



## Selección de puntos de muestreo para aplicaciones de teledetección satelital en cuerpos de agua en Gran Resistencia

Gauto, V.<sup>ab</sup>; Farías, A.<sup>a</sup>; Hervot, E.<sup>a</sup>; Tenev, D.<sup>a</sup>; Utgés, E.<sup>a</sup>; Ferral, A.<sup>bd</sup>; Germán, A.<sup>bcd</sup>;  
Contreras, I.<sup>d</sup>; Paira, A.<sup>d</sup>

a. GISTAQ, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia

b. Instituto Gulich, Universidad Nacional de Córdoba & CONAE

c. Departamento de Geografía, FFyH, Universidad Nacional de Córdoba

d. CONICET

victor.gauto@ca.frre.utn.edu.ar

### **Resumen**

El Gran Resistencia, cuenta con numerosos cuerpos de agua pequeños cuya presencia y tamaño varían con las precipitaciones y los meandros, a lo largo del recorrido del río Negro, afluente del Paraná. El estudio y monitoreo continuo de las características de este recurso es de importancia para su conservación. Sin embargo, la gran cantidad de cuerpos, no siempre del todo accesibles, y un consumo considerable de recursos dificulta el muestreo de campo constante para el seguimiento del estado de salud de los cuerpos de agua. El objetivo de este trabajo es introducir una herramienta alternativa, la teledetección satelital, que permite el estudio de grandes áreas de interés de manera remota. Emplea sensores de radiación electromagnética montados en plataformas satelitales que brindan información del comportamiento espectral de la superficie del planeta. Se realizó un relevamiento general de los cuerpos de agua locales. Se tuvieron en cuenta diversos aspectos como superficie cubierta, potenciales puntos de muestreo, características espectrales, variación en el tiempo y consideraciones logísticas. Se seleccionaron dos sitios de interés, representativos de aguas lénticas y lótic. Luego, con un análisis específico para cada sitio, se definieron los puntos geográficos para una posterior toma de muestras. Para ello, se emplearon imágenes de la misión satelital Sentinel-2, productos validados de recurrencia y cambio de la cobertura de agua e índices normalizados. Se generaron máscaras que identifican los cuerpos de interés y mapas de su respuesta espectral. Parte del procesamiento se llevó a cabo en la plataforma web Google Earth Engine.

### **Abstract**

Gran Resistencia has numerous small bodies of water whose presence and size vary with rainfall and meandering along the course of the Negro River, a tributary of the Paraná. The continuous study and monitoring of the characteristics of this resource is important for its conservation. However, the substantial number of bodies, not always fully accessible, and a considerable consumption of resources makes constant field sampling, for monitoring the health status of water bodies, difficult. The objective of this work is to introduce an alternative tool, satellite remote sensing, which allows the study of large areas of interest remotely. It uses electromagnetic radiation sensors mounted on satellite platforms that provide information on the spectral behavior of the planet's surface. A general survey of local water bodies was carried out. Several aspects were considered, such as surface area covered, potential sampling points, spectral characteristics, time variation and logistical considerations. Two sites of interest, representative of lentic and lotic waters, were selected. Then, with a site-specific analysis, geographic points for further sampling were defined. For this, images from the Sentinel-2 satellite mission, validated recurrence and water cover change products and normalized indices were used. Masks identifying the bodies of interest and maps of their spectral response were generated. Part of the processing was carried out in the Google Earth Engine web platform.

**Palabras clave:** Aguas interiores, teledetección, Sentinel-2, muestreo.



## INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas definen en sus Objetivos para el Desarrollo Sostenible la importancia de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua [1]. Para tales fines, la teledetección se ha convertido en una herramienta indispensable para el estudio de los cuerpos de agua [2].

El alto impacto antrópico es causante de la gran degradación de los cuerpos de agua, sumado a las perturbaciones de fenómenos globales como el calentamiento global, que también se replican en Argentina [3]. Investigaciones en teledetección aplicada a la calidad de agua han ido incrementándose en los últimos años [4], verificando la viabilidad del uso de sensores satelitales [5] y con el desarrollo de algoritmos para estimar diferentes parámetros [6]–[8].

En la provincia del Chaco, el Río Negro atraviesa el área metropolitana del Gran Resistencia (AMGR) en un recorrido sinuoso. Las lluvias intensas y los cambios de caudal generan modificaciones en su cauce dando lugar a la formación de pequeñas lagunas. Dada la cercanía de estos cuerpos de agua al AMGR su estudio es de importancia, sin embargo, su gran número y las condiciones del terreno muchas veces imposibilitan el muestreo y análisis constante de la calidad de agua. Por lo tanto, debe seleccionarse cuidadosamente qué cuerpos de agua monitorear.

La selección de los cuerpos de agua y de los puntos de muestreo es una tarea de importancia crítica, ya que las investigaciones posteriores, como el desarrollo de algoritmos semiempíricos, se verán afectadas negativamente si ésta no es la adecuada.

El presente trabajo muestra el proceso de selección de los cuerpos de agua característicos de la zona, su justificación, la cantidad y ubicación exacta de los sitios de muestreo. Para ello, se empleó la colección de imágenes Sentinel-2 a través de la plataforma web Google Earth Engine (GEE), el producto Global Surface Water (GSW) y diversos índices espectrales. Estos puntos muestrales serán usados para el proyecto de investigación “Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas continentales para la evaluación de la utilización de algoritmos en el monitoreo satelital de la calidad del agua” (código MSPPBRE0008091), llevado a cabo por el Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos (GISTAQ), ubicado en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia (UTN-FRRe).

## CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La figura 1 muestra la región de estudio, el AMGR, al noreste del país en la provincia del Chaco, marcado con una estrella en el mapa de Argentina.

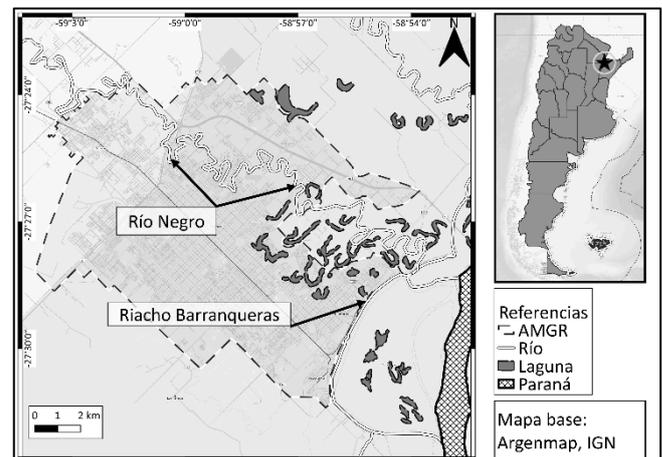


Figura 1: Región de interés.

Puede verse el recorrido del Río Negro atravesando el AMGR. Al este, la costa del Río Paraná, que limita con la Provincia de Corrientes, y un brazo de éste, el riacho Barranqueras. El AMGR está comprendido por cuatro localidades: Resistencia, ciudad capital de la Provincia del Chaco; Barranqueras, Puerto Vilelas y Fontana. El agua superficial de la figura 1 son representaciones generales. La cantidad, tamaño y distribución de las lagunas varía de acuerdo con la intensidad de las lluvias, períodos de sequía, cambios en el caudal del Río Negro, inundaciones, etc.

El AMGR está emplazado en el valle de inundación del río Paraná. Se desarrolla principalmente en el interfluvio del río Negro y el riacho Arazá, sobre un territorio de muy suave pendiente noroeste-suroeste; esto da lugar a un drenaje indeciso de esos cursos, con frecuentes desvíos en su recorrido, dejando cauces abandonados, restos de antiguos meandros, casi siempre cubiertos de vegetación [9]. Este espacio contenía 80 lagunas, las cuales fueron rellenadas por la urbanización y actualmente sólo quedan 29. Actualmente, AMGR posee un sistema de defensas, desagües pluviales y estaciones de bombeo garantizando la seguridad hídrica del territorio [10].

El Río Negro tiene su inicio en el Riacho Nogueira, un cauce inactivo que se extiende en rumbo noroeste-sureste. Su curso definido comienza al sur del Estero del Río Negro, hasta



su desembocadura en el río Tragadero, al que se une para desaguar en el riacho Barranqueras y finalmente en la margen derecha del río Paraná [11]. El río Negro, al igual que el río Tragadero, desborda al aumentar el caudal por el avance del Paraná sobre su cauce y, conjuntamente el sistema de lagunas laterales eleva su nivel por saturación de las napas subterráneas [12]. Este caudal está influenciado también por las precipitaciones, 1300 mm anuales, el 80% se concentra en los meses de verano y otoño.

El clima del Chaco es tropical semiárido a tropical húmedo. Está caracterizado por un intercambio permanente de masas de aire tropical y austral. Durante períodos de viento norte, la temperatura puede subir a 40°C o más en una hora, incluso durante los meses frescos de agosto y septiembre. Las lluvias son generalmente intensas y pertenecen a dos tipos de precipitación: frontal, producida por el avance de masas de aire frío del sur o caliente del norte; y de convección, originadas en procesos convectivos locales dentro de una masa de aire tropical húmedo estacionada sobre la región, particularmente en verano [13].

Para este trabajo, se dividieron las aguas superficiales interiores en cuerpos de agua lénticos y cursos de agua lóticos, y luego se seleccionó un ejemplar de cada uno para los muestreos posteriores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la dinámica hidrológica

Para determinar los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio se empleó el set de datos Global Surface Water (GSW) [14], de descarga gratuita. El mismo cuenta con múltiples productos de 30 m de resolución espacial, obtenidas a partir de la misión Landsat (NASA) que permite identificar la presencia de agua superficial, su recurrencia y estacionalidad a lo largo de extensos períodos de tiempo. GSW toma datos históricos desde 1984 hasta 2020 y sus resultados están validados [14]. En el presente trabajo se emplearon tres productos de GSW:

- GSWR (GSW Recurrencia) muestra la dinámica global del agua, teniendo en cuenta los cambios y la variabilidad anual e interanual. GSWR es una medida de la frecuencia en la presencia de agua, expresada como el porcentaje de observaciones en las hubo identificación de agua. Considera las variaciones en la adquisición de las observaciones, ofreciendo un producto

consistente de la dinámica del agua en superficie, a lo largo del tiempo. GSWR varía de 1% a 100%.

- GSWE (GSW Estacionalidad) brinda información respecto del comportamiento intra anual del agua en superficie. Distingue de los cuerpos de agua permanentes, considerados como aquellos que han estado presente durante todo el tiempo de observación, usualmente un año; de aquellos estacionales, presentes durante una parte del año. El grado de estacionalidad en GSWE se representa como la proporción de meses en los que hay agua presente. GSWE toma valores de 1 mes a 12 meses.

- GSWC (GSW Cambio) indica el cambio en la intensidad de ocurrencia de agua. Muestra los sitios en donde la ocurrencia de agua se incrementó, disminuyó o se mantuvo constante, entre 1984 y 2020. Se obtiene la intensidad del cambio y su dirección (aumento, disminución o sin cambios). Para brindar un producto consistente de la medición del cambio, se consideran las variaciones en la adquisición de información en el tiempo. GSWC toma valores de -100% (pérdida de agua) a +100% (incremento de agua). Valores cercanos a 0% indican poca variación de cambio.

### Índices espectrales

La zona de estudio presenta cuerpos de agua pequeños, por lo que es conveniente contrastar los productos GSW con la información espacial obtenida mediante un sensor de mejor resolución espacial. La misión Sentinel-2, desarrollada por la Agencia Espacial Europea, consiste en una constelación de dos plataformas satelitales. El sensor instalado en ambos es el MultiSpectral Instrument (MSI), capaz de capturar imágenes en 13 bandas espectrales, a una máxima resolución de 10m en las longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano. El tiempo de revisita es de 5 días para la zona de estudio. El acceso a las imágenes es de manera gratuita desde la web Copernicus Open Access Hub. El producto seleccionado es nivel L2A, imágenes corregidas atmosféricamente, en reflectancia de superficie.

El índice normalizado modificado de diferencia de agua (MNDWI) [15] permite esta identificación, que surge como modificación del índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI), pero que emplea las bandas espectrales correspondientes a la reflectancia de teledetección ( $R_t$ ) del verde y el infrarrojo medio (SWIR), según la ecuación 1.

$$MNDWI = \frac{R_t(verde) - R_t(SWIR)}{R_t(verde) + R_t(SWIR)} \quad (1)$$



Por definición, los valores de MNDWI están comprendidos entre -1 y +1. Los píxeles con altos valores de MNDWI son identificados como agua y los de valores bajos, como suelo desnudo y áreas urbanas. A partir del MNDWI se puede hacer una clasificación binaria que separe los píxeles de agua de aquellos que no lo son, mediante un valor límite que se obtiene a partir del estudio del histograma de este índice espectral. La resolución espacial del MNDWI es de 20 m por la resolución nativa de la banda del SWIR.

Dado que se pretende tomar muestras frecuentemente de los cuerpos de agua seleccionados, es importante que éstos no se encuentren cubiertos de vegetación o algas la mayor parte del tiempo. Para ello se empleó el índice normalizado de diferencia de clorofila (NDCI) [16]. Este índice permite estimar la concentración de clorofila-a en agua y la presencia de bloom algales, similar al NDVI para la estimación de vegetación sobre el suelo terrestre. El NDCI emplea las bandas correspondientes a las  $R_t$  de los 708 nm y 665 nm, según la ecuación 2.

$$NDCI = \frac{R_t(708\text{ nm}) - R_t(665\text{ nm})}{R_t(708\text{ nm}) + R_t(665\text{ nm})} \quad (2)$$

Valores altos de NDCI reflejan altas concentraciones de clorofila-a en los cuerpos de agua.

### Google Earth Engine

Para comparar resultados, se propone calcular los mencionados índices MNDWI y NDCI utilizando la información obtenida por Sentinel-2 para todo el año 2020, obteniendo productos que engloben todo el año.

La recopilación de las imágenes de 2020 se llevó a cabo en la plataforma web Google Earth Engine (GEE) [17]. GEE está basado en el lenguaje de programación JavaScript; ofrece de manera gratuita colecciones enteras de datos de diferentes misiones satelitales, procesamiento en la nube, algoritmos de aprendizaje automático y descarga de productos. Estas características hacen de GEE una herramienta de gran utilidad en aplicaciones de teledetección [18].

El procesamiento en GEE fue el siguiente: se establecieron los límites espaciales (AMGR) y temporales (año 2020) de análisis y luego se aplicó un filtro que remueve aquellos resultados que presentan nubes. El filtro emplea la máscara de nubes presente en el producto con nivel del procesamiento L1C (reflectancia a tope de atmósfera) de Sentinel-2, que permite identificar nubes opacas (densas) y cirrus, de píxeles libres

de nubes, con resolución espacial de 60 m. Las imágenes resultantes fueron recortadas a la región de estudio y se calcularon los índices, para cada adquisición. Posteriormente, se obtuvo la imagen promedio de MNDWI y NDCI. Es decir, cada píxel es el valor medio entre todos los píxeles del índice a lo largo de 2020. La imagen MNDWI media fue clasificada de manera binaria en agua y no-agua, generando así una máscara. Ésta fue aplicada sobre la imagen resultante NDCI para considerar únicamente las aguas interiores. Se obtuvieron finalmente dos productos:

-MNDWI<sup>P</sup>: imagen media de 2020, binaria de agua/no-agua a partir del MNDWI.

-NDCI<sup>P</sup>: imagen media de 2020 de NDCI, únicamente sobre agua.

### Criterios

Se seleccionaron un ejemplar de cuerpo de agua lótico y un ejemplar de curso de agua léntico.

Los criterios de selección incluyen la interpretación de los productos GSW<sup>E</sup>, GSW<sup>C</sup> y GSW<sup>R</sup>; el tamaño y la forma general del cuerpo de agua; la logística, como ser la cercanía al lugar de trabajo (UTN-FRRe) y accesibilidad al cuerpo propiamente dicho, presencia de caminos y el estado de estos.

Una vez seleccionado el ejemplar lótico y léntico, se definieron la cantidad y ubicación exacta de los puntos muestrales. El muestreo se llevará a cabo en un proyecto posterior, con análisis de imágenes Sentinel-2, a máxima resolución espacial de 10 m, disponible para las bandas espectrales del visible y el infrarrojo cercano. Cada punto de muestreo se considera representativo de un único píxel dentro de la imagen, por lo que se ubicaron en los centros de los píxeles.

Para definir la cantidad de puntos muestrales, se consideró la distancia entre puntos para que exista una variación espacial de los indicadores de calidad de agua; la separación del píxel con su alrededor, asegurando que estén rodeados de píxeles clasificados como agua para evitar el efecto de adyacencia [19]; y la capacidad del laboratorio para llevar a cabo el análisis físicoquímico de la cantidad de muestras que se recogerán.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

El procesamiento en la nube llevado a cabo en GEE arrojó 142 imágenes disponibles para todo

el período 2020. Luego de descartar aquellas que poseían nubes en la región de estudio, quedaron 78 con las que se procedió a obtener MNDWI<sup>P</sup> para detectar agua en superficie y NDCI<sup>P</sup>.

### Cuerpo de agua lóxico

En la figura 2 pueden verse los polígonos correspondientes a los cuerpos de agua (gris oscuro) definidos por MNDWI<sup>P</sup> sobre el AMGR (escala de grises). El índice MNDWI ha sido empleado para extraer cuerpos de agua en regiones urbanas, obteniéndose resultados precisos [20], incluso al compararlos con otras herramientas, como sensores SAR [21].

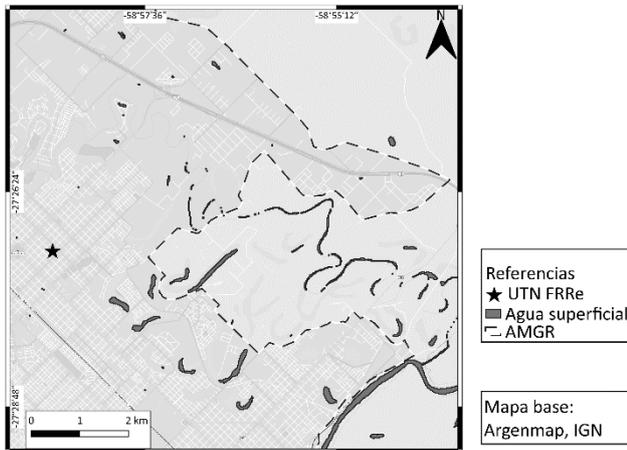


Figura 2: Agua superficial, acorde a MNDWI<sup>P</sup>

La mayoría del agua en superficie se encuentran en la parte media este del AMGR, por lo que se hará foco principalmente en esta sección.

La estrella en la figura 2 marca la ubicación de la UTN-FRRe, ya que la distancia a los cuerpos de agua para su muestreo es de importancia logística, y fue tenida en cuenta para la elección.

La figura 3 muestra en detalle algunos cuerpos de agua del área de estudio. La escala de grises indica el valor de NDCI en cada píxel del polígono, resultado de aplicar MNDWI<sup>P</sup> sobre la imagen NDCI promedio. La escala de NDCI varía de tonalidades oscuras para valores bajos, a tonos claros para valores altos. La estimación de la presencia de algas mediante NDCI ha demostrado ser una herramienta precisa [22].

Se inspeccionaron los cuerpos de agua presentes en la escena y se analizaron a fin de determinar su potencialidad como cuerpos de agua lóxicos para futuros muestreos. En la figura 3A se visualiza una laguna alargada (1,3 km), con valores bajos de NDCI, que la hacen apta para el muestreo. Sin embargo, es de difícil accesibilidad, complicando la logística, por lo que se decide

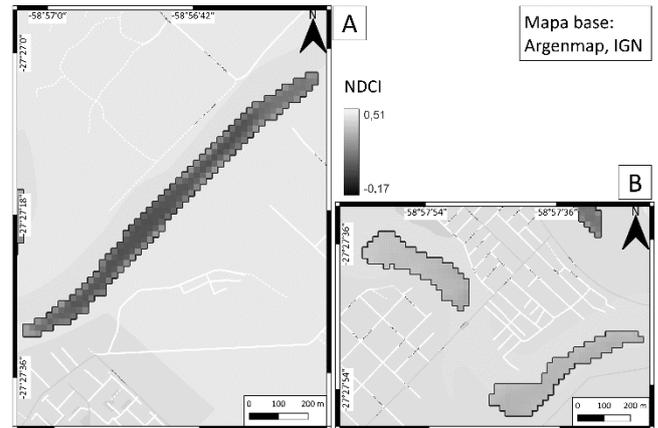


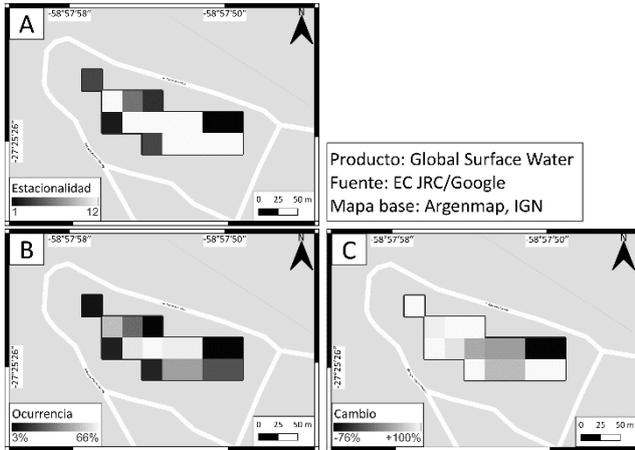
Figura 3: Detalle de algunos cuerpos de agua y NDCI<sup>P</sup>.

descartarla. La figura 3B muestra dos cuerpos de menores dimensiones (440 m el izquierdo, 635 m el derecho), pero con valores muy elevados de NDCI, indicando presencia alta de clorofila-a en el agua, que puede interferir en el muestreo constante, razón por la cual se descartan estos cuerpos de agua.

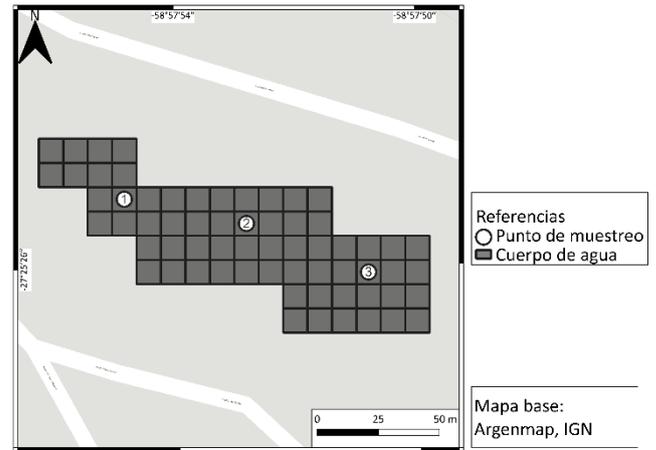
Luego de repetir este proceso las veces necesarias y ponderando los diferentes criterios de selección mencionados, se llegó a la elección final de la laguna para el muestreo de cuerpos de agua lóxicos, visualizable en la figura 4. La accesibilidad a la laguna es óptima, las características del agua son aceptables y tiene las dimensiones para contener varios puntos muestrales. Se encuentra rodeada por un vecindario, por lo que su estudio tiene relevancia directa en la calidad de vida de las personas que allí residen.

La figura 4 muestra tres imágenes del producto GSW disponibles para el cuerpo de agua seleccionado. GSW<sup>E</sup> se ve en la figura 4A, donde la mayoría de los píxeles tiene el máximo valor posible (12 meses), indicando que el cuerpo de agua está presente durante todo el año. La figura 4B muestra el producto GSW<sup>R</sup>, donde se alcanza como máximo un 66% de presencia. Estos valores aparentan ser menores a lo indicado por la GSW<sup>E</sup>, sin embargo, GSW<sup>R</sup> considera una serie histórica que comienza en 1984. La laguna elegida existe desde 2003, por lo que el porcentaje disminuye. La aparición de ésta se ve reflejada en la figura 4C, que muestra el producto GSW<sup>C</sup>, con píxeles con valores iguales al 100% de aumento en la detección de agua, indicando la existencia relativamente nueva de la laguna.

La figura 5 muestra el polígono obtenido por MNDWI<sup>P</sup>, indicando la presencia de agua, con la



**Figura 4: Cuerpo de agua léntico seleccionado y productos GSW.**



**Figura 5: Sitios de muestreo en el cuerpo de agua léntico seleccionado**

grilla de píxeles de Sentinel-2, de 10 m. Se muestran los puntos finalmente seleccionados para el muestreo. Se definió que la cantidad de puntos sea tres, ya que permite un buen manejo de las muestras sin entorpecer la capacidad del laboratorio y los insumos requeridos. La ubicación de esos puntos está basada en los valores de píxel dados por los productos GSW (figura 4), donde a mayor valor de píxel para cada capa, más adecuado es el punto de muestreo.

Los sitios se encuentran separados por 59m entre 1—2, y 54 m entre 2—3. Los puntos 2 y 3 se encuentran inmersos en píxeles de agua. Sin embargo, el punto 1 posee una esquina sin estar rodeada por agua, según MNDWI<sup>P</sup>. No obstante, por la forma de la laguna, es esperable que allí sí exista agua.

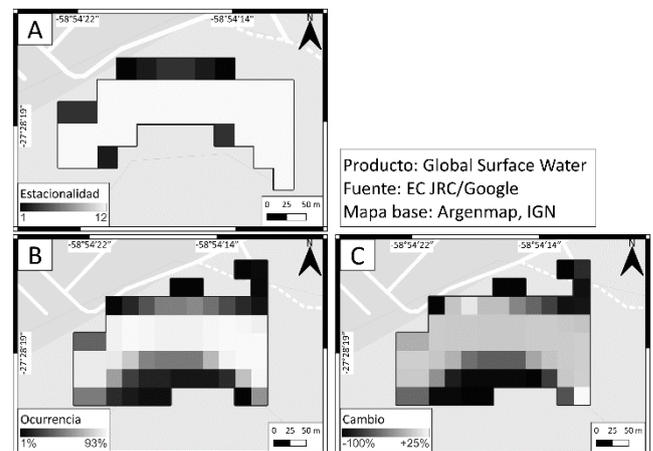
La tríada de puntos puede reconfigurarse a fin de ubicarlos rodeados completamente de agua, no obstante, la separación entre éstos disminuiría. Este acercamiento podría afectar la variación espacial medida en las propiedades del agua. Se prefiere la configuración actual, de tres puntos separados, a igual cantidad de puntos en un espacio reducido.

### Cuerpo de agua léntico

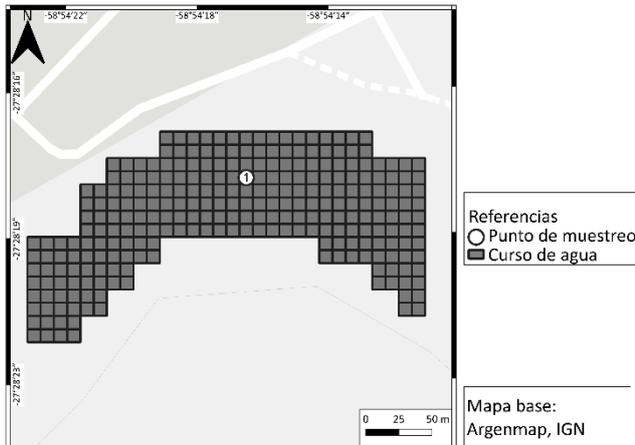
La aplicación de un proceso similar a los cursos de agua lénticos permitió seleccionar al Riacho Barranqueras como el curso más adecuado. La distancia a la UTN-FRRe es aceptable, el producto NDCI<sup>P</sup> da valores bajos, lo cual es esperable para un curso de agua. De la longitud de este riacho, se eligió la porción en la que se produce una curva en dirección sur, ya que allí se ubica un acceso que facilitará el acercamiento al curso de agua para su muestreo.

Dado que el agua se encuentra en movimiento, se decidió seleccionar un único punto muestral, para no complicar las maniobras sobre el curso de agua. Además, sumado a los tres puntos de muestreo de la laguna previamente descrita, se alcanza un total de cuatro muestras por campaña a campo. Una mayor cantidad supondría complicaciones para el personal del laboratorio y un rápido consumo de recursos.

GSW<sup>E</sup> se muestra en la imagen 6A, principalmente compuesto por píxeles con máximo valor (12 meses), dando cuenta de la estabilidad temporal y constancia del riacho. La imagen 6B coincide con este análisis, al indicar valores de GSW<sup>R</sup> altos, del 93% en el cauce central. La imagen 6C corresponde al producto GSW<sup>C</sup>. Los valores de píxel del medio del curso de agua son cercanos al 0% (color gris claro), indicando una continuidad temporal con pocas alteraciones. Estas características hacen del riacho Barranqueras el curso de agua elegido.



**Figura 6: Curso de agua lóxico seleccionado y productos GSW.**



**Figura 7: Sitio de muestreo en el cuerpo de agua lótico seleccionado**

En la figura 7 se muestra el polígono de agua obtenido por MNDWI<sup>P</sup>, con la grilla que adquiere Sentinel-2. Se escogerá un único sitio de muestreo en el curso de agua, localizado en el centro de uno de los píxeles. Se ubica en medio de la corriente ya que allí los datos de GWS son óptimos. El píxel que contiene al punto de muestreo está rodeado completamente de agua, por lo que es de esperarse un nulo efecto de la costa.

## CONCLUSIONES

Se logró seleccionar un cuerpo de agua léntico, como asimismo uno lótico, para su posterior estudio mediante teledetección satelital. Los criterios aplicados incluyeron las características espaciales y espectrales del cuerpo de agua, consideraciones logísticas y la capacidad del laboratorio para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos futuros.

Esta selección fue posible mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine, con un procesamiento en la nube y acceso a la colección entera de imágenes Sentinel-2, con las que se calcularon dos índices espectrales promediados (MNDWI<sup>P</sup> y NDCI<sup>P</sup>) para todo el año 2020. Además, junto con los productos GSW de estacionalidad, cambio y ocurrencia, se consiguió una elección justificada respecto de la dinámica de las aguas superficiales y su comportamiento en el tiempo.

Una laguna al norte del AMGR fue seleccionada, con tres puntos muestrales, para representar un cuerpo léntico. El riacho de Barranqueras fue elegido para el estudio de cuerpos lóticos, con un único punto de muestreo.

## REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas (2016). Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. .
- [2] Chawla, I.; L. Karthikeyan; A. K. Mishra (2020). A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585(March), 124826.
- [3] Lovino, M. A.; O. V. Müller; E. H. Berbery; G. V. Müller (2018). How have daily climate extremes changed in the recent past over northeastern Argentina?. *Global and Planetary Change*, 168(June), 78–97.
- [4] Topp, S. N.; T. M. Pavelsky; D. Jensen; M. Simard; M. R. V. Ross (2020). Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications. *Water (Switzerland)*, 12(1), 1–34.
- [5] Bonansea, M.; *et al.* (2019). Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 imagery for water clarity assessment in a reservoir. *Journal of South American Earth Sciences*, 95(May), 102265.
- [6] Nechad, B.; A. Dogliotti; K. Ruddick; D. Doxaran (2016). Particulate backscattering retrieval from remotely-sensed turbidity in various coastal and riverine turbid waters. *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, SP-740(May)*, .
- [7] Dogliotti, A. I.; K. G. Ruddick; B. Nechad; D. Doxaran; E. Knaeps (2015). A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, 156157–168.
- [8] Ferral, A.; *et al.* (2018). In-Situ and Satellite Monitoring of Water Quality of an Eutrophic Lake with an Artificial Air Diffusion System. *IEEE Latin America Transactions*, 16(2), 627–633.
- [9] Sánchez Guzmán, A. J. (1995). Primera Fase: Convenio CFI-Provincia del Chaco--Municipalidad de Resistencia. .
- [10] Scornik, M. (2007). Áreas urbanas vulnerables: algunas consideraciones para un sector de Resistencia, Chaco. *Cuaderno Urbano*, 6(6), 127.
- [11] Poi de Neiff, S. G. A.; C. A. Patiño; J. J. Neiff; A. O. Ramos (2003). Calidad Del Agua En El Tramo Bajo Del Rio Negro



- (Chaco, Argentina). *FACENA*, 19(2), 67–85.
- [12] Alberto, J. A.; A. M. Mignone; G. A. Arce; S. Lopez (2017). Condiciones hidrogeomorfológicas en el área metropolitana del Gran Resistencia, Provincia del Chaco, República Argentina. *Contribuciones Científicas GAEA*, 2937–50. [Online]. Available: <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/27670>
- [13] Iriondo, M. (2006). Cambios ambientales en el Chaco Argentino y Boliviano en los últimos miles de años. *Folia Histórica del Nordeste*, 16(16), 39.
- [14] Pekel, J. F.; A. Cottam; N. Gorelick; A. S. Belward (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422.
- [15] Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033.
- [16] Mishra, S.; D. R. Mishra (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117394–406.
- [17] Gorelick, N.; M. Hancher; M. Dixon; S. Ilyushchenko; D. Thau; R. Moore (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202(2016), 18–27.
- [18] Tamiminia, H.; B. Salehi; M. Mahdianpari; L. Quackenbush; S. Adeli; B. Brisco (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164(May), 152–170.
- [19] Richter, R.; M. Bachmann; W. Dorigo; A. Müller (2006). Influence of the adjacency effect on ground reflectance measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(4), 565–569.
- [20] Yang, X.; L. Chen (2017). Evaluation of automated urban surface water extraction from Sentinel-2A imagery using different water indices. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(2), 026016.
- [21] Jiang, H.; M. Wang; H. Hu; J. Xu (2021). Evaluating the performance of sentinel-1a and sentinel-2 in small waterbody mapping over urban and mountainous regions. *Water (Switzerland)*, 13(7), .
- [22] Sagan, V.; *et al.* (2020). Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Science Reviews*, 205(August 2019), 103187.