por las boyas.

Para procesar las imágenes con los datos *in situ* se sigue el mismo procedimiento anterior. En primer lugar, delimitaremos la zona de estudio para posteriormente aplicar el algoritmo C2RCC utilizando los datos proporcionados por las boyas de salinidad y temperatura. Una vez obtenidas las imágenes se procede a repetir el proceso de extracción de la información de las boyas.

3.5 Análisis de las medidas *in situ*.

Los datos proporcionados por las boyas indican valores de: pH, temperatura, conductividad y clorofila. Los parámetros necesarios para aplicarlos en el algoritmo son la temperatura y la salinidad.

a) Cálculo de la salinidad

Si bien los datos de temperatura están en grados centígrados y pueden aplicarse directamente en el algoritmo para la salinidad debe calcularse a través de la conductividad, debido a que es la información facilitada. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica (APHA, AWWA, & WPCF, 1992). La presencia de sales disueltas en el agua se puede deber a las características del terreno por el que circula el curso de agua o a la presencia de aguas residuales (Pascual Anderson, 1982). Para realizar la conversión el valor de conductividad debe estar en mS/cm. El valor se multiplica por un factor correspondiente entre 0,6 y 0,7 y esto nos da el valor de la salinidad en mg/l (Experimentos científicos, 2017). En un primer análisis se realizaron los cálculos considerando que las unidades estaban en S/cm, ya que no se indicaba la unidad. Sin embargo, los valores obtenidos eran demasiado elevados teniendo en cuenta que la zona corresponde a un embalse y, por tanto, aunque el agua tiene cierta concentración de sales, estas no son tan elevadas a las que encontraríamos en el agua de mar.

3.6 Elaboración del mapa de ubicación

A través del portal del Servizo Galego de Saúde, dependiente de la Xunta de Galicia, se accedió al aparato de GIS: Cartografía de Galicia en formato vectorial shp para sistemas de información geográfica. De ese portal se utilizaron las capas de: encoros (embalses), Concellos, Comarcas y Provincias.

4. Resultados.

Se recopilaron un total de 39 escenas entre el 01/01/2021 al 31/12/2021 (Tabla 2), de las cuales únicamente 8, las resaltadas en negrita, disponían de datos proporcionados por las dos boyas instaladas en el embalse.

Tabla 2. Imágenes recopiladas y fechas de obtención.

Imagen	Fecha	Imagen	Fecha
1	2021-01-12T11:33:39.024Z	20	2021-08-10T11:33:19.024Z
2	2021-01-17T11:34:21.024Z	21	2021-08-15T11:33:21.024Z
3	2021-02-28T11:21:09.024Z	22	2021-08-17T11:21:19.025Z
4	2021-03-15T11:21:11.024Z	23	2021-08-20T11:33:19.024Z
5	2021-03-20T11:21:09.024Z	24	2021-08-22T11:21:21.024Z
6	2021-03-23T11:33:19.024Z	25	2021-09-19T11:33:19.024Z
7	2021-03-28T11:33:21.024Z	26	2021-09-21T11:21:21.024Z
8	2021-04-04T11:21:11.024Z	27	2021-10-06T11:21:19.024Z
9	2021-04-17T11:33:11.024Z	28	2021-10-19T11:33:19.024Z
10	2021-05-04T11:21:11.025Z	29	2021-10-26T11:21:19.025Z
11	2021-05-19T11:21:19.024Z	30	2021-11-05T11:21:49.024Z
12	2021-05-29T11:21:19.024Z	31	2021-11-10T11:23:11.024Z
13	2021-06-06T11:33:21.024Z	32	2021-11-13T11:33:31.024Z
14	2021-06-08T11:21:19.024Z	33	2021-11-15T11:22:39.024Z
15	2021-06-11T11:33:19.024Z	34	2021-11-20T11:23:51.024Z
16	2021-06-23T11:21:21.024Z	35	2021-11-30T11:24:31.024Z
17	2021-07-08T11:21:19.024Z	36	2021-12-13T11:35:01.024Z
18	2021-07-11T11:33:19.024Z	37	2021-12-15T11:23:59.024Z
19	2021-07-16T11:33:21.024Z	38	2021-12-18T11:33:59.024Z
		39	2021-12-30T11:25:01.024Z

A partir de los datos obtenidos se realizó una comparación entre los valores aportados por el algoritmo C2RCC sin correcciones y con las correcciones aportadas por los datos de campo. Posteriormente se compararon los valores del algoritmo con correcciones y los datos obtenidos por las boyas. Adicionalmente se realizará un análisis en las variaciones de la calidad del agua tanto del embalse como de las zonas en las que se encontraban las boyas, a partir de la información proporcionada por las imágenes. Las tablas con los valores obtenidos se encuentran en el anexo II y III.

5. Discusión.

5.1 Correlación entre los datos obtenidos por el algoritmo C2RCC con información de campo y sin información de campo.

A partir de las imágenes con información de las boyas se hizo un primer análisis con la utilización del algoritmo C2RCC para obtener datos de clorofila, sólidos en suspensión y transparencia. Se hizo un primer registro utilizando los valores que establece por defecto el programa: temperatura 15 °C y salinidad 35 PSU. Solo se hizo el ajuste de la elevación que por defecto está a 0 m y en el embalse de As Conchas la elevación es de 550 m. Una vez se obtuvieron datos de campo proporcionados por las boyas se realizaron los ajustes en los parámetros que proporciona el algoritmo C2RCC. Junto a los datos ya conocidos de elevación del embalse, se añadieron los valores de salinidad y temperatura, realizando un promedio debido a que son dos puntos, para cada una de las ocho imágenes disponibles obteniendo los siguientes valores para materia total en suspensión (tsm), clorofila a (chl) y transparencia (kd_z90max) (Tabla 3):

Tabla 3. Datos generados con el algoritmo sin y con correcciones para ambas boyas. Conc_tsm (gm^{-3}), conc-chl (mg m^{-3}) y Kd_z90max (m).

Boya	C2RCC	Parámetros	imágenes							
			1	2	3	5	7	8	9	10
Playa	sin corrección	conc_tsm	2.07	2.46	8.80	4.64	0.64	0.12	0.30	0.13
		conc_chl	18.40	11.18	6.49	7.79	24.33	1.02	4.08	0.22
		kd_z90max	1.09	0.84	0.77	0.83	1.43	7.56	4.37	25.80
	con corrección	conc_tsm	1.68	2.02	8.10	4.55	0.58	0.16	0.27	0.14
		conc_chl	17.96	9.80	3.99	5.61	25.31	1.25	4.66	0.19
		kd_z90max	1.16	0.92	0.82	0.86	1.49	7.86	4.55	27.55
Presa	sin corrección	conc_tsm	5.13	1.17	4.77	1.11	0.56	0.04	0.34	0.13
		conc_chl	13.09	14.85	3.25	7.54	7.41	0.24	3.74	0.19
		kd_z90max	0.85	0.96	1.09	2.93	2.31	22.02	3.62	26.18
	con corrección	conc_tsm	4.76	1.02	3.96	1.20	0.51	0.07	0.34	0.14
		conc_chl	8.97	15.07	2.43	7.95	7.88	0.25	4.58	0.16
		kd_z90max	0.92	1.00	1.12	2.77	2.46	24.80	3.70	28.03

Conociendo los valores con y sin información de campo se realizó una primera correlación para cada una de las variables en cada boya (Figura 5) mediante una regresión lineal. Para ello se empleará el método de correlación lineal de Perason. Este método se utiliza para variables cuantitativas y mide el grado de variación de diferentes variables relacionadas linealmente (Camacho, 2015). Mediante un diagrama de dispersión se graficará la relación entre ambas variables cuantitativas. (Fallas, 2012).

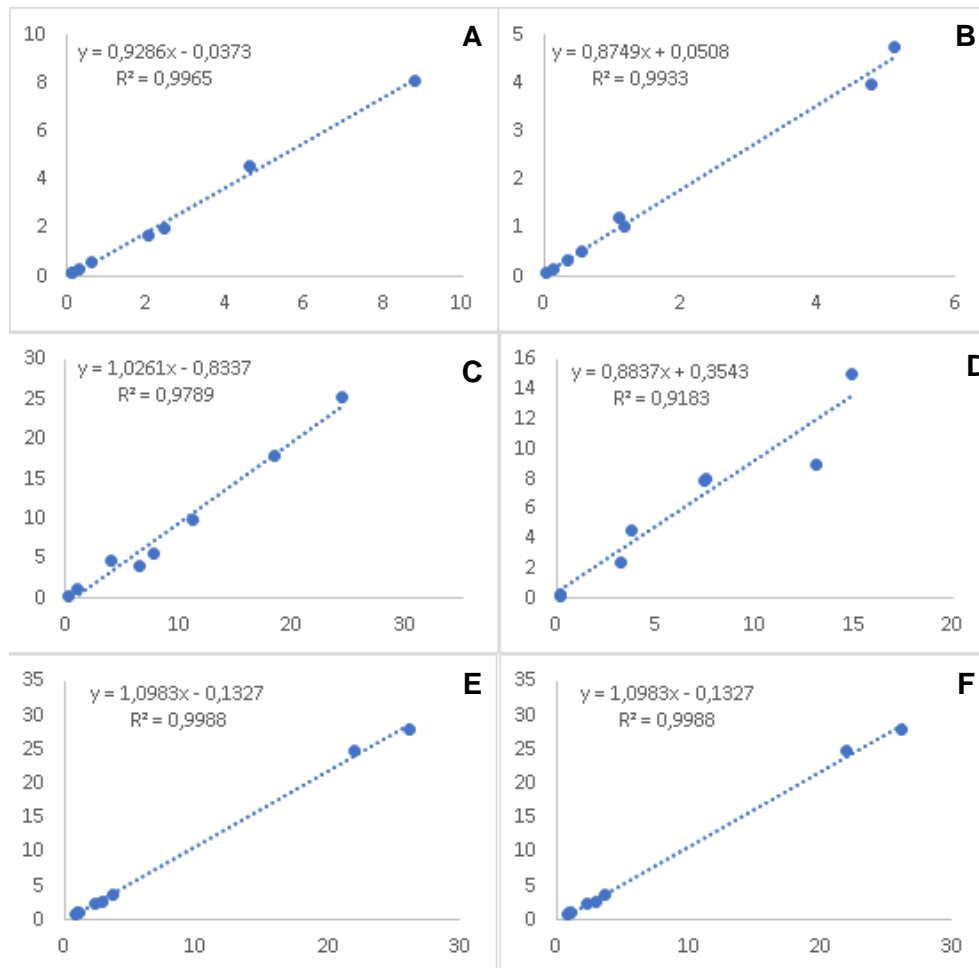


Figura 5. Correlación de solidos suspendidos (tsm), clorofila (chl) y transparencia para ambas boyas. A: boya_playa Eje x: valor esperado de tsm. Eje y: valor observado tsm. B: boya_presa. Eje x: valor esperado de tsm. Eje y: valor observado tsm. C: boya_playa. Eje x: valor esperado de chl. Eje y: valor observado chl. D: boya_presa. Eje x: valor esperado de chl. Eje y: valor observado chl. E: boya_playa. Eje x: valor esperado de transparencia. Eje y: valor observado transparencia. F: boya_presa. Eje x: valor esperado de transparencia. Eje y: valor observado transparencia.

La figura muestra, que las correlaciones lineales realizadas entre los datos observados frente a los esperados son elevadas. Los valores de R^2 se encuentran cercanos a 1, indicando que cuanto más se aproximen los datos a la recta mayor correlación hay (Gorgas et al., 2009). Los valores aportados por el propio algoritmo se ajustarían de forma muy precisa a los obtenidos de forma directa por las boyas. Los datos aportados para la transparencia (Figura 5, E y F), son los que presentan los valores más cercanos a 1 indicando la buena aproximación entre los valores obtenidos por el programa y los aportados por las mediciones en campo. Los datos generados para la clorofila, figura 5: C y D, son los que menos aproximación presentan. Comparando cada boya, se aprecia que, en promedio, los datos proporcionados por la boya_playa presentan mejor ajuste que la boya_presa. En los sólidos en suspensión (Figura 5, A y B) que presentan un nivel de ajuste intermedio se aprecia que los datos de la boya_playa tienen mejor correlación entre ellos que los datos de la boya_presa. Esto puede deberse a la misma ubicación de los puntos de muestreo. Alrededor de la boya de playa hay más agua lo que unido a la resolución de las imágenes puede ayudar al sistema a ajustar mejor las medidas mientras que en el caso de la boya situada en la presa, la masa de agua circundante es mucho menor pudiendo afectar a la estimación realizada por el algoritmo.

5.2 Correlación entre los datos obtenidos en campo y los proporcionados por el algoritmo C2RCC con correcciones.

Debido a que la información proporcionada por las boyas solo ofrece datos de la clorofila (Anexo II), solo se hizo correlación entre los datos de clorofila aportados por las boyas y los aportados por el algoritmo C2RCC con las correcciones (Figura 6).

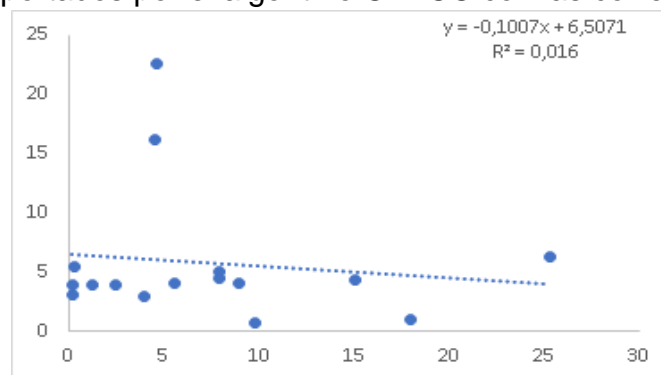


Figura 6. Correlación de los datos aportados por las boyas y el algoritmo C2RCC. Eje x: Algoritmo C2RCC. Eje y: Datos de las boyas.

La grafica indica, a diferencia de las comparaciones realizadas únicamente con el algoritmo, una escasa correlación entre los datos reales y los aportados por el algoritmo corregido. Mientras que en el caso anterior solo se comparaban datos generados por el propio programa a partir de la misma imagen, en este caso se suman las condiciones en las que las boyas realizaron sus mediciones. Debido a esto las posibles incidencias y diferencias a la hora de registrar el dato se magnifican. Al realizar la comparación únicamente entre los datos del algoritmo, las correcciones atmosféricas o la incidencia de la luz solar eran factores que afectaban por igual a ambos análisis. En este caso se suman factores propios del punto de medición de las boyas, variación del flujo de agua, alteraciones en el sensor o concentraciones repentinas de otras sustancias. Estas consideraciones unidas a la diferencia de la profundidad del muestreo pueden explicar la disparidad tan elevada entre los datos. Es importante resaltar que existen una serie de valores atípicos. Al eliminarlos la correlación aumenta pasando la R^2 de 0,016 a 0,175. Sin embargo, esta no se encuentra próxima a 1, por lo que sigue sin existir una buena correlación entre los datos del algoritmo corregido y los de campo. Realizando la misma comparación, pero diferenciando cada boya (Figura 7), se puede observar que los datos ofrecidos por la boya_playa ofrecen, dentro de la escasa correlación, una mejor aproximación que los aportados por la boya_presa, manteniendo la relación observada en el caso anterior (Figuras 5).

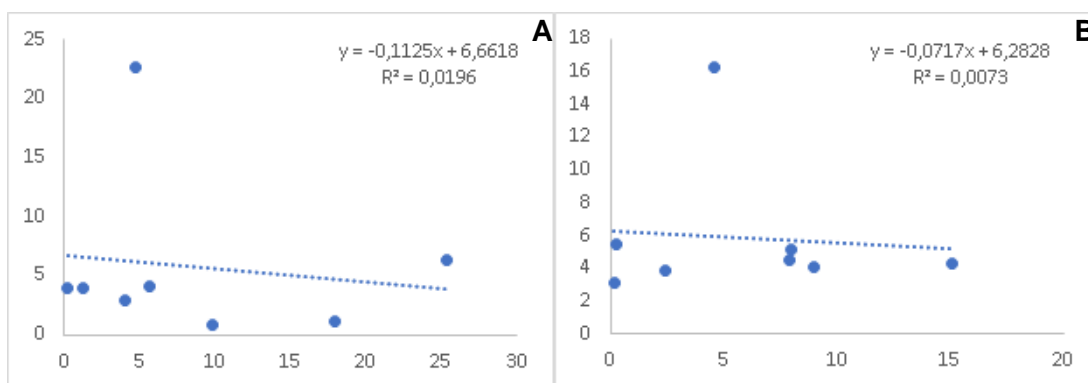


Figura 7. Correlación de los datos aportados por ambas boyas y el algoritmo C2RCC. A: Eje x: Algoritmo C2RCC. Eje y: Datos de la boya_playa. B: Eje x: Algoritmo C2RCC. Eje y: Datos de la boya_presa.

Una posible opción para obtener valores más ajustados, puede ser el uso de la corrección atmosférica C2RX. Esta, a diferencia del algoritmo C2RCC, podría aportar resultados más próximos a los aportados por las boyas, debido a que se emplea en aguas con niveles elevados de turbidez, sólidos y fitoplancton, como las continentales (Radín, 2020).

5.3 Variación en la calidad del agua del embalse As Conchas

Con los valores obtenidos por el algoritmo C2RCC sin correcciones, se anotaron los máximos y mínimos para las concentraciones de clorofila y sólidos en suspensión para cada una de las imágenes seleccionadas (Anexo III). Con esos valores se realizó un promedio para determinar el comportamiento general de las concentraciones de ambos parámetros en el embalse a lo largo del año (Figura 8).

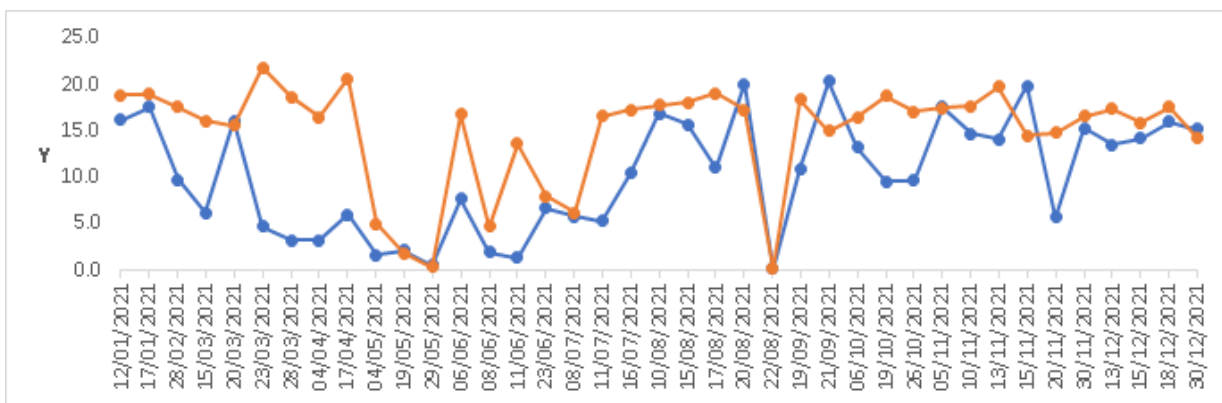


Figura 8: Evolución de las concentraciones de clorofila y sólidos en suspensión en el embalse de As Conchas durante el 2021. Eje Y: ■ Concentración de chl (mg m⁻³) y ■ Concentración de tsm (gm⁻³).

Se puede observar la variación en las concentraciones tanto de clorofila (chl) como de sólidos totales en suspensión (tsm) a lo largo del año. La clorofila presenta unos niveles más estables entre los meses de septiembre a diciembre, mientras que, de enero a mayo, aunque la tendencia es descendente, se observan variaciones muy acusadas de la concentración. Los registros de sólidos en suspensión refleja mayor variabilidad a lo largo del año. Las concentraciones promedio más altas de clorofila se dan en los meses de marzo y abril, mientras que los niveles más elevados registrados para los sólidos en suspensión se obtienen en agosto, septiembre y diciembre. A inicios de la serie de imágenes, la tendencia tanto de la clorofila como de la materia en suspensión es decreciente, con algunos picos aislados. A partir del mes de mayo ambos

parámetros incrementan sus concentraciones. Inicialmente lo que se esperaría ver son mayores concentraciones de clorofila en los meses más cálidos debió a que las condiciones ideales para el crecimiento de algas son entre los 23-28°C (García Lozano, 2016), ambientes poco turbulentos (en este caso un embalse es un entorno ideal), buena exposición solar (en verano las horas de luz se incrementan considerablemente) y aporte de nutrientes (OMS, 2011). Sin embargo, lo que indican los datos son repuntes puntuales de las concentraciones de clorofila y sólidos en suspensión, lo que podría ser indicativo de aportes de nutrientes derivados de las actividades aledañas al cuerpo de agua.

Con el objetivo de determinar mejor la evolución del embalse, se utilizaron los registros de la estación meteorológica de Entrimo (Ourense) del año 2021 (Xunta de Galicia, 2021). Se obtuvo información de las precipitaciones, la temperatura media y horas de sol mensuales (Anexo III). Igualmente se tomaron datos del volumen del embalse de As Conchas durante el 2021, proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil (Anexo III). Estos registros se utilizaron junto con los valores obtenidos de las imágenes de *Sentinel-2* (Anexo III) para concentraciones de clorofila, sólidos totales suspendidos y transparencia tanto para el embalse (Figura 15), como para los puntos específicos en los que se localizan las boyas (Figuras 16 y 17).

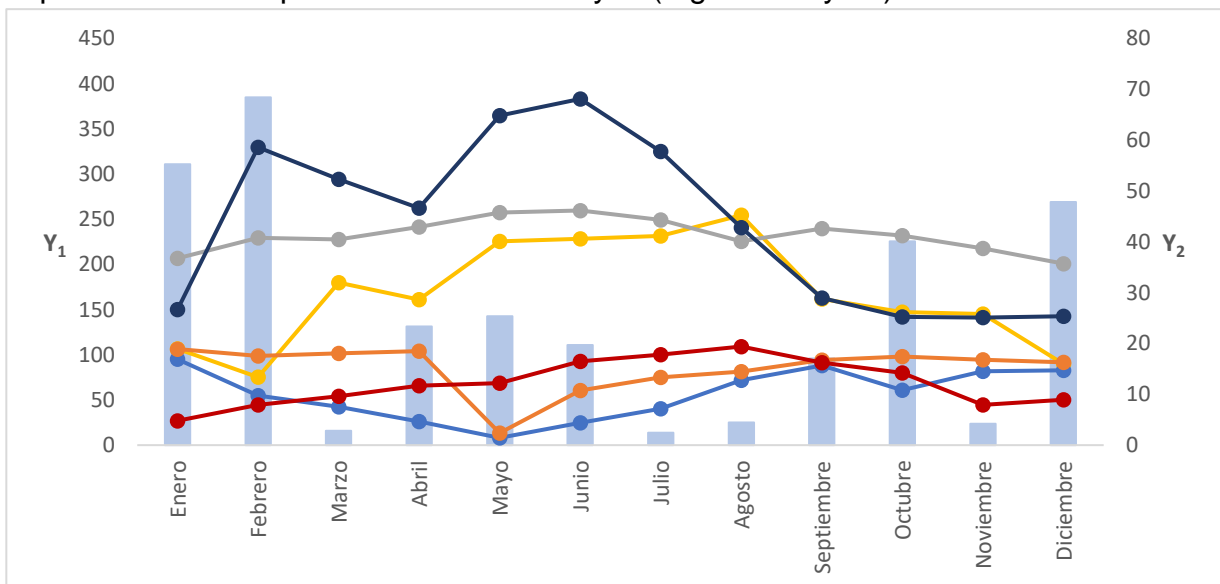


Figura 9. Evolución meteorológica y de las condiciones del cuerpo de agua de As Conchas durante el 2021. Eje Y₁: Lluvia (mm) y Horas de sol (h). Eje Y₂: Volumen del embalse (Hm³), Concentración de chl (mg m⁻³), Concentración de tsm (gm⁻³), Transparencia (m) y Temperatura media a 1,5m (°C).

La figura 9, indica que las precipitaciones se concentran en los meses de enero, febrero, octubre y diciembre. En los meses estivales los registros de precipitaciones disminuyen, destacando los valores tan reducidos de las lluvias en marzo y noviembre. Las horas de sol, siguen una evolución contraria, alcanzando sus valores máximos entre los meses de mayo y agosto. El volumen del embalse presenta registros más elevados entre los meses de febrero y junio. A partir de este mes, la cantidad de agua embalsada se reduce de forma constante hasta estabilizarse en el mes de noviembre. Debe recordarse que el embalse de As Conchas se utiliza para generar energía hidroeléctrica, por lo que parte de las variaciones en el volumen pueden explicarse por la necesidad de utilizar esta agua para dichos fines. Utilizando promedios mensuales de clorofila, transparencia y sólidos suspendidos totales se pueden apreciar de forma más claras las tendencias de estos parámetros a lo largo del año. La transparencia presenta valores promedio muy regulares, registrando una tendencia ascendente entre enero y junio. A partir de este mes su valor va decreciendo. Tanto la clorofila (chl) como los sólidos suspendidos totales (tsm) siguen tendencias opuestas a la transparencia. La presencia de materia suspendida hace que a la luz le cueste más viajar a través del agua, por lo que la turbidez se incrementa haciendo que la claridad del agua disminuya (Gholizadeh et al., 2016). Entre los meses de enero y mayo hay una tendencia descendente en los valores promedio tanto de clorofila como de sólidos, observando una caída más abrupta en la clorofila. A partir de mayo sus valores comienzan a incrementarse. La presencia de clorofila-a en el agua sirve como indicador de la existencia de crecimiento de algas ya que esta es esencial para la fotosíntesis (Gholizadeh et al., 2016). Las concentraciones más altas las encontramos entre los meses de enero y abril. Lo esperado sería tener mayores valores en los meses en los que las temperaturas y las horas de sol fuesen más elevadas, ya que esto junto con el aporte de nutrientes y el poco movimiento del agua favorecen el crecimiento de productores primarios (OMS, 2011).

Observando en detalle los puntos en los que se encuentran localizadas (Figura 10) si se aprecian mayores variabilidades que en las registradas en el embalse.

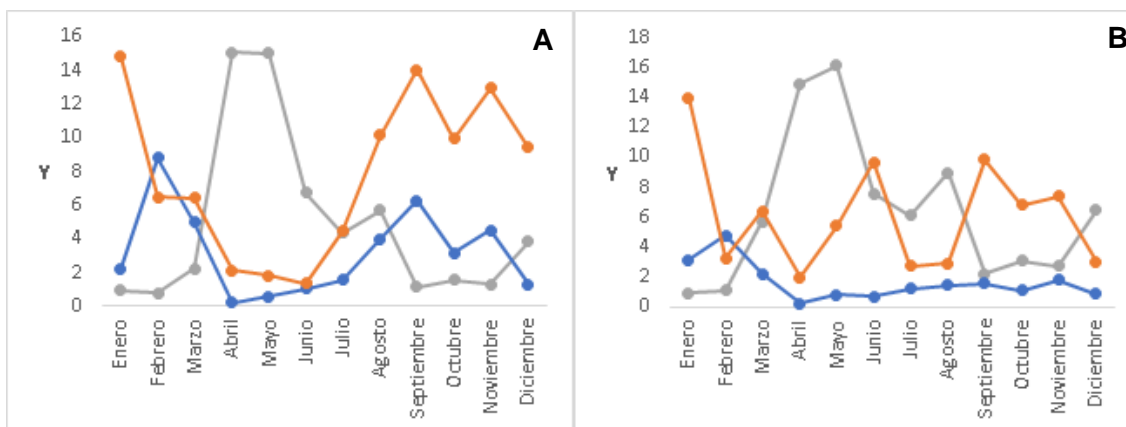


Figura 10. Variación de las condiciones del agua durante el 2021 en ambas boyas. A: boya_playa. Eje Y: — Concentración de chl (mg m⁻³), — Concentración de tsm (gm⁻³) y — Transparencia (m). B: boya_presa. Eje Y: — Concentración de chl (mg m⁻³), — Concentración de tsm (gm⁻³) y — Transparencia (m).

Bajo las mismas condiciones se aprecian diferencias en ambos puntos de muestreo. De forma global, los valores promedio de transparencia, son mayores en la boya_presa mientras que la boya_playa registra mayores concentraciones en la clorofila y en los sólidos suspendidos totales. En ambos puntos los mayores niveles de transparencia se alcanzan entre los meses de marzo y junio. A partir de junio los valores descienden, siendo el descenso más acusado en la boya_playa. Las concentraciones de clorofila siguen patrones diferentes. Mientras que en la boya_presa presenta registros muy variables, concentraciones en marzo, junio y septiembre muy elevadas seguidas de descensos acusados en los meses siguientes, la boya_playa tiene cierta continuidad en sus registros. En la figura 10 A, se observa como la clorofila desciende de forma considerable entre enero y junio, para incrementar sus concentraciones alcanzando máximos en los meses de septiembre y noviembre. Los sólidos totales suspendidos en ambos puntos tienen comportamientos similares. En la boya_presa el máximo se alcanza en febrero, descendiendo a su mínimo en abril y luego manteniendo registros estables el resto del año con unos ligeros máximos en septiembre y noviembre. La boya_playa tiene un comportamiento general similar, sin embargo, las concentraciones promedio son mayores que en el caso anterior y las variaciones mensuales son más evidentes. Al igual que en la figura 10 B, en la zona de la boya_playa el máximo se alcanza en febrero para alcanzar el mínimo en abril y posteriormente incrementar gradualmente sus valores. Estas diferencias pueden estar

relacionadas tanto por la posición de las boyas como por los flujos de agua circundantes. Mayores niveles en clorofila y sólidos suspendidos totales en la zona de la boya_playa puede ser indicativo de una menor circulación del agua en esa zona. Añadiendo los aportes de nutrientes, las horas de sol y temperaturas elevadas, la zona en la que se encuentra la boya_playa parece ser más favorable al crecimiento y desarrollo de productores primarios (OMS, 2011). En la zona de la boya_presa, el agua puede que se renueve con mayor frecuencia al estar próxima a la presa. Esto se vería reflejado en los bajos niveles de materia suspendida y en los valores más elevados de transparencia del agua. Las irregularidades en las concentraciones de clorofila podrían deberse a aportes puntuales de nutrientes que favorecen el desarrollo de productores primarios.

5.4 Distribución de la clorofila y los sólidos suspendidos totales durante el 2021 en el embalse de As Conchas.

Con los resultados generados también se han obtenido escenas de las concentraciones tanto para la clorofila-a como para los sólidos suspendidos totales. Se han seleccionado escenas representativas, debido al elevado número disponible, para visualizar si existen patrones en las distribuciones de estos parámetros. El resto de las escenas se encuentran en el Anexo IV.

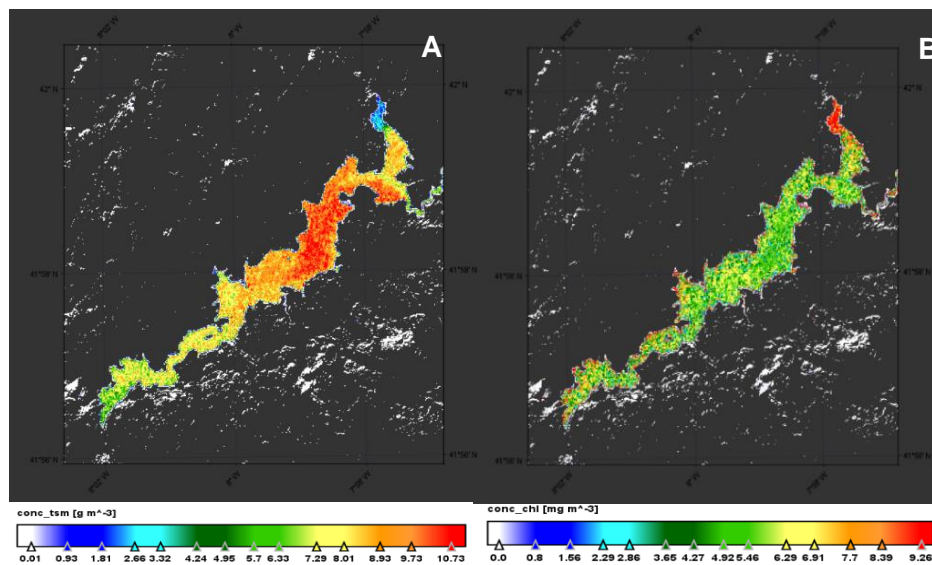


Figura 11. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 28/02/2021.

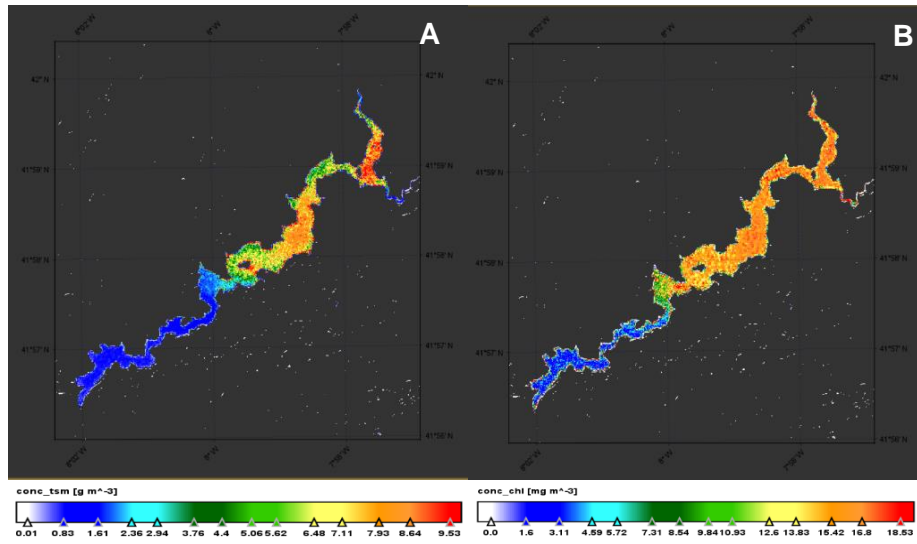


Figura 12. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 19/09/2021.

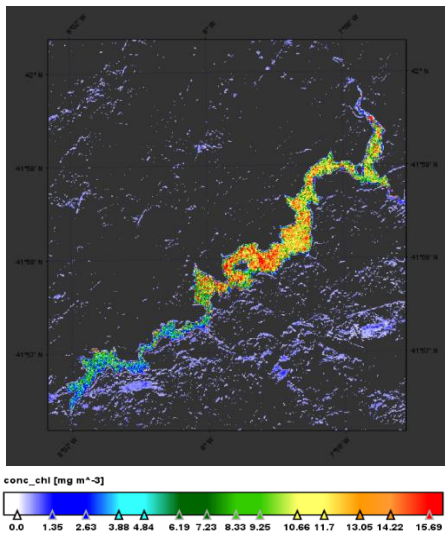


Figura 13. Concentraciones de chl 16/07/2021.

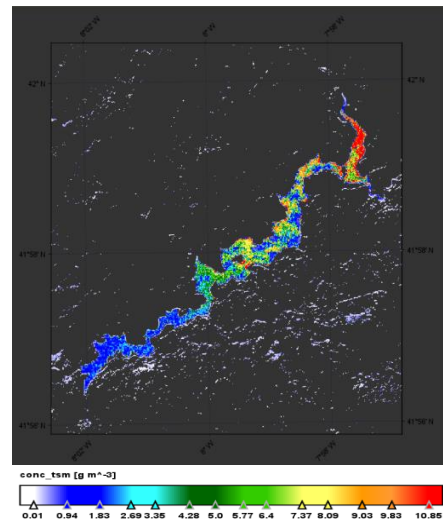


Figura 14. Concentraciones de tsm 26/10/2021.

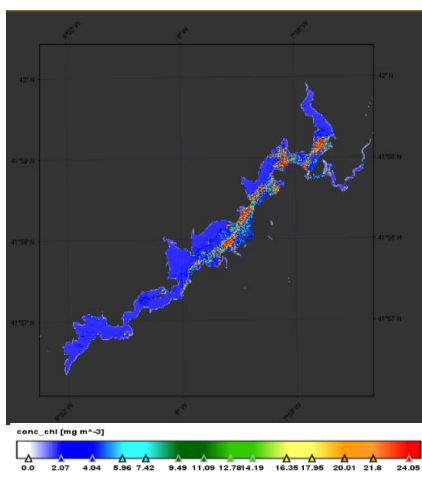


Figura 15. Concentraciones de chl 15/11/2021.

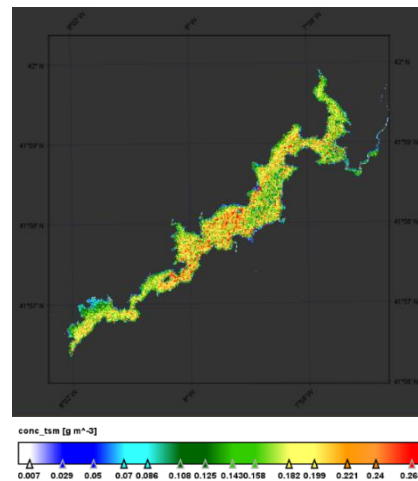


Figura 16. Concentraciones de tsm 19/05/2021.

Uno de los primeros aspectos que destaca en la serie de imágenes es la variación en el volumen del embalse. Comparando las fechas del 28/02/2021 (Figura 11) y el 19/9/2021(Figura 12) el descenso se hace notable tanto en la parte central del embalse como en la esquina superior derecha del mismo. Destaca también el incremento del tamaño de la isla que se encuentra en la parte central del mismo. Los puntos en los que se detectan concentraciones elevadas de clorofila y solidos suspendidos totales suelen detectarse en la parte central del embalse y en la cola de este (esquina superior derecha). Sin embargo, no se observa un patrón lo que sería indicativo de posibles vertidos puntuales a lo largo de toda la superficie de la masa de agua que favorezcan la proliferación de productores primarios, así como incrementos en las concentraciones de solidos suspendidos. Si se puede detectar la variabilidad del área afectada. En algunas imágenes (Figuras 13, 14 y 15) son zonas muy localizadas mientras que en otras (Figuras 11A ,12B y 16) la distribución es más uniforme. Esto puede deberse al momento en el que el satélite realizo la captura. Otro elemento destacado con anterioridad son los flujos de agua. Si bien estos son escasos, es posible que estos sean mayores en la zona próxima a la presa haciendo que, aunque haya momentos del año en los que existen concentraciones significativas de clorofila y sólidos, estas sean inferiores a las registradas en la parte central y de entrada al embalse.

6. Conclusiones.

Una vez analizados de los resultados obtenidos a partir de las imágenes proporcionadas por la misión *Sentinel-2* puede determinarse que la correlación de los datos es ideal cuando se comparan los resultados obtenidos entre el algoritmo C2RCC sin correcciones y con las correcciones. Las diferencias entre ambas comparativas son mínimas entre los tres parámetros comparados, clorofila-a, sólidos totales suspendidos y transparencia. Sin embargo, no existe una correlación de los datos al realizar la comparación entre los resultados de clorofila-a del algoritmo C2RCC con correcciones y las mediciones obtenidas por las boyas. Esto puede deberse a que el algoritmo está ajustado para otra tipología de masas de agua con parámetros muy diferentes. La utilización de otra corrección atmosférica como la C2RX podría proporcionar valores más ajustados, debido a que esta se emplea en aguas con niveles elevados de turbidez, sólidos y fitoplancton. Otra posible causa podría deberse tanto al número de muestras como al de puntos de muestreo. Con una mayor disponibilidad, tanto de imágenes como de datos de campo, se podrían establecer mejores relaciones al poder disponer de información detallada de los diferentes escenarios en el embalse a lo largo del año. La cantidad de puntos de muestreo también es importante destacarla, ya que únicamente se contaba con dos zonas de medición y al observar tanto los datos, como las imágenes, se aprecia que las zonas de crecimiento se dan en diferentes zonas de la masa de agua. El no disponer de más puntos complica que el modelo pueda ajustarse a las variabilidades de la zona ocasionando diferencias sustanciales entre los datos en campo y los predichos por el modelo. A pesar de estas incidencias, el uso de esta herramienta permite dar un seguimiento prácticamente continuo al estado del embalse, así como identificar en que áreas hay mayor tendencia a que se originen crecimientos de productores primarios, lo cual permitirá aplicar medidas con el fin de evitarlos. Si bien las condiciones óptimas para el crecimiento de algas se esperarían para los periodos con temperaturas más cálidas, los datos e imágenes indican que los crecimientos no se verían tan condicionados por el entorno y si por aportes puntuales de aguas que contendrían una cantidad notable de nutrientes.

Bibliografía.

- Alikas, K., & Kratzer, S. (2017). Improved retrieval of Secchi depth for optically-complex waters using remote sensing data. *Ecological Indicators*, 77, 218-227. doi:10.1016/j.ecolind.2017.02.007
- Amil, S. M. (11 de Agosto de 2021). Piden a los alcaldes de A Baixa Limia que actúen frente al estado de As Conchas. *La Voz de Galicia*. Recuperado el 15 de Marzo de 2022, de https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/ourense/2021/08/11/piden-alcaldes-baixa-limia-actuen-frente-estado-as-conchas/0003_202108O11C5992.htm
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Díaz de Santos.
- Asián, I. (27 de Diciembre de 2021). El desastre de la Baixa Limia: las macrogranjas que han creado un 'Mar Menor' tóxico en Galicia. *El Español*. Recuperado el 15 de Marzo de 2022, de https://www.elespanol.com/ciencia/medio-ambiente/20211227/desastre-baixa-limia-macrogranjas-mar-menor-galicia/635436566_0.html
- Bayly, I. A., & Williams, D. (1973). *Inland waters and their ecology*. Longman, Australia: Camberwell, Vic.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., & Ruescas, A. (Agosto de 2016). Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. *ESA Living Planet Symposium*, 740, 54. Praga, Republica Checa.
- Camacho, C. (2015). Correlacion lineal de Pearson. *Analisis de datos en psicologia*. Universidad de Cádiz. Obtenido de <https://personal.us.es/vararey/master/>
- Confederación Hidrográfica del Miño-Sil . (30 de Abril de 2012). La Confederación Hidrográfica del Miño-Sil incrementa las actuaciones preventivas para paliar posibles episodios de cianobacterias en el embalse de As Conchas. Recuperado el 10 de Abril de 2022, de <https://www.chminosil.es/es/chms/comunicacion/noticias/497-la-confederacion-hidrografica-del-mino-sil-incrementa-las-actuaciones-preventivas-para-paliar-posibles-episodios-de-cianobacterias-en-el-embalse-de-as-conchas>
- Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. (2013). *Información pública. Proyectos*. Obtenido de Proyecto mejora de la calidad de las aguas y recuperación ambiental del entorno del embalse de As Conchas TT.MM. Bande y Muiños: <https://www.chminosil.es/es/chms/informacion-de-interes/informacion-publica/proyectos/1005-proyecto-mejora-de-la-calidad-de-las-aguas-y-recuperacion-ambiental-del-entorno-del-embalse-de-as-conchas-tt-mm-bande-y-muinon>
- Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. (s.f.). *Planificación hidrológica*. Recuperado el 10 de Abril de 2022, de Recursos hídricos. Histórico de embalses: <https://www.chminosil.es/es/chms/planificacionhidrolologica/recursos-hidricos/historico-de-embalses>
- Di Bella, C., Posse, G., Beget, M., Fischer, M., Mari, N., & Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e

- inundaciones. *Ecosistemas: revista científica de ecología y medio ambiente.*, 17(3), 39-52.
- Embalses.net.* (9 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://www.embalses.net/pantano-706-las-conchas.html>
- ESA. (2015). *Sentinel Online*. Obtenido de Sentinel-2 MSI User Guide: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
- ESA. (s.f.). *Sentinel online*. Obtenido de Sentinel-2: Technical guide: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi>
- Experimentos científicos.* (4 de Abril de 2017). Obtenido de https://www.experimentoscientificos.es/conductividad/conductividad-del-agua/#COMO_MEDIR_LA_CONDUCTIVIDAD
- Fallas, J. (2012). Correlación lineal. Midiendo la relación entre dos variables. 54. Obtenido de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/correlacion_lineal_2012.pdf
- Fernández, L. (9 de Agosto de 2021). Sanidade decreta el nivel 3 de contaminación en el embalse de As Conchas. *La Región*. Recuperado el 15 de Marzo de 2022, de <https://www.laregion.es/articulo/baixa-limia/nueva-proliferacion-cianobacterias-embalse-conchas-ourense/202108091723081053205.html>
- García Lozano, M. (26 de Septiembre de 2016). Eutrofización: una visión general. (U. A. Coahuila, Ed.) *Ciencia Cierta. Revista científica, tecnológica y humanística.*(47). Obtenido de <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8). doi:10.3390/s16081298
- Gorgas García, J., Cardiel López, N., & Zamorano Calvo, J. (2009). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. Universidad Complutense de Madrid.
- Instituto Galego de Estatística [IGE]. (s.f.). *Poblacion*. Obtenido de Poblacion según genero y grupos quinquenales de edad: http://www.ige.eu/igebdt/atlas_comarcal/atlas.jsp?id=1#rangos
- Kyryliuk, D., & Kratzer, S. (2019). Evaluation of Sentinel-3A OLCI Products Derived Using the Case-2 Regional CoastColour Processor over the Baltic Sea. *Sensors*, 19(16), 3609. doi:10.3390/s19163609
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación/Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Geo Portal*. Obtenido de https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/intranet/default.aspx?nombre=EGI_SPE_PRESA&claves=ID_INFRAESTRUCTURA&valores=100&origen=2
- Ministerio de Medio Ambiente. (2006). Perfil ambiental de España 2005: Informe basado en indicadores. 297. Madrid, España. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/informacion-ambiental-indicadores->

ambientales/indicadores-ambientales-perfil-ambiental-de-espana/perfil-ambiental-de-espana-2005/default.aspx

- Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana [Mitma]. (s.f.). *Geo-Información*. Obtenido de Observacion del territorio; Teledeteccion: <https://www.mitma.gob.es/instituto-geografico-nacional/observacion-del-territorio/teledeteccion>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [Mitma]. (2018). El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geospacial. *El Componente espacio Copernicus*, 47.
- NASA. (s.f.). Seadas. Recuperado el 12 de Abril de 2022, de SNAP Data processors: C2RCC Algorithm Specification: <https://seadas.gsfc.nasa.gov/help-8.2.0/c2rcc/C2RCCAlgorithmSpecification.html>
- OMS. (2011). Guía para la calidad del agua potable. 1, 4^o. Ginebra.
- ONU. (2003). *Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. París: UNESCO-WWAP.
- Pascual Anderson, M. R. (1982). *técnicas para el análisis microbiológico de alimentos y bebidas*. Madrid: Ministerio de sanidad y consumo. Instituto nacional de sanidad.centro nacional de alimentación y nutrición.
- Radin, C. S.-P. (2020). Estudio multitemporal de calidad del agua del embalse de Sitjar (Castelló, España) utilizando imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*.(56), 117-130.
- Ruiz-Verdú, A., De Hoyos, C., Domínguez, J. A., & Peña, R. (2003). Estudio de la composición del fitoplancton en embalses españoles. *Revista Digital del Cedex*(131). Obtenido de Recuperado a partir de <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1754>
- SEPREM. (s.f.). *SEPREM. Sociedad Española de Presas y Embalses*. Recuperado el 12 de Marzo de 2022, de Inventario de presas: <https://www.sepreem.es/ficha.php?idpresa=351&p=14#>
- Serrano Pérez, M. L., Camacho González, A., Vicente Pedrós, E., & Peña Martínez, R. (1997). Estudio por teledetección de la evolución del estado trófico de tres embalses del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar en el periodo estival de los años 1994 y 1995. *Limnetica*, 13(1), 5-14. doi:10.23818/limn.13.02
- Topp, S. N., Pavelsky, T. M., Jensen, D., Simard, M., & Ross, M. R. (2020). Research Trends in the Use of Remote Sensing for Inland Water Quality Science: Moving Towards Multidisciplinary Applications. *Water*, 12(1), 169. doi:10.3390/w12010169
- Union Europea. (2015). Copernicus. La mirada de Europa sobre la tierra. 28. Bruselas, Bélgica. doi:10.2873/2338
- Xunta de Galicia. (2021). *Meteogalicia*. Recuperado el 9 de Abril de 2022, de Observación. Historico de redes meteorológicas: <https://www.meteogalicia.gal/observacion/estacionshistorico/historico.action#>

Xunta de Galicia. (s.f.). *Axencia Galega de Desenvolvemento Rural [Agader]*. Obtenido de Desarrollo rural: <https://agader.xunta.gal/es/desarrollo-rural/conoce-las-comarcas-de-galicia/baixa-limia>

Xunta de Galicia. (s.f.). *Servizo Galego de Saúde*. Obtenido de GIS: Cartografía de Galicia en formato vectorial shp: <https://www.sergas.es/Saude-publica/GIS-Cartografia-Galicia-formato-vectorial-SHP?idioma=es>

Anexos

Anexo I: Capturas de notas de prensa y titulares de diarios referentes al embalse de As Conchas.

Inicio » Comunicación » Comunicación » Noticias » La Confederación Hidrográfica del Miño-Sil incrementa las actuaciones preventivas para paliar posibles episodios de cianobacterias en el embalse de As Conchas

La Confederación Hidrográfica del Miño-Sil incrementa las actuaciones preventivas para paliar posibles episodios de cianobacterias en el embalse de As Conchas

- El subdelegado del Gobierno en Ourense, Roberto Castro y el presidente de la Confederación Hidrográfica del Miño Sil, Francisco Marín, evalúan las medidas que se han puesto en marcha en la segunda reunión de trabajo de la "Comisión de seguimiento del embalse de As Conchas".



La Confederación Hidrográfica del Miño Sil, Organismo autónomo dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), celebró en la subdelegación del Gobierno en Ourense la segunda reunión de trabajo de la "Comisión de seguimiento del embalse de As Conchas". Roberto Castro y Francisco Marín evaluaron las medidas preventivas que se han puesto en marcha para paliar los posibles efectos de las cianobacterias en el embalse,

Figura 17. Captura de la nota de prensa de la confederación hidrográfica del Miño-Sil.



Figura 18. Captura de los titulares de prensa referentes a los problemas del embalse. Capturas de La voz de Galicia (A), El Español (B) y La Región (C).

Anexo II: Codificación de las imágenes y datos obtenidos con el algoritmo corregido y datos de campo.

Tabla 4. Fecha y código de las imágenes seleccionadas.

N° de imagen	Fecha	Código de identificación
1	2021-01-12T11:33:39.024Z	S2B_MSIL1C_20210112T113339_N0209_R080_T29TNG_20210112T123741
2	2021-01-17T11:34:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210117T113421_N0209_R080_T29TNG_20210117T134547
3	2021-02-28T11:21:09.024Z	S2B_MSIL1C_20210228T112109_N0209_R037_T29TNG_20210228T133316
4	2021-03-15T11:21:11.024Z	S2A_MSIL1C_20210315T112111_N0209_R037_T29TNG_20210315T133629
5	2021-03-20T11:21:09.024Z	S2B_MSIL1C_20210320T112109_N0209_R037_T29TNG_20210320T123052
6	2021-03-23T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210323T113319_N0209_R080_T29TNG_20210323T122313
7	2021-03-28T11:33:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210328T113321_N0209_R080_T29TNG_20210328T133745
8	2021-04-04T11:21:11.024Z	S2A_MSIL1C_20210404T112111_N0300_R037_T29TNG_20210404T133105
9	2021-04-17T11:33:11.024Z	S2A_MSIL1C_20210417T113311_N0300_R080_T29TNG_20210417T134119
10	2021-05-04T11:21:11.025Z	S2A_MSIL1C_20210504T112111_N0300_R037_T29TNG_20210504T133114
11	2021-05-19T11:21:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210519T112119_N0300_R037_T29TNG_20210519T133308
12	2021-05-29T11:21:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210529T112119_N0300_R037_T29TNG_20210529T133831
13	2021-06-06T11:33:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210606T113321_N0300_R080_T29TNG_20210606T134850
14	2021-06-08T11:21:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210608T112119_N0300_R037_T29TNG_20210608T122121
15	2021-06-11T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210611T113319_N0300_R080_T29TNG_20210611T122823
16	2021-06-23T11:21:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210623T112121_N0300_R037_T29TNG_20210623T133330
17	2021-07-08T11:21:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210708T112119_N0301_R037_T29TNG_20210708T123423
18	2021-07-11T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210711T113319_N0301_R080_T29TNG_20210711T123259
19	2021-07-16T11:33:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210716T113321_N0301_R080_T29TNG_20210716T134648
20	2021-08-10T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210810T113319_N0301_R080_T29TNG_20210810T121848
21	2021-08-15T11:33:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210815T113321_N0301_R080_T29TNG_20210815T134323
22	2021-08-17T11:21:19.025Z	S2B_MSIL1C_20210817T112119_N0301_R037_T29TNG_20210817T121536
23	2021-08-20T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210820T113319_N0301_R080_T29TNG_20210820T121054
24	2021-08-22T11:21:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210822T112121_N0301_R037_T29TNG_20210822T133353
25	2021-09-19T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20210919T113319_N0301_R080_T29TNG_20210919T120843
26	2021-09-21T11:21:21.024Z	S2A_MSIL1C_20210921T112121_N0301_R037_T29TNG_20210921T132710
27	2021-10-06T11:21:19.024Z	S2B_MSIL1C_20211006T112119_N0301_R037_T29TNG_20211006T122732
28	2021-10-19T11:33:19.024Z	S2B_MSIL1C_20211019T113319_N0301_R080_T29TNG_20211019T121226
29	2021-10-26T11:21:19.025Z	S2B_MSIL1C_20211026T112119_N0301_R037_T29TNG_20211026T121849
30	2021-11-05T11:21:49.024Z	S2B_MSIL1C_20211105T112149_N0301_R037_T29TNG_20211108T162544
31	2021-11-10T11:23:11.024Z	S2A_MSIL1C_20211110T112311_N0301_R037_T29TNG_20211110T132548
32	2021-11-13T11:33:31.024Z	S2A_MSIL1C_20211113T113331_N0301_R080_T29TNG_20211113T133527
33	2021-11-15T11:22:39.024Z	S2B_MSIL1C_20211115T112239_N0301_R037_T29TNG_20211115T121508
34	2021-11-20T11:23:51.024Z	S2A_MSIL1C_20211120T112351_N0301_R037_T29TNG_20211120T132533
35	2021-11-30T11:24:31.024Z	S2A_MSIL1C_20211130T112431_N0301_R037_T29TNG_20211130T133012

N° de imagen	Fecha	Código de identificación
36	2021-12-13T11:35:01.024Z	S2A_MSIL1C_20211213T113501_N0301_R080_T29TNG_20211213T133156
37	2021-12-15T11:23:59.024Z	S2B_MSIL1C_20211215T112359_N0301_R037_T29TNG_20211215T121102
38	2021-12-18T11:33:59.024Z	S2B_MSIL1C_20211218T113359_N0301_R080_T29TNG_20211218T121445
39	2021-12-30T11:25:01.024Z	S2A_MSIL1C_20211230T112501_N0301_R037_T29TNG_20211230T132549

Tabla 5. Datos de clorofila-a (mg m^{-3}) medidos en campo y aportados por el algoritmo corregido.

Código de imagen	Boyas	Chl boyas	Chl C2RCC corregido
S2B_MSIL1C_20210112T113339_N0209_R080_T29TNG_20210112T123741	Presas	4,130	8,972
S2B_MSIL1C_20210112T113339_N0209_R080_T29TNG_20210112T123741	Playa	1,050	17,959
S2A_MSIL1C_20210117T113421_N0209_R080_T29TNG_20210117T134547	Presas	4,340	15,074
S2A_MSIL1C_20210117T113421_N0209_R080_T29TNG_20210117T134547	Playa	0,800	9,795
S2B_MSIL1C_20210228T112109_N0209_R037_T29TNG_20210228T133316	Presas	3,910	2,429
S2B_MSIL1C_20210228T112109_N0209_R037_T29TNG_20210228T133316	Playa	2,960	3,985
S2B_MSIL1C_20210320T112109_N0209_R037_T29TNG_20210320T123052	Presas	5,120	7,946
S2B_MSIL1C_20210320T112109_N0209_R037_T29TNG_20210320T123052	Playa	4,070	5,606
S2A_MSIL1C_20210328T113321_N0209_R080_T29TNG_20210328T133745	Presas	4,480	7,880
S2A_MSIL1C_20210328T113321_N0209_R080_T29TNG_20210328T133745	Playa	6,270	25,307
S2A_MSIL1C_20210404T112111_N0300_R037_T29TNG_20210404T133105	Presas	5,500	0,254
S2A_MSIL1C_20210404T112111_N0300_R037_T29TNG_20210404T133105	Playa	3,890	1,251
S2A_MSIL1C_20210417T113311_N0300_R080_T29TNG_20210417T134119	Presas	16,230	4,576
S2A_MSIL1C_20210417T113311_N0300_R080_T29TNG_20210417T134119	Playa	22,610	4,659
S2A_MSIL1C_20210504T112111_N0300_R037_T29TNG_20210504T133114	Presas	3,160	0,160
S2A_MSIL1C_20210504T112111_N0300_R037_T29TNG_20210504T133114	Playa	3,910	0,188

Anexo III: Promedios de clorofila, solidos suspendidos y transparencia del algoritmo sin corregir para el embalse y para cada boya, datos meteorológicos y volumen del embalse,

Tabla 6. Máximos, mínimos y promedios de concentración de solidos en suspensión (tsm), concentración de clorofila-a (chl).

N° de imagen	tsm (gm ⁻³)			chl (mg m ⁻³)		
	max	min	Promedio	max	min	Promedio
1	32,406	0,010	16,208	37,667	2,91E-04	18,834
2	35,146	0,009	17,578	37,931	2,76E-04	18,966
3	19,473	0,008	9,741	35,118	6,28E-04	17,559
4	12,317	0,007	6,162	32,213	2,93E-04	16,107
5	32,178	0,007	16,093	31,245	0,001	15,623
6	9,431	0,007	4,719	43,728	0,002	21,865
7	6,508	0,009	3,259	37,396	7,94E-04	18,698
8	6,488	0,007	3,248	32,906	8,60E-04	16,453
9	11,993	0,006	6,000	41,187	7,18E-04	20,594
10	3,177	0,007	1,592	10,056	2,82E-04	5,028
11	4,257	0,007	2,132	3,557	2,75E-04	1,779
12	1,144	0,007	0,576	0,685	3,04E-04	0,343
13	15,321	0,006	7,664	33,469	3,04E-04	16,735
14	3,914	0,007	1,961	9,407	3,44E-04	4,704
15	2,696	0,006	1,351	27,175	4,77E-04	13,588
16	13,287	0,006	6,647	15,945	4,21E-04	7,973
17	11,606	0,007	5,807	12,383	4,02E-04	6,192
18	10,527	0,006	5,267	33,159	2,83E-04	16,580
19	20,942	0,006	10,474	34,595	2,62E-04	17,298
20	33,68	0,006	16,843	35,555	0,002	17,779
21	31,455	0,006	15,731	36,049	0,001	18,025
22	22,134	0,007	11,071	38,112	3,06E-04	19,056
23	40,115	0,006	20,061	34,563	0,002	17,283
24	0,241	0,010	0,126	0,342	0,002	0,172
25	21,865	0,007	10,936	36,774	2,99E-04	18,387
26	40,759	0,007	20,383	30,057	3,52E-04	15,029
27	26,461	0,007	13,234	32,866	3,13E-04	16,433
28	19,152	0,008	9,580	37,585	2,95E-04	18,793
29	19,277	0,007	9,642	34,178	3,23E-04	17,089
30	35,051	0,007	17,529	35,022	2,66E-04	17,511
31	29,464	0,007	14,736	35,264	2,94E-04	17,632
32	28,183	0,009	14,096	39,477	2,77E-04	19,739
33	39,706	0,008	19,857	28,993	2,76E-04	14,497
34	11,338	0,010	5,674	29,599	3,40E-04	14,800
35	30,479	0,007	15,243	33,08	2,90E-04	16,540

N° de imagen	tsm (gm ⁻³)			chl (mg m ⁻³)		
	max	min	Promedio	max	min	Promedio
36	26,987	0,009	13,498	34,748	2,62E-04	17,374
37	28,411	0,007	14,209	31,681	2,80E-04	15,841
38	31,974	0,012	15,993	35,126	2,70E-04	17,563
39	30,352	0,006	15,179	28,609	2,80E-04	14,305

Tabla 7. Promedios de solidos suspendidos (tsm), clorofila-a (chl) y transparencia (kd_zmax90) para el embalse de As Conchas.

mes	tsm gm ⁻³	chl mg m ⁻³	kd_z90max m
Enero	16,893	18,90	36,74
Febrero	9,741	17,56	40,79
Marzo	7,558	18,07	40,44
Abril	4,624	18,52	42,95
Mayo	1,433	2,38	45,78
Junio	4,405	10,75	46,16
Julio	7,182	13,36	44,32
Agosto	12,766	14,46	40,12
Septiembre	15,660	16,71	42,60
Octubre	10,819	17,44	41,25
Noviembre	14,522	16,79	38,68
Diciembre	14,720	16,27	35,71

Tabla 8. Información de la estación meteorológica de Entrimo, Ourense (Xunta de Galicia, 2021).

Mes	Lluvia l/m ²	Horas de sol h	Temperatura media a 1,5m °C
Enero	311	106,6	4,8
Febrero	384,9	75,2	7,9
Marzo	15,7	179,7	9,6
Abril	131,4	161,2	11,7
Mayo	142,8	225,4	12,2
Junio	110,9	228,3	16,5
Julio	13,6	231,4	17,8
Agosto	25,1	254,4	19,4
Septiembre	95,8	161,6	16,2
Octubre	225,6	147,4	14,2
Noviembre	23,6	145	7,9
Diciembre	269	90	8,9

Tabla 9. Volúmenes promedio mensuales del embalse de As Conchas (Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, s.f.).

Mes	Volumen promedio mensual
	Hm ³
Enero	26,673
Febrero	58,573
Marzo	52,305
Abril	46,650
Mayo	64,814
Junio	68,108
Julio	57,788
Agosto	42,785
Septiembre	28,915
Octubre	25,220
Noviembre	25,093
Diciembre	25,355

Tabla 10. Promedios de transparencia (kd_z90max), concentración de sólidos en suspensión (conc_tsm) y concentración de clorofila-a (conc_chl) para ambas boyas.

Mes	Presa			Playa		
	kd_z90max (m)	conc_tsm (gm ⁻³)	conc_chl (mg m ⁻³)	kd_z90max (m)	conc_tsm (gm ⁻³)	conc_chl (mg m ⁻³)
Enero	0,90335615	3,14643855	13,9719035	0,96254083	2,26690935	14,7890395
Febrero	1,0930543	4,772095	3,2470574	0,7739628	8,802161	6,4911942
Marzo	5,67656112	2,19861467	6,4168932	2,21804107	4,97772543	6,44836722
Abril	14,8995329	0,23693048	1,96274501	15,082905	0,21459677	2,14559673
Mayo	16,1016697	0,81151202	5,42545942	15,0261212	0,60249807	1,81730557
Junio	7,5746013	0,67553331	9,63804725	6,72046193	1,06402133	1,36223229
Julio	6,11107583	1,20699633	2,71244054	4,38281813	1,58856273	4,4848436
Agosto	8,937767	1,42598288	2,93184524	5,69693772	4,02432718	10,167596
Septiembre	2,2315303	1,5938898	9,8524455	1,1637969	6,2537625	14,0262115
Octubre	3,07799827	1,09998732	6,81506453	1,57334377	3,1648935	9,931185
Noviembre	2,72679089	1,78197159	7,39095288	1,32394645	4,53384044	12,9414267
Diciembre	6,46931423	0,8624376	3,01053995	3,8324576	1,32909944	9,43305196

Anexo IV: Distribución de solidos suspendidos y clorofila durante el 2021.

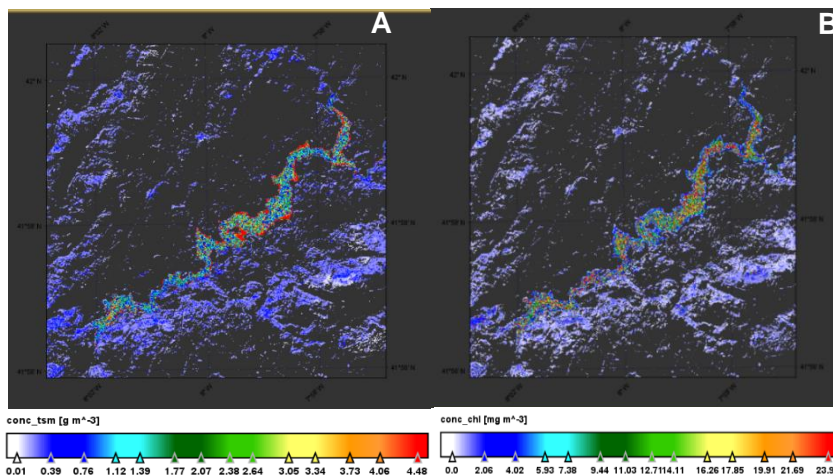


Figura 19. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 17/01/2021.

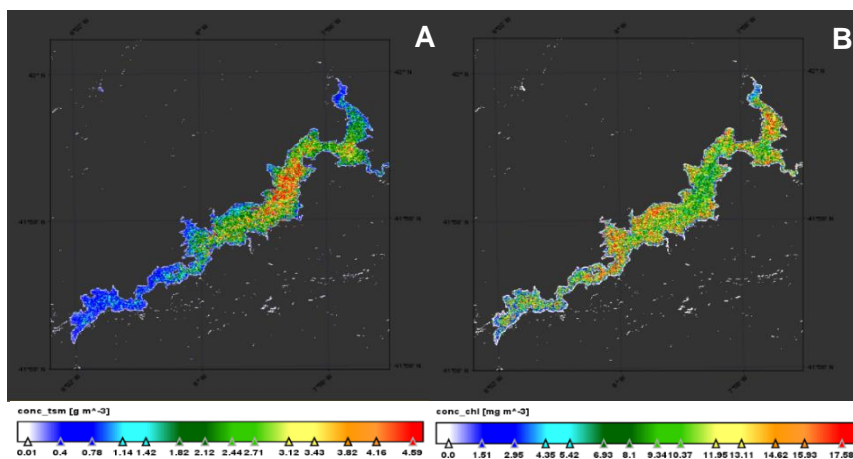


Figura 20. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 20/03/2021.

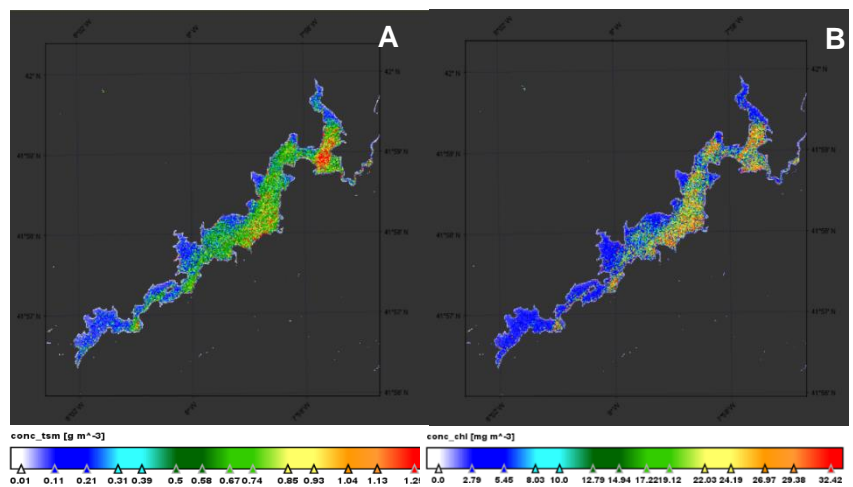


Figura 21. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 17/04/2021.

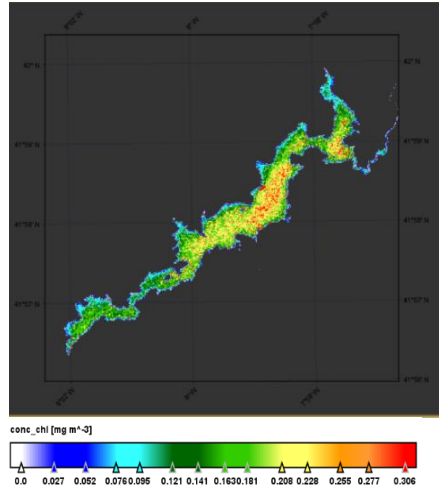


Figura 22. Concentraciones de chl 19/05/2021.

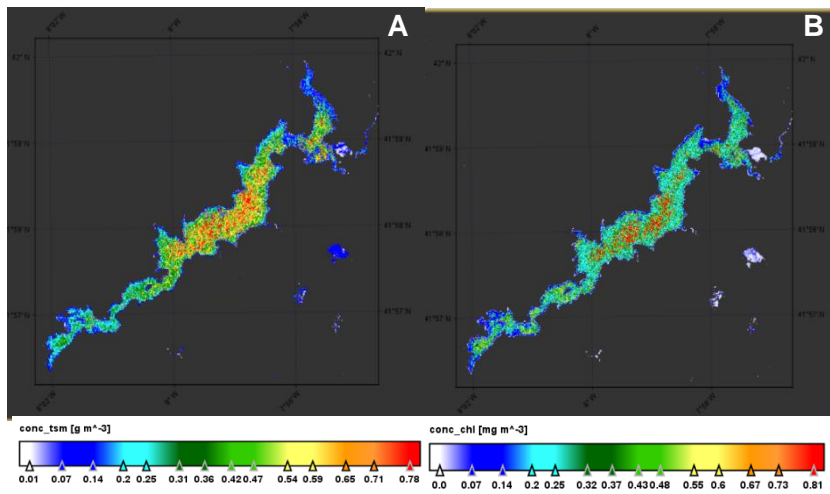


Figura 23. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 23/06/2021.

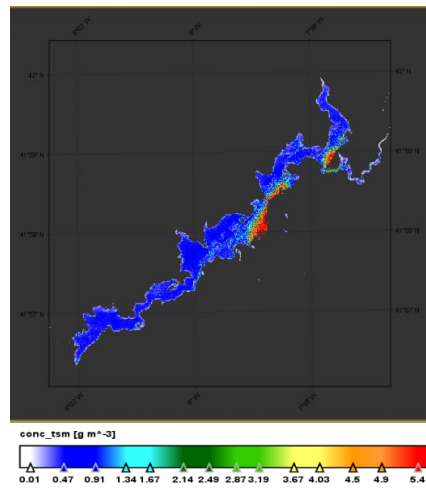


Figura 24. Concentraciones de tsm 16/07/2021.

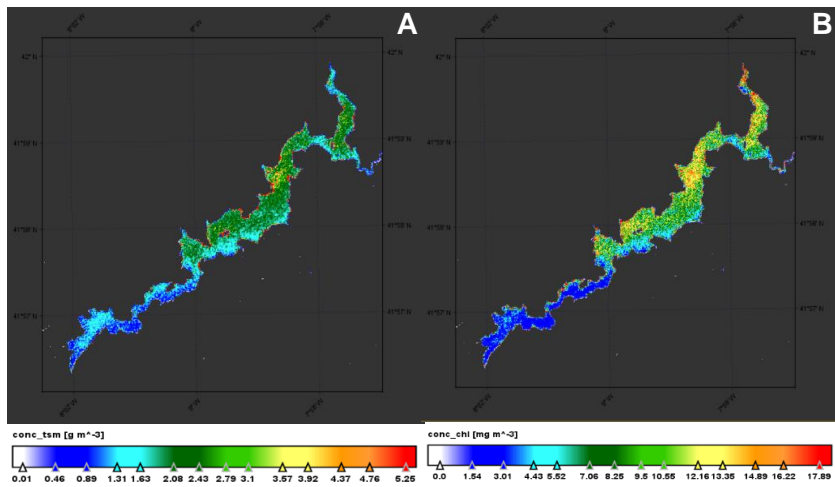


Figura 25. Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 20/08/2021.

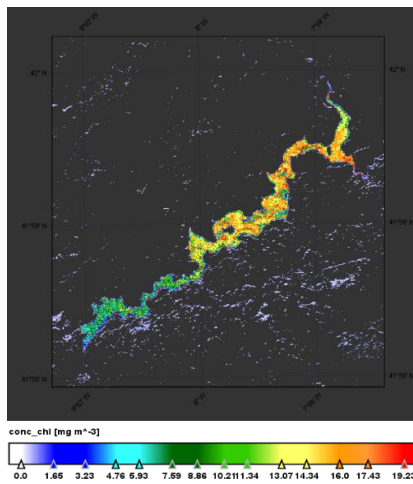


Figura 26. Concentraciones de chl 26/10/2021.

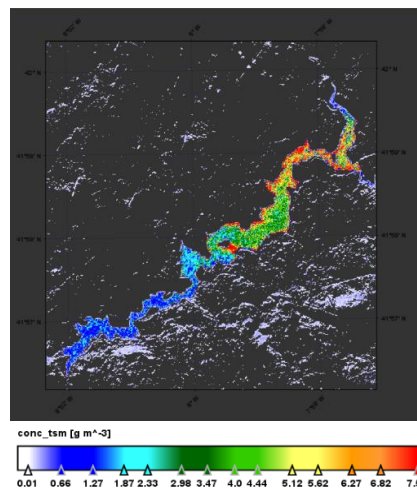


Figura 27. Concentraciones de tsm 15/11/2021.

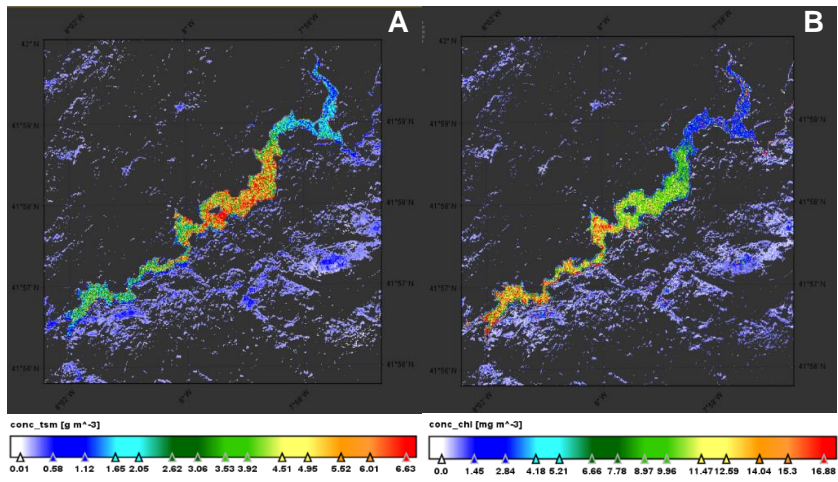


Figura 28: Concentraciones de tsm (A) y chl (B) 18/12/2021.