



Ajuste de los algoritmos OC2 y OC3 de MODIS para la obtención de la concentración de clorofila-a en lagos oligotróficos con Landsat-8: validación en el lago Titicaca

Adjusting OC2 and OC3 MODIS algorithms for retrieving the chlorophyll-a concentration in oligotrophic lakes using Landsat-8: Validation on Lake Titicaca

Marcela A. Pereira-Sandoval¹, Antonio Ruiz-Verdú², Juan Carlos Jiménez³, Carolina Tenjo⁴, Jesús Delegido⁵, Guiomar Gibaja⁶, Ramón Peña⁷, José Moreno⁸

Para citar este artículo: Pereira, M., Ruiz, A., Jiménez, J., Tenjo, C., Delegido, J., Gibaja, G., Peña, R. y Moreno, J. (2016). Ajuste de los algoritmos OC2 y OC3 de MODIS para la obtención de la concentración de clorofila-a en lagos oligotróficos con Landsat-8: validación en el lago Titicaca. *Revista de Topografía Azimut*, (7), 45-51.

Recibido: 07-septiembre-2016 / **Aceptado:** 08-octubre-2016

Resumen

Utilizando una base de datos espectral simulada, con el modelo de transferencia radiativa HydroLight, se realizó un ajuste para Landsat-8 de los algoritmos OC2 y OC3, comúnmente utilizados por MODIS. La validación de los coeficientes propuestos se hizo mediante una serie temporal del 2013 de imágenes Landsat-8 y el producto de [Chl-a] de MODIS del lago Titicaca, el cual, por sus características limnológicas y de tamaño, es adecuado para la validación de los algoritmos OC2 y OC3 propuestos. También se hizo una comparación con los coeficientes determinados con la base de datos del NOMAD, obteniendo un ajuste bastante pobre. Por último, se hizo una comparación del algoritmo OC2, utilizando la banda a 483 nm, aplicándolo a

las diferentes imágenes de Landsat (5, 7 y 8), donde se destaca la mejora que proporciona la mayor resolución radiométrica (12 bits) de Landsat-8 a los mapas de [Chl-a] obtenidos.

Palabras clave: calidad de aguas, clorofila-a, lago Titicaca, landsat-8, MODIS, OC2, OC3.

Abstract

Using a simulated spectral database from the radiative transfer model HydroLight, a fit for Landsat-8 OC2 and OC3 algorithms commonly used by MODIS was performed. The validation of the proposed coefficients was done by using a time series of 2013 imagery Landsat-8 and the product of chlorophyll-a concentration MODIS on the Lake Titicaca,

- 1 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: marpesa7@uv.es.com
- 2 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: antonio.ruiz@uv.es
- 3 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: jcjm@hotmail.com
- 4 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: carolina.tenjo@uv.es
- 5 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: jesus.delegido@uv.es
- 6 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: guigilo@alumni.uv.es
- 7 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: ramon.pena@uv.es
- 8 Image Processing Laboratory, Universidad de Valencia (España). Correo electrónico: jose.moreno@uv.es

which, by its limnological characteristics and size, is suitable for validation OC2 and OC3 of the proposed algorithms. Also, a comparison of the coefficients determined with NOMAD database with the MODIS data was made, obtaining poor results. Finally, a comparison of the different images of Landsat (5, 7 and 8) applying the OC2 algorithm

was made, showing the improvement obtained over the chlorophyll-a concentration resulting due to the highest resolution radiometric (12 bits) of Landsat-8.

Keywords: chlorophyll-a, lake Titicaca, landsat-8, MODIS, OC2, OC3, water quality.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los lagos oligotróficos, mediante el uso de la teledetección, se ha visto limitado por la falta de sensores que combinen los requerimientos adecuados de resolución espacial, radiométrica y espectral para la detección de los componentes ópticamente activos de los cuerpos de agua. La configuración mejorada de Landsat-8 abre nuevas posibilidades debido a su mayor resolución radiométrica (12 bits) y sus nuevas bandas (440 nm y 1370 nm) específicas para el estudio de los cuerpos de agua y la corrección atmosférica (Roy et al., 2014).

Por otra parte, los algoritmos OC2 y OC3 para la obtención de la concentración de clorofila a [Chl-a] (O'Reilly et al., 2000) utilizados por MODIS AQUA (Esaias, 1998), han sido determinados y validados mediante el uso de una gran base de datos mundial NOMAD (Werdell, 2005), y actualmente se consideran como un producto global de clorofila del océano.

El comportamiento espectral de los lagos oligotróficos es similar al del océano, por tanto, la obtención de [Chl-a], usando los algoritmos desarrollados para océano, también se puede aplicar en los lagos oligotróficos.

Con el objetivo de explotar las capacidades de Landsat-8 para los estudios limnológicos en lagos oligotróficos, los algoritmos OC2 y OC3 para la obtención de [Chl-a] han sido probados en un cuerpo de agua tropical singular: el lago Titicaca. Este

lago a gran altitud fue elegido, además de su interés intrínseco, por su gran tamaño, lo cual permite la comparación de la obtención de [Chl-a] de Landsat-8 con la de MODIS AQUA, la cual ha sido validada ampliamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lago Titicaca es un lago tropical de gran altitud (alrededor de 3809 m sobre el nivel del mar), ubicado en los Andes Centrales (15°47'S, 69°22'W), fronterizo entre Perú y Bolivia (Figura 1). El lago se compone de dos subcuencas casi independientes conectadas por el estrecho de Tiquina; la subcuenca de mayor tamaño (6450 km²) se denomina Lago Mayor, es profundo, con una profundidad media de 135 metros y una profundidad máxima de 284 m, mientras que la subcuenca más pequeña (2.112 km²), llamada Lago Menor, es menos profunda, con una profundidad media de 9 m y una profundidad máxima de 40 m.

Debido a la variabilidad de los componentes ópticamente activos en los lagos oligotróficos, se realizó una simulación con el modelo de transferencia radiativa HydroLight (Mobley, 1994) utilizando rangos realistas típicos de lagos oligotróficos de [Chl-a] (0-20 mg/m³), materia orgánica coloreada disuelta (CDOM : 0-1 m⁻¹) y en partículas en suspensión diferentes a las algas (NAP: 0-10 g/m³), generando una base de datos de reflectividades (Rrs) de alta resolución espectral (Figura 2). Esta base de datos de convolución a la respuesta espectral tanto de Landsat-8 (Figura 3) como de MODIS AQUA (Figura 4).

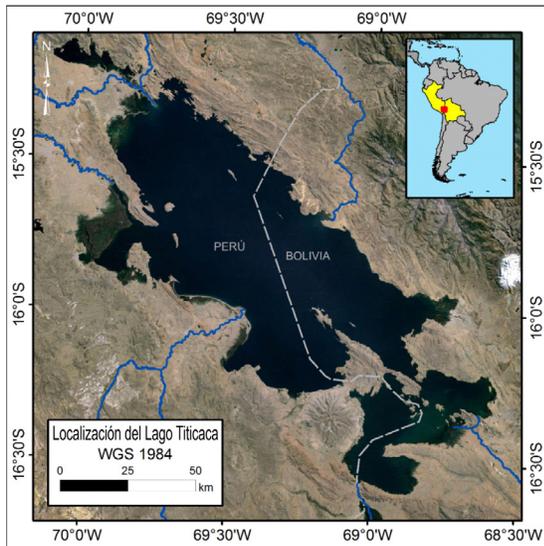


Figura 1. Localización del lago Titicaca

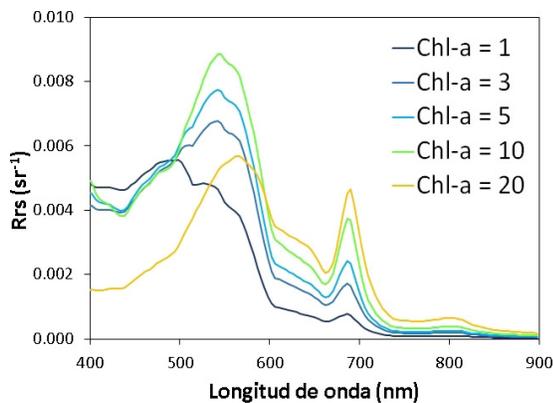


Figura 2. Ejemplos de espectros de reflectancia de alta resolución para diferentes [Chl-a] obtenidos mediante simulaciones con HydroLight

Los algoritmos de obtención de [Chl-a], OC2 y OC3 aplicables a lagos oligotróficos se calibraron para las bandas de Landsat-8 usando la base de datos de Rrs simulada en este trabajo. Para validar los algoritmos calibrados OC2 y OC3 se utilizó una serie temporal del 2013 del producto de clorofila de MODIS (4 km de resolución espacial) y el set de imágenes Landsat-8 correspondiente; las imágenes Landsat-8 fueron corregidas atmosféricamente utilizando la herramienta I2gen de SeaDAS (Vanhellemont and Ruddick, 2014).

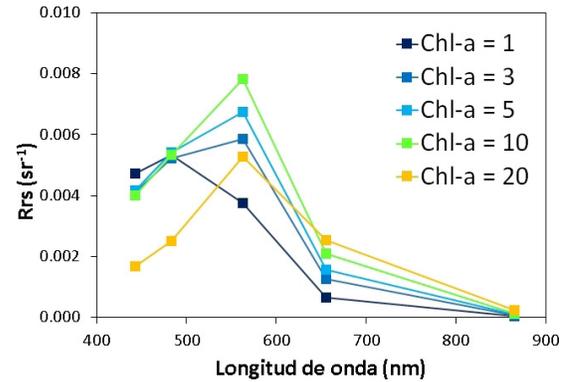


Figura 3. Ejemplos de los espectros de Rrs de las simulaciones HydroLight convolucionados a la respuesta espectral de Landsat-8

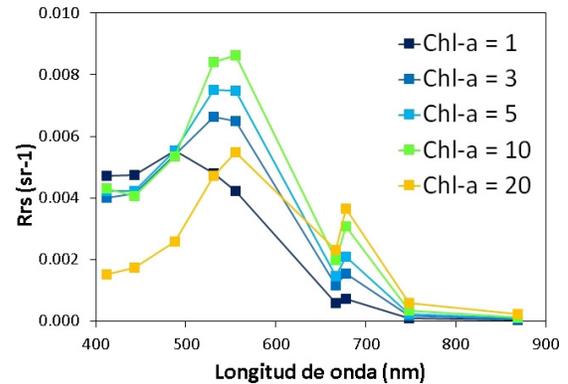


Figura 4. Ejemplos de los espectros de Rrs de las simulaciones HydroLight convolucionados a la respuesta espectral de MODIS AQUA

También se realizó una comparación con los coeficientes obtenidos recientemente a partir de la base de datos NOMAD para Landsat-8 ()

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la ecuación polinómica que define los algoritmos OC2 y OC3 (Tabla 1) a partir de la base de datos simulada, se determinaron los nuevos coeficientes para la aplicación de estos algoritmos en imágenes Landsat-8 (Tabla 2 y Figuras 5-7):

Tabla 1. Algoritmos OC2 y OC3 para Landsat-8

Algoritmo	X
OC3	$\log_{10}[\max(R_{443}; R_{rs483})/R_{rs561}]$
OC2443	$\log_{10}[R_{rs443}/R_{rs561}]$
OC2482	$\log_{10}[R_{rs482}/R_{rs561}]$

Tabla 2. Comparación de los coeficientes obtenidos con las simulaciones HydroLight (verde) y la base de datos NOMAD (naranja)

Alg.	a	b	c	d	E
OC3	0.7025	-2.5036	2.0304	-0.8339	
OC2443	0.5447	-1.7843	1.3003	-0.9225	
OC2482	0.7028	-2.4645	2.0511	-1.7756	
OC3	0.2412	-2.0546	1.1776	-0.5538	-0.4570
OC2482	0.1977	-1.8117	1.9743	-2.5635	-0.7218

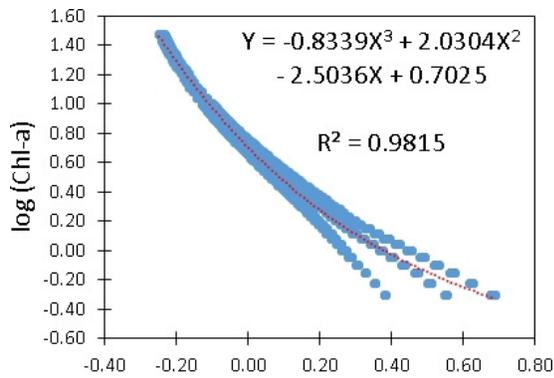


Figura 5. Calibración del algoritmo OC3 para las bandas de Landsat-8

$$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3 + e \cdot X^4$$

donde:

$$Y = \log_{10}[\text{Chl-a}]$$

Se realizó una validación indirecta utilizando los productos de [Chl-a] de MODIS y los mapas de [Chl-a] obtenidos aplicando los algoritmos a las imágenes de Landsat-8; los 30 puntos de validación (4 km²) fueron elegidos a lo largo del lago Titicaca, descartando los píxeles que pudieran contener mezcla agua-suelo (Figura 8).

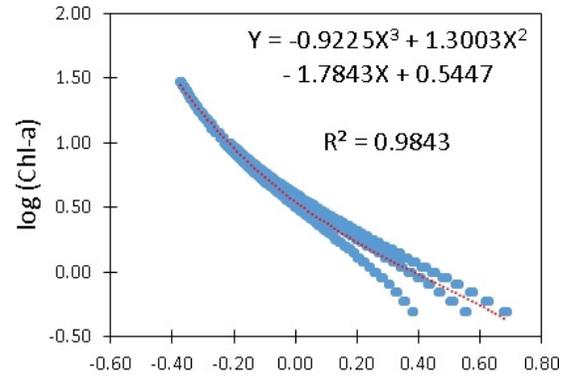


Figura 6. Calibración del algoritmo OC2443 para las bandas de Landsat-8

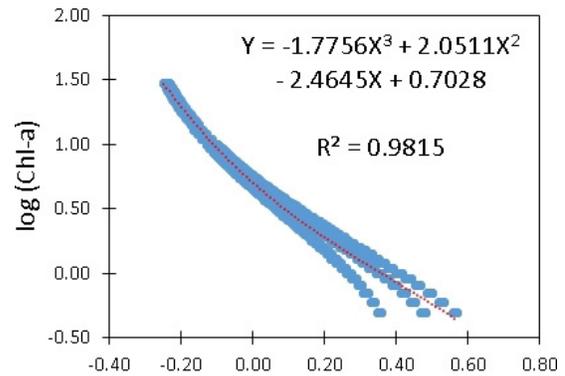


Figura 7. Calibración del algoritmo OC2482 para las bandas de Landsat-8

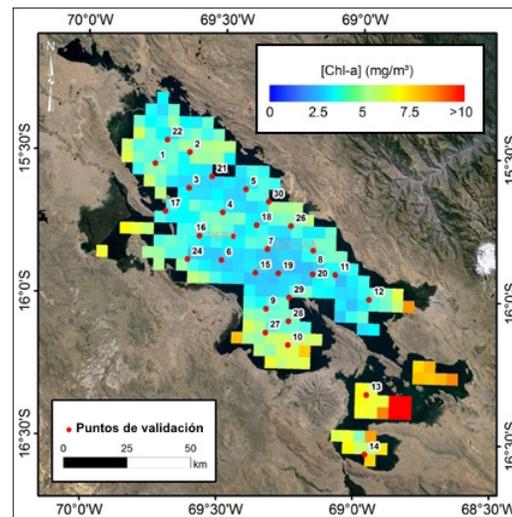


Figura 8. Puntos de validación sobre la imagen de Chl-a MODIS

Los algoritmos OC2 y OC3 calibrados con la base de datos NOMAD, produce resultados muy diferentes a los de MODIS, el cual utiliza un algoritmo de calibrado con la misma metodología y base de datos.

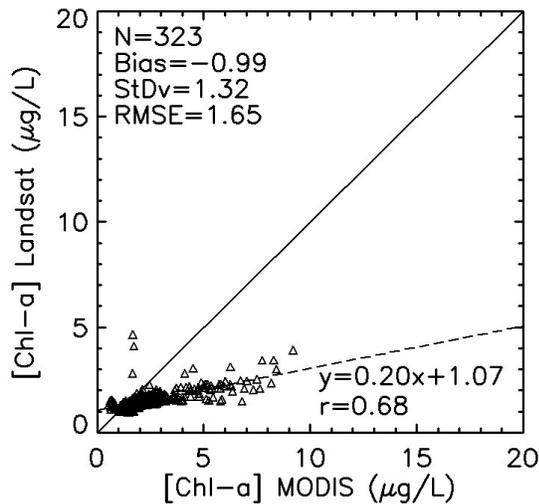


Figura 9. [Chl-a] obtenida para el algoritmo OC3 a partir de los coeficientes NOMAD

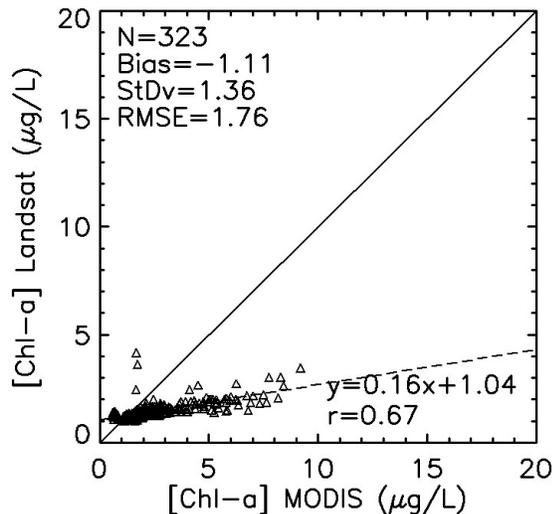


Figura 10. [Chl-a] obtenida para el algoritmo OC2482 a partir de los coeficientes NOMAD

Con las tres versiones del algoritmo calibrado con la simulación HydroLight se obtiene un ajuste razonable con MODIS [Chl-a] (Figura. 11-13); la tendencia de estos algoritmos es sobrestimar [Chl-a] en valores muy bajos. Los algoritmos OC3 y OC2₄₈₂ dan como resultado una pendiente cercana a 1, mientras que OC2₄₄₃ que utiliza la nueva banda del azul (443 nm), da, por lo general, errores más bajos.

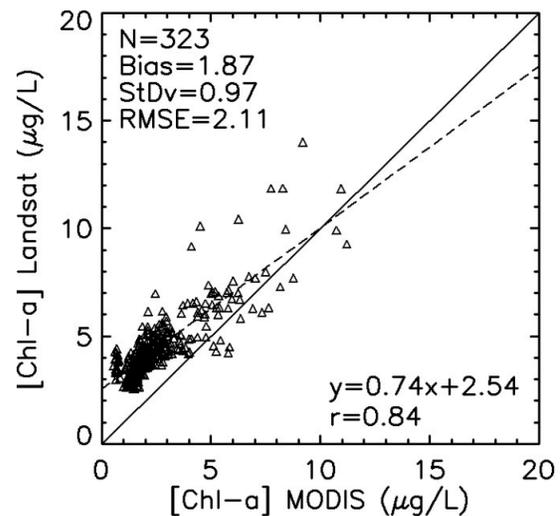


Figura 11. Obtención de [Chl-a] con el algoritmo OC3 a partir de los coeficientes de la simulación con HydroLight

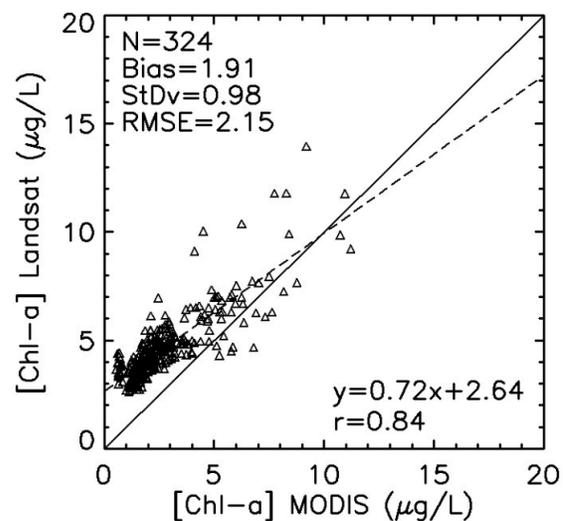


Figura 12. Obtención de [Chl-a] con el algoritmo OC2483 a partir de los coeficientes de la simulación con HydroLight

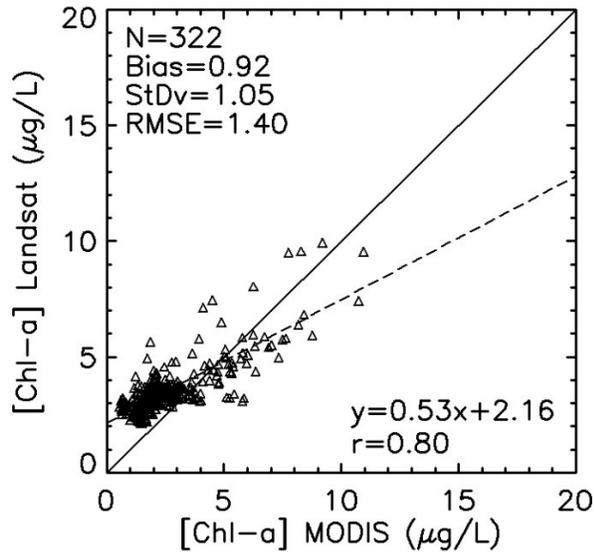


Figura 13. Obtención de [Chl-a] con el algoritmo OC2443 partir de los coeficientes de la simulación con HydroLight

Además, se hizo una comparación entre los mapas de [Chl-a] obtenidos con Landsat-8 y los obtenidos con Landsat-5 y 7 utilizando el algoritmo de OC2₄₈₂. Las Figuras 14, 15 y 16 muestran una mejora en los mapas de [Chl-a] de Landsat-8 debido a la resolución radiométrica de este comparada con los otros.

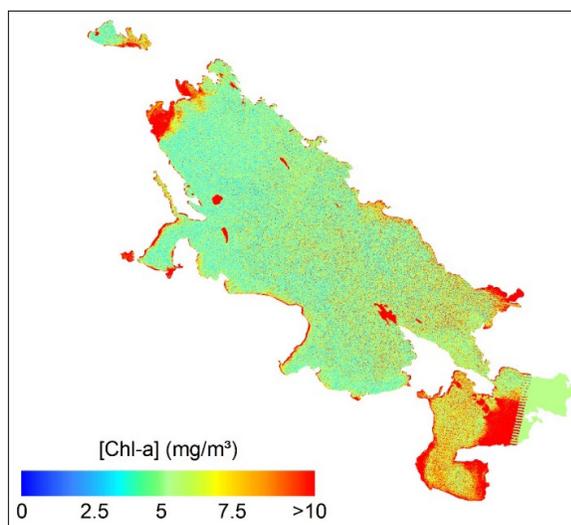


Figura 14. Mapa de [Chl-a] obtenido con Landsat-5 usando el algoritmo OC2483 calibrado con las simulaciones de HydroLight

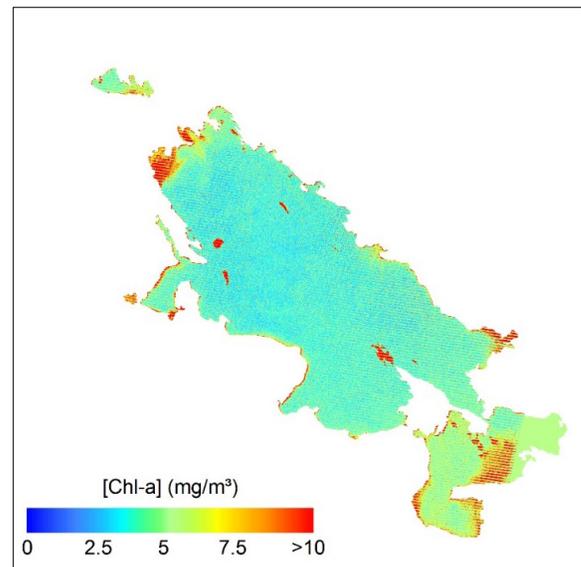


Figura 15. Mapa de [Chl-a] obtenido con Landsat-7 usando el algoritmo OC2483 calibrado con las simulaciones de HydroLight

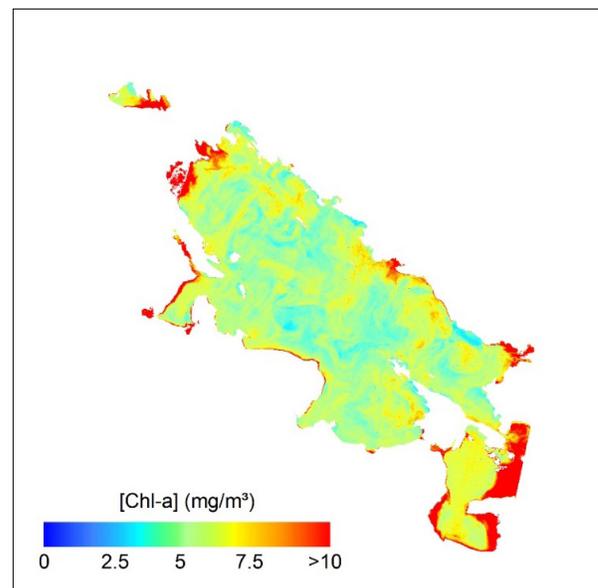


Figura 16. Mapa de [Chl-a] obtenido con Landsat-8 usando el algoritmo OC2483 calibrado con las simulaciones de HydroLight

CONCLUSIONES

En primer lugar, vale la pena señalar que el lago Titicaca es un sitio de prueba adecuado para la validación de algoritmos para lagos gracias a su tamaño y su bajo espesor óptico; teniendo en

cuenta ello, es importante resaltar que los algoritmos calibrados con simulaciones de HydroLight muestran una buena validación con el producto de [Chl-a] MODIS-AQUA de 4 km en el lago Titicaca, mientras que los algoritmos para la obtención de [Chl-a] con Landsat-8 de NOMAD muestran resultados pobres en comparación con MODIS. Por otro lado, la corrección atmosférica SeaDAS proporciona buenos resultados para la utilización de Landsat-8 en lagos oligotróficos.

Finalmente, se propone un nuevo conjunto de algoritmos Ocean Color para la obtención de [Chl-a] con Landsat-8 en lagos oligotróficos.

REFERENCIAS

- Esaias, W., et al. (1998). An overview of MODIS capabilities for ocean science observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 36(4), 1250-1265.
- Gordon, H. and Morel, A. (1983). Remote Assessment of Ocean Color for interpretation of Satellite Visible Imagery: A Review.
- Mobley, C.. (1994). *Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters*. Academic Press.
- O'Reilly, J., et al. (2000). Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4. *SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, Part, 3*, 9–23.
- Roy, D., et al. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 145, 154–172.
- Vanhellemont, Q. and Ruddick, K. (2014). Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 145, 105–115.