

## **Geoportal abierto para el monitoreo hidroclimático y la gestión del Recurso Hídrico en el municipio de Tornquist**

**Abstract.** El Portal de Datos Abiertos para la gestión de los Recursos Hídricos surge como un proyecto de transferencia tecnológica Universidad-Institución. Aborda la gestión y monitoreo de información hidroclimatológica del Municipio de Tornquist, en línea con el Objetivo de “Agua limpia y saneamiento” de la agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. El sistema permite integrar diversas fuentes de datos con información de recursos hídricos y variables meteorológicas, mediciones in situ e imágenes satelitales. Mediante una plataforma WebSIG con una arquitectura escalable, se provee una herramienta de gestión para un organismo del estado, al mismo tiempo que se hace accesible públicamente para promover la participación ciudadana y fortalecer el compromiso de la comunidad en el cuidado y manejo de los recursos hídricos. Actualmente se generan como producto mapas del estado de la vegetación, estado superficial del agua y humedad del suelo. El proyecto incluye una guía de buenas prácticas para el manejo del recurso hídrico. Estas acciones consolidan una base de información para la planificación urbana y productiva bajo el marco del Plan Estratégico del Desarrollo del municipio.

**Keywords:** Sensores de monitoreo; Datos abiertos; Web Gis; Recursos hídricos, Desarrollo sostenible

### **1 Introducción**

El cuidado del agua es parte de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, ya que es un recurso que cumple distintas funciones tanto para la sociedad como para los ecosistemas, que deben ser gestionadas desde el enfoque de desarrollo sostenible [1]. Si bien es transversal a varios objetivos de dicha agenda, en particular el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) se enfoca en "Agua limpia y saneamiento", este busca garantizar el acceso de las personas al agua potable segura y a servicios básicos de saneamiento adecuados. Además, propone la protección y gestión sostenible de los recursos hídricos, incluidos los ecosistemas relacionados con el agua, como los ríos, lagos y humedales [2]. Para garantizar esto último, se dependerá, entre otros, de la tecnología, las instituciones y el conocimiento que posean del entorno y del contexto social, económico y ecológico de cada región [1]. Así, el monitoreo hídrico es esencial para generar conocimiento y una base de acción para que las instituciones y la sociedad mejoren su uso y protección. El desarrollo de Geoportales se presenta como una herramienta a este propósito [3, 4, 5].

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por la elevada variabilidad anual e interanual en el monto de las precipitaciones. Esto influye en la disponibilidad hídrica y da lugar a inundaciones y avenidas en condiciones húmedas y a sequías e incendios forestales en períodos secos [6, 7, 8]. Esta variabilidad condiciona el abastecimiento continuo para las diferentes localidades de la región y constituye un importante desafío para las actividades socio-productivas de la región [9]. El municipio de Tornquist no escapa a esta situación y esto implica fragilidad de los sistemas hídricos locales que son afectados por los extremos hidroclimáticos que impactan en la relación entre disponibilidad, uso y gestión del recurso. Por ejemplo, la cuenca del río Sauce Grande, cuyas nacientes se ubican en este partido, posee casi 360.000 usuarios del agua que viven fuera de sus límites geográficos y una extensión y diversidad de usos del agua considerables (agrícola, industrial, residencial y turístico) que crean un conflicto de intereses muy complejo [10].

El objetivo del desarrollo del Portal de Datos Abiertos es brindar una herramienta basada en Geotecnologías e Internet de las Cosas (IoT) para la gestión y monitoreo del recurso Agua en el Municipio de Tornquist. De esta manera lograr que el sistema brinde información del estado de los recursos hídricos medidos en base a diferentes variables físicas o climatológicas y que sirva de apoyo a la toma de decisiones a escala municipal.

## 2. Metodología

La metodología para el desarrollo del portal se basó en las fases de análisis de requisitos del sistema, diseño, implementación y validación.

### Fase de Análisis

En esta etapa se recopiló información de diversas fuentes (archivos, formato papel y digital) y procesos relacionados con la gestión del recurso hídrico. Simultáneamente, se realizó un relevamiento de requerimientos del Sistema Integrado de Monitoreo para la Evaluación y Gestión de los Recursos Hídricos (SIMEGRH) del Distrito de Tornquist. Este relevamiento de información de los principales procesos relacionados con la gestión del recurso hídrico se llevó a cabo a través del uso de encuestas y entrevistas periódicas con el grupo de expertos del equipo de trabajo. Por otro lado, se concretaron encuentros con personal en el ámbito decisorio y ciudadanía del Municipio para analizar y evaluar información relacionada con la gestión del agua.

Inicialmente, se creó el diagrama de contexto para lograr una vista de alto nivel del portal (Fig. 1). A partir de éste fue posible la definición del alcance del portal y su relación con las entidades externas con las que interactúa. Luego, se

diseñaron los diagramas de flujo del nivel 1 para definir las principales funcionalidades del sistema, donde se interactuó con el grupo de expertos y se analizó la importancia de los datos provenientes de los sensores instalados *in situ* (Fig. 2). Estos sensores permiten recopilar información de variables meteorológicas, fluctuación del nivel de agua en ríos o arroyos y precipitaciones. La obtención de los datos meteorológicos se realiza a través de un convenio con la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca (BCP) que permite el acceso a la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de la Red de Estaciones Meteorológicas (REM). Para la representación de las características físicas del territorio se analizó la disponibilidad de imágenes satelitales, las herramientas de procesamiento, la experiencia del grupo en la elaboración de información geográfica y los productos finales que debía incluir el portal.

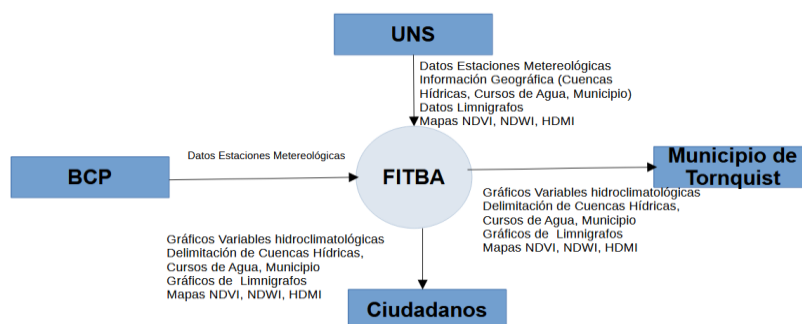


Fig. 1. Diagrama de contexto del Geoportal abierto para el monitoreo hidroclimático y la gestión del Recurso Hídrico en el municipio de Tornquist.

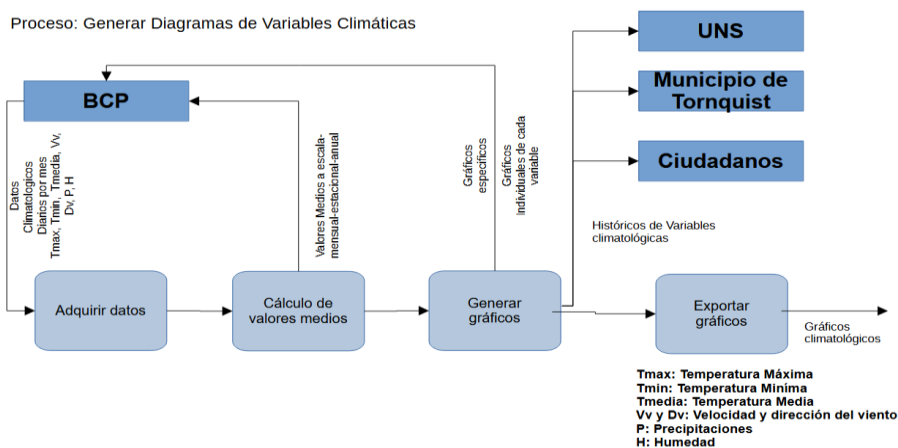


Fig. 2. Diagrama de nivel 1 del proceso que permite generar diagramas de comportamiento y estadísticos de las variables climáticas.

### **Fase de Diseño e Implementación del Portal**

Se diseñó la estructura general del sistema utilizando la técnica de diagramas de flujos. Para la base de datos se especificaron las tablas y relaciones necesarias para gestionar la información del portal, empleando un modelo relacional. Al tratarse de un sistema web de información geográfica se utilizaron tecnologías web y una plataforma de procesamiento en la nube. En línea con las arquitecturas de diseño modernas, el backend del sistema implementa un modelo de API RESTFul, de modo que se provee un desarrollo escalable para futuras implementaciones de clientes móviles y de escritorio. El maquetado de la interfaz de usuario se centró en la usabilidad y experiencia creando un prototipo para visualizar el diseño y lograr la recopilación de información por parte de los usuarios.

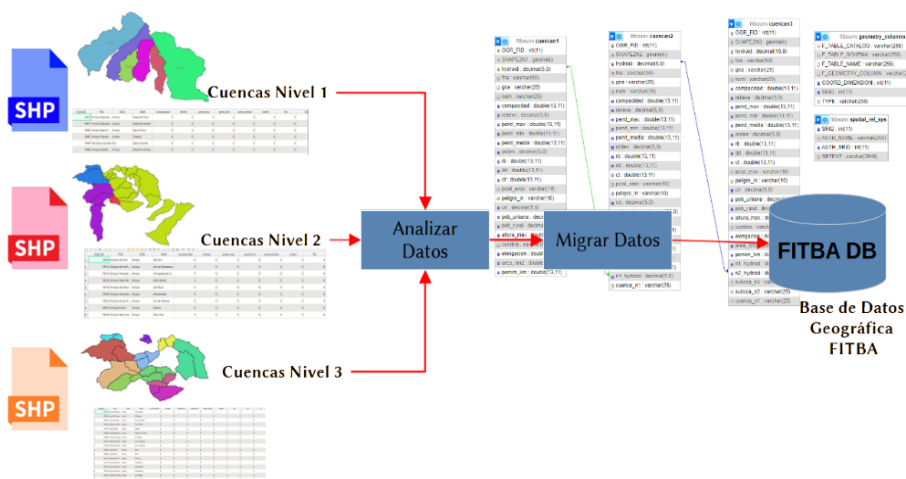
La base de datos gestiona información hidroclimatológica, satelital y geográfica. La información hidroclimatológica es de temperatura, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, precipitaciones y nivel del caudal de agua provenientes de los sensores adquiridos en el proyecto. Como información geográfica se consideran las cuencas, cauces principales, redes de drenaje altas y bajas, partidos, estaciones meteorológicas, limnógrafos, pluviómetros, puntos de mediciones in situ, perforaciones con mediciones de nivel subterráneo de agua relevadas por el municipio e imágenes de sitios relevadas por el grupo de trabajo. Los cauces principales y redes de drenaje se extraen del Modelo Digital de Elevación SRTM con una resolución espacial de 30 m con el módulo GIS del programa HEC-HMS v4.8 [11]. El Municipio de Tornquist presenta la particularidad de abarcar seis cuencas (Chasicó, Sauce Chico, Saladillo de García, Napostá Grande, Napostá Chico y Sauce Grande). A través del uso de algoritmos, el software de escritorio QGIS y datos de campo se obtuvieron las capas que representan estas cuencas.

Las herramientas de análisis y procesamiento integradas en el portal pueden clasificarse en dos grupos: herramientas de procesamiento de imágenes satelitales en formato raster y herramientas de análisis de datos en formato vectorial. Para el primer grupo se trabajó a partir de imágenes provenientes del satélite Sentinel-2, procesadas para la obtención de diversos índices espectrales que resaltan ciertas características del ambiente relacionadas con el recurso hídrico. En la versión actual, se pueden obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI), estando el sistema preparado para incluir nuevos índices en el futuro. Como herramienta de procesamiento de imágenes se emplea la plataforma de cloud computing Google Earth Engine [12].

### 3 Resultados

El desarrollo de este proyecto permitió la generación de una base de datos geográfica (BDG) de las cuencas de Chasicó, Sauce Chico, Saladillo de García, Napostá Grande, Napostá Chico y Sauce Grande, considerando sus respectivas subcuencas en dos niveles, partidos del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires e imágenes del Municipio de Tornquist relevadas por el grupo de trabajo. Además, la BDG permite el almacenamiento y gestión de cauces principales y redes de drenaje altas y bajas. Esta BDG almacena ubicación e información proveniente de los sensores de estaciones meteorológicas, limnógrafos y pluviómetros. En la Fig. 3. es posible visualizar la información geográfica correspondiente a las cuencas y subcuencas que abarca espacialmente el Municipio.

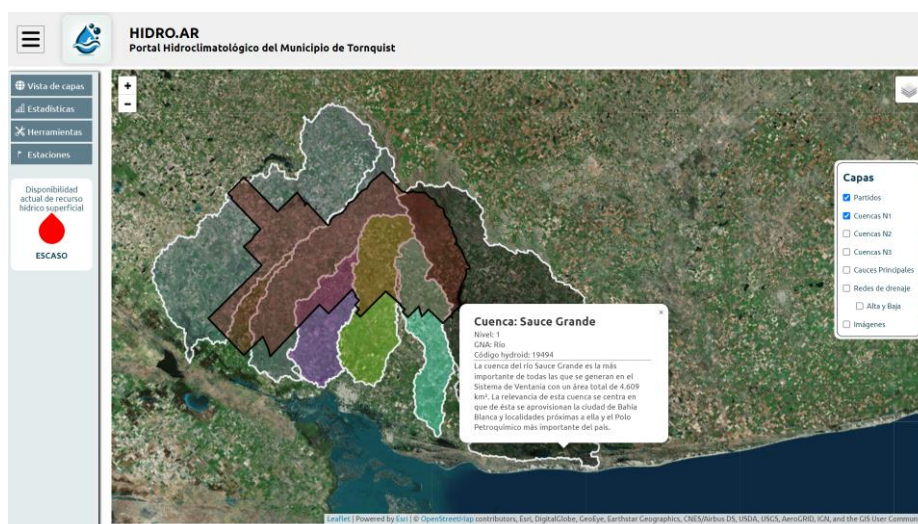
Migración de Información Geográfica FITBA



**Fig 3.** Resultado de la migración de información geográfica de las cuencas y subcuencas que abarca el Municipio de Tornquist a una Base de Datos Geográfica a través del uso de un modelo relacional.

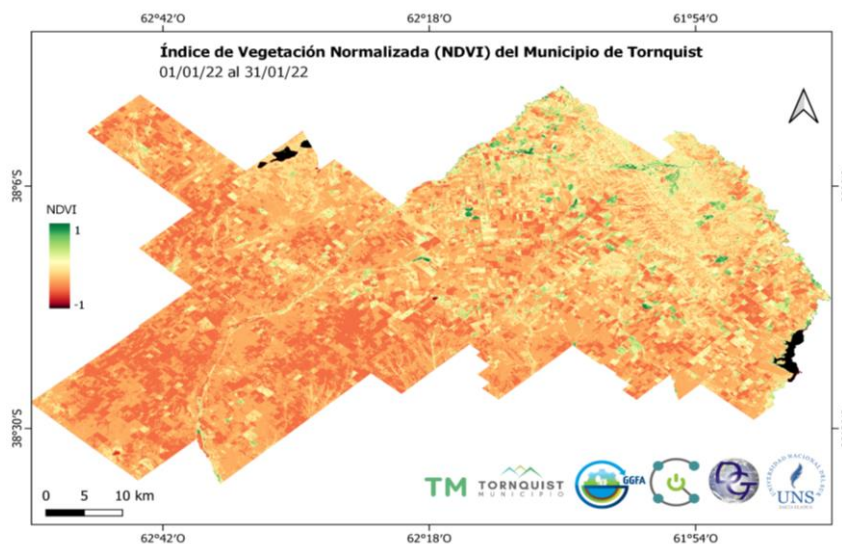
6 V. Gil et. al.

El GeoPortal desarrollado para el municipio de Tornquist es un sistema web de Información Geográfica (Web SIG) a medida que posee herramientas de análisis y visualización de capas de información geográfica en formato vectorial y raster e información de sensores instalados *in situ*. El sistema permite la vista de capas que considera la visualización y filtrado de capas de Partidos, Cuencas en diferentes niveles, cauces principales y redes de drenaje, imágenes y estaciones meteorológicas. En la Fig. 4 es posible observar la interfaz que permite interactuar con el GeoPortal y visualizar las capas de información geográfica. En este caso se visualizan las cuencas que abarcan el partido de Tornquist y la información alfanumérica de la cuenca de Sauce Grande. Actualmente, el sistema tiene implementado el filtrado de capas por cuencas y subcuencas.



**Fig. 4.** Interfaz del GeoPortal que permite la visualización de información geográfica.

Otra funcionalidad que se resalta del sistema es el acceso a información en tiempo real de estaciones meteorológicas, limnógrafos y pluviómetros. Esto permite contar con información actualizada en ubicaciones precisas a las cuales no es posible acceder por otros medios. La gestión de esta información permite generar históricos espacio-temporales de los sensores que mapea el proyecto. Estos históricos son vitales para obtener conocimiento y tomar decisiones del recurso hídrico a nivel local, en este caso el partido de Tornquist. El GeoPortal permite el acceso y descarga de mapas de los índices biofísicos de NDVI, NDWI y NDMI que resultan de importancia para estudiar condiciones relacionadas con el estado de la vegetación, estado de aguas superficiales, inundaciones y humedad del suelo Fig. 5. En esta primera etapa la información del GeoPortal está disponible para tomadores de decisiones de instituciones públicas y privadas, así como la ciudadanía en general.



**Fig 5.** Mapa del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) del Municipio de Tornquist correspondiente al mes de Enero de 2022.

#### 4 Conclusión y Discusión

El Portal provee una infraestructura de Sistema de Información Geográfica en línea (SIG Web), generando una herramienta fundamental para avanzar en la digitalización y normalización de información referida al recurso hídrico. En esta infraestructura es posible integrar múltiples fuentes de datos, como estaciones meteorológicas, imágenes satelitales, instrumental específico (freatímetros, limnógrafos, etc) y en particular define un esquema de referencia para unificar registros históricos que han sido recopilados previamente en distintos formatos.

Una vez ingresados los datos al sistema, surgen múltiples herramientas de visualización y análisis, como la representación de capas en formato vectorial y raster, consulta en tiempo real de variables climatológicas o generación de gráficos históricos. Mediante técnicas de procesamiento de imágenes y fusión de sensores, se generan productos especiales para análisis específicos, como diversos índices de vegetación, humedad, agua y otros que pueden ser modelados y producidos a medida para las entidades involucradas que lo soliciten.

El Geoportal está destinado a proporcionar las bases que para el establecimiento de políticas de uso y manejo hídrico eficientes, equitativas y sostenibles (buenas prácticas). De esta manera se asiste a uno de los principales desafíos para el desarrollo estratégico del distrito y sus sectores productivos que muchas veces se traduce en tensiones y conflictos de intereses entre las interdependencias hidrológicas, sociales, económicas y ecológicas de los sistemas hídricos.

## Referencias

1. Villalba, A., Rivero, M. M. y Guijarro, A. (2016). Los derechos humanos al agua potable y al saneamiento en la Agenda 2030. Recuperado de [https://www.unetxea.org/dokumentuak/dossier\\_agua\\_agenda2030.pdf](https://www.unetxea.org/dokumentuak/dossier_agua_agenda2030.pdf)
2. Naciones Unidas. (2015). Transformando nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
3. Espín Morejón, M. A., Bonilla Manobanda, M. E., Medina Velasco, S. R., & Vallejo Ballesteros, H. F.: Implementación del Geoportal para la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento – JAAPyS - Santa Fé Centro, año 2023. *ConcienciaDigital*, 6(2.1), 6-23. (2023) <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.1.2553>
4. Uyaguari-Reyes, F. A. y Encalada-Loja, C. E.: Implementación de una infraestructura de datos espaciales (IDE) y geoportal en la Secretaría del Agua – Demarcación Hidrográfica de Santiago. *Polo del Conocimiento*, Vol. 4, N° 5. (2019)
5. Rosyida, N., Dinira, L., Rusydi, A. N., Saputra, A. D. y Setiabudi, G.: Development of Web-based Geographic Information System for Water Quality Monitoring of Watershed in Malang. *Intensif*, vol. 6, no. 2, pp. 184-197, (2022).
6. Casado, A.L., Gil, V., Campo, A.M.: Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Huellas* 11. 9–26. (2007). Recuperado de: <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2561>
7. Scarpati, O. E. y Capriolo, A. D.: Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Investigaciones Geográficas*. Mexico: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol. 82 pp. 1-14. (2013)
8. Gil, V.: Variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Cuenca Alta del río Sauce Grande, Sistema de Ventania. En: GAEA. *Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía*. Mar del Plata, GAEA, pp. 127-139. (2011)
9. Casado, A., Campo, A.M. Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos* 58, 6–26. (2019). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
10. Zilio, M.I., Seitz, C., Scordo, F., Gil, V., Zapperi, P., Costilla, P., Huamantínco Cisneros, M.A., Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C. Is collaborative management always possible? The case of Sauce Grande River Basin, Argentina. *International Journal of River Basin Management* 17, 251–261. (2019). <https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1546727>
11. U.S. Army Corps of Engineers. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>, ultimo acceso 2024/4/19
12. Google. Google Earth Engine. (2022) <https://earthengine.google.com/>, ultimo acceso 2024/4/12