

## PROPUESTAS Y ACCIONES PARA EL MONITOREO REGIONAL SATELITAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Atencio, Adrián G.<sup>1</sup>; Bazán, Raquel<sup>2</sup>; Bonansea, Matías<sup>3</sup>; Bordet, Facundo<sup>4</sup>; Caso, Matías<sup>5</sup>; Collado, Ramiro<sup>1</sup>; Drozd, Andrea<sup>4</sup>; Ferral, Anabella<sup>6</sup>; German, Alba<sup>6</sup>; Minotti, Priscilla<sup>7</sup>; Muchiut, Jonathan<sup>2,8</sup>; Nemiña, Francisco<sup>6</sup>; Othaz Brida, Ayelén<sup>5</sup>; Pérez, Gonzalo<sup>9</sup>; Quaini, Karina<sup>10</sup>; Redlich, Micaela<sup>11</sup>; Rodríguez, Andrés<sup>2,8</sup>; Rodríguez, María I.<sup>12</sup>; Rossen, Ariana<sup>12</sup>; Ruibal Conti, Ana<sup>12</sup>; Ruiz, Marcia<sup>12</sup>; Rydzewski, Ana<sup>12</sup>; Sánchez Valdivia, Ayelén<sup>9</sup> & Shojjet, Verónica<sup>13</sup>

<sup>1</sup>DGI Dpto Gral de Irrigación de la Pcia de Mza; <sup>2</sup>UNC Univ. Nacional de Cba, FCEfYN Fac. de Cs Exactas, Físicas y Naturales; <sup>3</sup>ICBIA Inst. de Cs de la Tierra Biodiversidad y Ambiente CONICET, UNRC Univ. Nacional de Río Cuarto; <sup>4</sup>CTM - Comisión Técnica Mixta de Salto Grande; <sup>5</sup>AIC Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro; <sup>6</sup>CCTC CONICET Centro Científico Tecnológico Cba del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, IG Inst. de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich; <sup>7</sup>UNSAM Univ. de San Martín, EHyS Escuela de Hábitat y Sustentabilidad 3iA Inst. de Investigación e Ingeniería Ambiental; <sup>8</sup>IDIT Inst. de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología; <sup>9</sup>GESAP Grupo de Ecología de Sistemas Acuáticos a Escala de Paisaje, INIBIOMA Inst. de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente CONICET, UNCo Univ. Nacional del Comahue; <sup>10</sup>MAYDS Minist. de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación; <sup>11</sup>ACUMAR Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo; <sup>12</sup>INA Inst. Nacional del Agua; <sup>13</sup>CEPROCOR Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Cba. Argentina

E-mail [andres.rodriguez@unc.edu.ar](mailto:andres.rodriguez@unc.edu.ar); [mirodriguez@ina.gob.ar](mailto:mirodriguez@ina.gob.ar); [raquel.bazan@unc.edu.ar](mailto:raquel.bazan@unc.edu.ar); [mbonansea@ayv.unrc.edu.ar](mailto:mbonansea@ayv.unrc.edu.ar); [mcaso@aic.gob.ar](mailto:mcaso@aic.gob.ar); [aferral@conae.gov.ar](mailto:aferral@conae.gov.ar); [pminotti@unsam.edu.ar](mailto:pminotti@unsam.edu.ar); [gonzalopez@comahue-conicet.gob.ar](mailto:gonzalopez@comahue-conicet.gob.ar); [kquaini@ambiente.gob.ar](mailto:kquaini@ambiente.gob.ar); [aatencio@irrigacion.gov.ar](mailto:aatencio@irrigacion.gov.ar)

### Introducción

Las floraciones algales nocivas (FAN) asociadas a fuentes de agua de potabilización requieren ser monitoreadas frecuentemente. Para poder anticipar situaciones y desarrollar medidas de gestión acordes, el desarrollo de algoritmos que vinculan los muestreos puntuales de agua con información satelital se presentan como una solución apropiada para el seguimiento de las variables de calidad de agua y en Argentina se cuenta ya con experiencias exitosas (Bonansea, 2021; Dogliotti, 2021; Ferral, 2017; German, 2020, entre otros). El presente trabajo, desarrollado en el marco del proyecto PROSAT II<sup>1</sup>, tiene como objetivo contribuir en la elaboración de herramientas aplicables a cuerpos de agua superficiales destinados a la provisión de agua para consumo humano, integrando la información de sensores satelitales activos y pasivos con datos de campo, con énfasis en el seguimiento de las floraciones algales. Se presentan resultados obtenidos para los cuerpos de agua analizados, producto del trabajo conjunto de equipos de distintas instituciones y coordinado por el INA.

### Áreas de Estudio y Metodologías

Se seleccionaron y agruparon 10 cuerpos de agua en función de sus antecedentes de floraciones algales, existencia de programas de monitoreo, su uso como fuente de abastecimiento de agua para potabilización y ubicación geográfica: Grupo 1: Embalses San Roque, Salto Grande, Mtro Pistarini (Río III) y Lago Moreno. Grupo 2: Embalses El Carrizal, Ramos Mexía, Los Molinos y Lago Nahuel Huapi. Grupo 3: Lago Gutiérrez y Río de la Plata. La herramienta a desarrollar es una aplicación web que muestra mapas del estado de las variables de calidad de agua relevantes para el seguimiento de las FAN. El enfoque metodológico involucró tres componentes: 1) obtención de datos de campo de calidad de agua y de radiometría, 2) desarrollo de algoritmos para estimación de variables asociados a la calidad de agua en función de variables espectrales y 3) caracterización del soporte WEB-GIS para la disponibilidad y visualización de mapas de productos satelitales. Se realizaron además 7 talleres técnicos con el objeto de introducir a los diferentes equipos en el monitoreo e impacto de las FAN, procesamiento de imágenes y obtención de mapas temáticos de indicadores de calidad de agua. Se recopilaron los antecedentes

y bases de datos de calidad de agua de cada reservorio y se propusieron diseños de monitoreo esenciales (ME) para cada uno de ellos. Se consideraron 7 variables esenciales (VE): nivel del cuerpo de agua (m), concentración de clorofila-*a* (Cl-*a*, µg/L), temperatura superficial del agua (°C), transparencia del disco de Secchi (DS, m), turbidez (NTU), sólidos suspendidos (SS, mg/L) y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM, *colored dissolved organic matter*, m<sup>-1</sup>). Las VE Cl-*a*, SS y CDOM fueron determinadas en laboratorio, el resto de las variables fueron medidas *in situ*. Los ME se realizaron preferentemente en fechas coincidentes con el paso de los satélites Landsat 8, Landsat 9 y/o Sentinel-2 A y B por el área de estudio. Al menos en una ocasión, en cada uno de los cuerpos de agua (excepto el Río de La Plata), se efectuaron mediciones con radiómetro de campo (ASD, Field Spectroradiometer 350-2500 nm de CONAE) con el fin de clasificar los diferentes cuerpos de agua según su comportamiento óptico, detectar pigmentos específicos de diferentes especies algales y elegir los algoritmos de correcciones atmosféricas que mejor se adecúan a cada caso de estudio. Durante el período marzo 2022-2023 se totalizaron 70 campañas con unas 2500 mediciones *in situ* y determinaciones de laboratorio, con mediciones radiométricas hechas por primera vez en las aguas de El Carrizal, Los Molinos, Ramos Mexía, Moreno y Gutiérrez. Se realizaron pruebas de concepto de mapeo de las VE a partir de algoritmos que relacionan las mediciones a campo con datos espectrales satelitales. Para algunos cuerpos de agua ya había algoritmos disponibles, por lo que se desarrollaron otros nuevos que fueron calibrados y validados, a fin de tener cubiertos todos los cuerpos de agua y VE. Se desarrolló código en lenguaje R para el procesamiento de imágenes satelitales, la aplicación de algoritmos y la generación de mapas temáticos de la dinámica espacio-temporal de las variables analizadas en toda la superficie de los cuerpos de agua. Para el desarrollo del soporte WEB-GIS, se relevaron necesidades y requerimientos de usuarios en relación a los productos a través de una encuesta a distintos organismos y la revisión de plataformas disponibles a nivel global. Se propusieron los diagramas de flujo para generar productos de VE derivados de los satélites Landsat 8, Sentinel-2 A y B, MODIS-TERRA, Sentinel-1 y SAOCOM A y B con sus protocolos de descarga, procesamiento de imágenes y producción de mapas temáticos.

### Resultados y Conclusiones

Se presentan algunos de los resultados obtenidos de las actividades y tareas técnicas de cada componente.

<sup>1</sup> PROSAT II- ARG. Programa de Desarrollo de Tecnologías Satelitales-BID N° 4840/OC- "Desarrollo de sistema geoespacial para el monitoreo de la calidad de cuerpos de agua interiores destinados a potabilización".

**Comparaciones de CDOM:** En la Figura 1, se ordenan los distintos cuerpos de agua estudiados de mayor a menor en relación a los valores promedios de CDOM a 440 nm. Se observa una marcada diferencia en la concentración de CDOM que refleja la variabilidad intrínseca que caracteriza a los cuerpos de agua continentales.

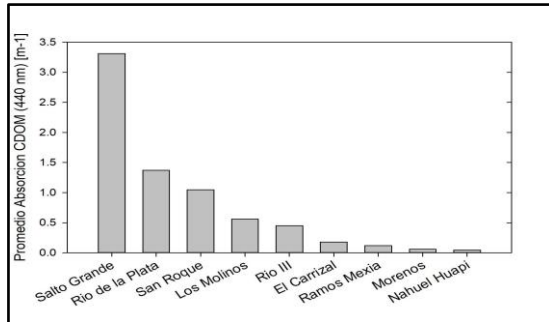


Figura 1: Valores promedios de CDOM a 440 nm.

**Caracterización espectral:** La Figura 2 presenta los espectros de reflectancia en los puntos centrales obtenidos para 8 cuerpos de agua. Se observan patrones similares para los tres embalses de Córdoba y el Carrizal, con abundancia de fitoplancton y ocurrencia de cianobacterias (picos a 540, 714 y 820 nm). El embalse San Roque se distingue de los otros por su máxima reflectancia a 710 nm, típico de altas concentraciones de algas en superficie, mientras que Salto Grande presenta un perfil típico de aguas turbias, esperable para el invierno.

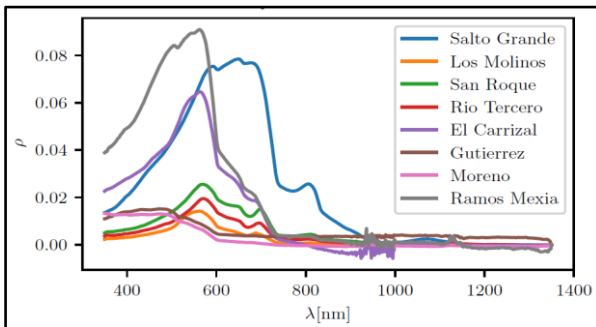


Figura 2. Espectros de reflectancia en los puntos centrales obtenidos en simultáneo con los ME y paso de algunos de los 4 satélites de interés.

**Aplicación de algoritmos de variables de calidad del agua:** Se recopilaron 18 algoritmos calibrados con imágenes ópticas y validados: Cl-a y temperatura: San Roque (5), Salto Grande (5), Río Tercero (5); CDOM y temperatura: Moreno (2); CDOM: Nahuel Huapi (1). Se propusieron nuevos algoritmos para los embalses Los Molinos (Cl-a) y El Carrizal (Cl-a), Río III (DS), y Ramos Mexía (temperatura y DS). La Figura 3 muestra la prueba de concepto para Cl-a en el embalse Los Molinos.

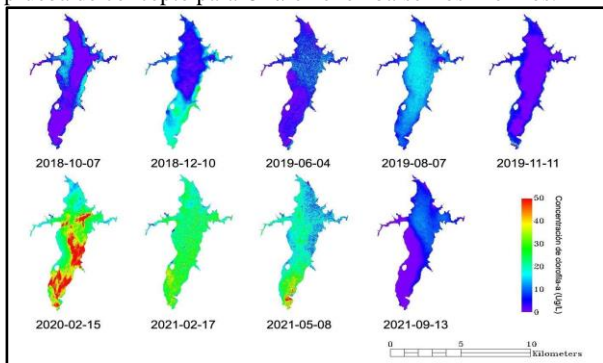


Figura 3. Mapas de distribución de Cl-a en el embalse Los Molinos construidos a partir de una serie de imágenes Landsat 8.

**Implementación de información SAR:** La extracción de la superficie del cuerpo de agua a partir de imágenes SAR SAOCOM y Sentinel-1 demostró ser una buena alternativa para estimar y completar información en series de tiempo de nivel del agua, en embalses o lagos que presentan alta nubosidad para el uso de imágenes ópticas (Figura 4).

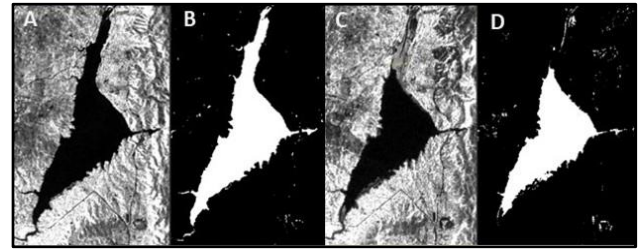


Figura 4. Recorte de escena de imagen SAOCOM en banda HV del Embalse San Roque 1º/03/2022, aguas altas (A) y del 29/12/2020, aguas bajas (B). (C) y (D) máscaras binarias obtenidas en ambas condiciones en función del umbral (Intensidad Sigma HV ≤ 0,05 | Intensidad Sigma HH ≤ 0,17 → AGUA).

**Desarrollo de soporte WEB-GIS:** Alrededor de 60 organismos respondieron la encuesta a potenciales usuarios de la herramienta, destacando un aumento de los eventos de floraciones algales, seguido de problemáticas por sedimentos y mortandad de peces. Muchos de los problemas identificados requieren la determinación de ciertas VE factibles de ser monitoreadas con imágenes satelitales ópticas.

Los flujos de información desarrollados en las pruebas de concepto serán fundamentales para la futura implementación operativa del WEB-GIS, cuya finalidad será poner a disposición mapas de productos satelitales referidos a la calidad del agua de los ambientes en estudio.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto constituyen un gran aporte con relación a la adquisición de datos de campo e información satelital. Se destaca, además, como un gran logro la coordinación y complementación técnica y operativa de más de 10 instituciones gubernamentales y centros de I+D cuyos profesionales abocados al proyecto conformaron un equipo integrado de trabajo, fortaleciendo las capacidades individuales en el área del desarrollo de algoritmos a medida y validación con datos de campo.

**Referencias**

Bonanse, M., Bazán, R., German, A., Ferral, A., Beltramone, G., Cossavella A. and L. Pinotti (2021) "Assessing land use and land cover change in Los Molinos reservoir watershed and the effect on the reservoir water quality". *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103243.

Dogliotti, A. I., Gossn, J. I., Gonzalez, C., Yema, L., Sanchez, M. L. and I. O'Farrell (2021) "Evaluation of multi- and hyper-spectral chl-a algorithms in the Río de la Plata turbid waters during a cyanobacteria bloom" *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 7442-7445.

Ferral, A., Solis, V., Frery, A., Orueta, A., Bernasconi, I., Bresciano, J. and M. Scavuzzo (2017) "Spatio-temporal changes in water quality in an eutrophic lake with artificial aeration". *Journal of Water and Land Development*, 35(1), 27-40.

German, A., Andreo, V., Tauro, C., Scavuzzo, M. and A. Ferral (2020) "A novel method based on time series satellite data analysis to detect algal blooms". *Ecological Informatics*, 59, 101131.

**Agradecimientos**

Al presidente del INA Dr J. C. Bertoni; a la CONAE Ing. M. Uriburu Quirno, Dr M. Scavuzzo, I. Tropper, P. Rivolta, J. Lezama, S. Heredia; APRHi Cba: P. O'Mill, M. Roqué, H. Calvimonte; Municipalidad de VCP: V. Martínez y L. Venturi; GESAP; DUAR; Patrulla del Río (Gob. Pcia Cba) y a la RIIGLO (Red de Intercambio de Información de los Gob. Locales de la zona costera del Río de la Plata).