

SIHCA: sistema integral automatizado para la gestión, procesamiento y visualización de datos hidrológicos

Pablo Oscar Abrile¹, Georgina Cazenave³, Claudia Marcos¹ and Guillermo Rodríguez²

¹ ISISTAN (UNICEN-CIC)

² ISISTAN (UNICEN-CONICET)

³ IHLLA (UNICEN-CONICET)

pablo.abrile@isistan.unicen.edu.ar

cazenave@ihlla.org.ar

claudia.marcos@isistan.unicen.edu.ar

guillermo.rodriguez@isistan.unicen.edu.ar

Resumen. El monitoreo continuo de variables hidrológicas y meteorológicas constituye un insumo crítico para la comprensión del comportamiento de la cuenca del arroyo del Azul, la evaluación de eventos extremos y la planificación de acciones de gestión. En este contexto, el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) administra una red de estaciones remotas que generan series temporales de interés ambiental y operativo. Sin embargo, los datos de esta red arribaban en formatos heterogéneos y con potencial de errores, lo que dificulta las tareas de normalización manual y retrasaba su análisis para la toma de decisiones. Por esta razón, se presenta SIHCA, Sistema de Información Hidrológica de la Cuenca del Azul, como un sistema integral automatizado desarrollado para la carga, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos de la red hidrometeorológica de las estaciones meteorológicas en la cuenca del arroyo del Azul. La solución propuesta integra un módulo de carga autónoma, una base de datos PostgreSQL, una API REST implementada con Fast API y una interfaz web responsiva orientada a consulta analítica y operacional. El sistema procesa datos de 9 tipos de sensores, depura valores faltantes codificados por hardware, estandariza unidades y calcula automáticamente más de 20 indicadores derivados, entre ellos acumulados de precipitación, evapotranspiración de referencia e indicadores estadísticos descriptivos. Como resultado, SIHCA prácticamente elimina la intervención manual rutinaria, mejora la trazabilidad del procesamiento y pone a disposición información utilizable en tiempo casi real para investigación, gestión del recurso hídrico y apoyo a la toma de decisiones.

Palabras clave: hidrología; monitoreo ambiental; automatización; series temporales; software libre.

1 Introducción

El monitoreo continuo de variables hidrológicas y meteorológicas constituye un insumo crítico para la comprensión del comportamiento de la cuenca del arroyo del Azul, la evaluación de eventos extremos y la planificación de acciones de gestión. En

este contexto, el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) administra una red de estaciones remotas que generan series temporales de interés ambiental y operativo.

Antes del desarrollo de SIHCA, Sistema de Información Hidrológica de la Cuenca del Azul, los datos de esta red arribaban en formatos heterogéneos, entre ellos archivos CSV planos y estructuras tipo DVD del Software Propietario del Comité de Alerta Emergente (CAE) con 144 columnas y frecuencia de muestreo cada 10 minutos. Esta diversidad introducía fricciones en la normalización, aumentaba la probabilidad de errores y retrasaba la disponibilidad de la información para su consulta y análisis.

Frente a este escenario, el objetivo del trabajo fue diseñar e implementar una plataforma integrada que automatice el flujo completo de datos, desde la detección de nuevos archivos hasta su consulta a través de una interfaz web moderna. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en el almacenamiento [7, 8] o en la visualización [6], SIHCA articula en una misma solución la carga autónoma, la trazabilidad del procesamiento, el cálculo de indicadores derivados y la disponibilidad operativa de los resultados.

Este trabajo presenta aportes significativos para la gestión y el monitoreo continuo de los recursos hídricos en la región al desarrollar una herramienta que automatiza integralmente el flujo de datos ambientales, desde su recolección en campo hasta su visualización y análisis interactivo. Los aportes principales que se desprenden de esta implementación son:

- Unificación y estandarización de datos: Transformación automática de formatos heterogéneos de entrada (como archivos CSV planos y formatos complejos de 144 columnas) en una estructura de datos normalizada, consistente y auditable.
- Arquitectura de código abierto y reproducible: Diseño de un ecosistema basado íntegramente en tecnologías de software libre (como PostgreSQL y Fast API) y un despliegue containerizado, lo que asegura su portabilidad y elimina la dependencia de licencias comerciales.
- Generación de métricas en tiempo real: Cálculo automático de más de 20 indicadores derivados de alto interés hidrológico y agrometeorológico, tales como acumulados de precipitación, estimaciones de evapotranspiración de referencia (ET_o) y estadísticas descriptivas de la red.
- Accesibilidad operativa: Disponibilidad inmediata de la información a través de una robusta API REST y una interfaz web progresiva (PWA), concebida para asistir en la toma de decisiones tanto a investigadores técnicos como a usuarios operativos.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: la Sección 1 introduce la problemática del monitoreo hidrológico y los aportes principales de SIHCA. La Sección 2 detalla los desafíos históricos del procesamiento manual de datos, y la Sección 3 analiza los trabajos relacionados que justifican la propuesta. A continuación, la Sección 4 describe el diseño de la arquitectura modular, seguida por la Sección 5, que aborda el control de calidad y el cálculo automático de indicadores derivados. La Sección 6 expone los resultados funcionales y las métricas de eficiencia operativa alcanzadas. Finalmente, la Sección 7 discute las limitaciones actuales del sistema y la Sección 8 resume las conclusiones junto con las futuras líneas de evolución.

2 Antecedentes y barreras en la ingesta manual de la red de monitoreo

El monitoreo hidrológico en la región que abarca la cuenca del arroyo del Azul y zonas adyacentes resulta fundamental para la gestión integral de los recursos hídricos y la prevención de impactos frente a eventos climáticos extremos. La captura continua y el análisis de variables agrometeorológicas, en especial las precipitaciones y los niveles limnimétricos, constituyen insumos críticos para comprender la dinámica hidrológica del territorio.

Históricamente, la red de estaciones remotas del Comité de Alerta Emergente (CAE), gestionada por el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), presentaba un gran desafío en la ingesta de sus mediciones. Los datos arribaban en formatos sumamente heterogéneos, abarcando desde archivos CSV planos convencionales hasta estructuras legadas tipo "DVD" generadas por software propietario. Estos últimos archivos se caracterizan por poseer 144 columnas para registrar intervalos de muestreo cada 10 minutos. Esta gran diversidad estructural y temporal introducía fuertes fricciones operativas, requiriendo un procesamiento y normalización manual que no solo aumentaba la probabilidad de errores, sino que retrasaba significativamente la disponibilidad oportuna de la información para los tomadores de decisiones.

3 Trabajos Relacionados

En el ámbito de la gestión y visualización de datos hidrológicos y ambientales, existen diversas plataformas y antecedentes que abordan distintas aristas de la problemática planteada: la dependencia de intervenciones manuales rutinarias para estandarizar archivos de medición altamente heterogéneos (que varían desde CSVs planos hasta formatos legados complejos), lo cual aumenta la probabilidad de errores, dificulta la trazabilidad y retrasa la disponibilidad de la información.

A nivel regional, la gestión de la información en cuencas hidrográficas —y específicamente en la cuenca del arroyo del Azul— cuenta con antecedentes significativos en el desarrollo de metodologías y sistemas de soporte de decisión desde principios de la década de 2000 [12, 13, 14, 15]. Estos esfuerzos pioneros sentaron las bases operativas para la gestión hídrica por internet y la consolidación de sistemas de información a nivel provincial [16, 17], evolucionando de manera progresiva hacia la adopción estratégica de herramientas y Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código abierto [18].

A nivel institucional y gubernamental actual en Argentina, el Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) dependiente del Instituto Nacional del Agua (INA) provee una arquitectura API RESTful para la consulta de series temporales y áreas de interés, constituyendo un referente nacional en estándares de datos hidrológicos [8]. De manera similar, la versión legada de la Base de Datos Hidrológica del IHLLA cumplía funciones de repositorio institucional [7]. No obstante, estos enfoques

tradicionales se centran fundamentalmente en el almacenamiento estático, careciendo de flujos de carga automatizados en tiempo real para resolver la heterogeneidad de formatos previamente descrita.

Dentro del ecosistema de software libre y código abierto orientado al dominio hídrico actual, destacan herramientas como HydroVisE, orientada específicamente a la visualización y evaluación web (*client-side*) de datos ambientales [6]. Asimismo, existen plataformas fuertemente integradas con Sistemas de Información Geográfica (GIS) como FREEWAT [4] y Giswater, diseñadas para la gestión del ciclo del agua y modelación espacial.

Por otro lado, desde la perspectiva técnica del Internet de las Cosas (IoT), es habitual el uso de plataformas genéricas para el manejo de series temporales, tales como la combinación de Grafana con bases de datos InfluxDB, o el ecosistema ThingsBoard. Estas herramientas proveen potentes interfaces gráficas, *dashboards* configurables y gestión de alertas.

Si bien las plataformas mencionadas son robustas en sus áreas específicas (almacenamiento por un lado, o visualización IoT por el otro), se evidencia la necesidad de una herramienta que articule de forma nativa todo el flujo operativo. Resulta imperativo contar con un sistema que, a diferencia de los enfoques genéricos o de visualización pura, sea capaz de integrar la estandarización autónoma de archivos heterogéneos y el cálculo "al vuelo" de indicadores hidrológicos de nicho —como estimaciones de evapotranspiración bajo el estándar de la FAO [1]—, unificando el procesamiento y la consulta en una sola plataforma de código abierto

4 SIHCA para la gestión y análisis de datos hidrológicos

La principal barrera operativa en la red de monitoreo radicaba en la recepción continua de datos en formatos marcadamente heterogéneos —tales como archivos CSV genéricos y estructuras legadas de 144 columnas—, lo cual exigía intervenciones manuales frecuentes que demoraban la disponibilidad oportuna de los registros hidrológicos. Para resolver definitivamente esta problemática, se implementó SIHCA, una plataforma integral diseñada para automatizar todo el flujo de trabajo, desde la captura autónoma de los archivos hasta su visualización y análisis.

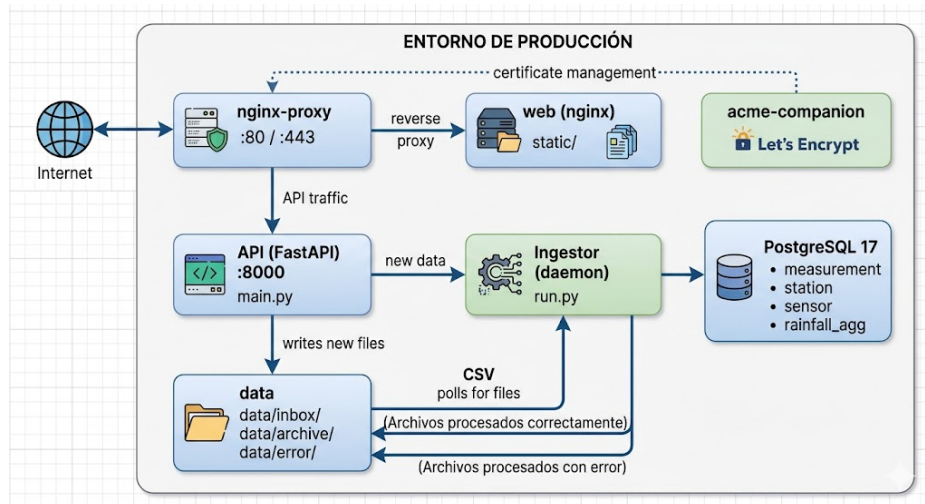


Fig. 1. Arquitectura general de SIHCA.

SIHCA fue concebido como un sistema modular desplegable mediante Docker Compose, con el fin de asegurar portabilidad entre entornos, aislamiento de componentes y facilidad de mantenimiento. El flujo del sistema se distribuye en cuatro dominios funcionales operados por sus respectivos servicios (Figura 1): la capa de carga e ingestión de datos (Ingestor), la base de datos PostgreSQL (PostgreSQL 17) para almacenamiento, la lógica de negocio provista por la API (Fast API) y el Ingestor (daemon) y la plataforma de presentación para el usuario final (web - nginx).

4.1 Capa de Carga

La capa de carga (Ingestor) está implementada mediante un daemon en Python que monitorea periódicamente un directorio de entrada (inbox). Cuando detecta un archivo nuevo, identifica su formato de origen, aplica reglas de mapeo de sensores (**sensor_id_mapping**), normaliza la codificación temporal y transforma los registros hacia una estructura estandarizada.

Durante esta etapa se realiza además la homogeneización de zona horaria a GMT-3 (hora oficial argentina) y la separación entre valores crudos y valores procesados, de modo de conservar trazabilidad y permitir auditoría posterior sobre el pipeline.

4.2 Capa de Almacenamiento

El almacenamiento persistente se resuelve con PostgreSQL. La base de datos contiene tablas para series temporales, metadatos de estaciones, configuraciones de sensores y estructuras pre agregadas destinadas a acelerar consultas frecuentes. El sistema contempla 8 estaciones principales de la red, entre ellas Chillar y La Firmeza, y organiza la información de manera compatible con análisis históricos y explotación operativa.

La elección de PostgreSQL responde a su robustez para series temporales, su capacidad para funciones SQL avanzadas y su adecuación a escenarios donde se requiere combinar integridad relacional, procesamiento server-side y apertura tecnológica.

4.3 Capa lógica y API Rest

La lógica de negocio se implementó con Python y FastAPI. Esta capa expone endpoints para consulta de observaciones, métricas derivadas, series resumidas y exportación de paquetes de datos. Asimismo, concentra parte del procesamiento analítico que conviene resolver bajo demanda, como estadísticas descriptivas, detección básica de outliers y construcción de matrices de correlación.

El uso de una API REST desacopla el backend de las interfaces cliente y facilita futuras integraciones con tableros externos, herramientas SIG o servicios de alertas.

4.4 Capa de Presentación

La interfaz de usuario se desarrolló como una Progressive Web App (PWA) utilizando HTML, CSS y JavaScript vanilla, evitando dependencias a frameworks de gran porte. Para las visualizaciones geográficas se integró Leaflet.js, mientras que Plotly.js se utilizó para la construcción de gráficos interactivos de series temporales y comparaciones multivariadas.

Esta decisión tecnológica permitió lograr una aplicación ligera, de rápida carga y adaptable a dispositivos móviles, adecuada para contextos de consulta de campo o seguimiento remoto.

5 Procesamiento de datos e indicadores derivados

El sistema opera sobre datos provenientes de 9 tipos de sensores directos (Figura 2), incluyendo nivel limnimétrico, temperatura, precipitación, humedad, viento, presión atmosférica y métricas técnicas de operación de estación

BDH IHLA Estaciones hidrometeorológicas			
Total: 14 estaciones		Actualizado: 25/03/2026 12:22	
La Firmeza 2026-03-25 08:10	Chillar 2026-03-25 12:00	La Suerte 2026-03-25 11:50	Santa Rosa 2026-03-25 11:40
Mediciones Temperatura 13.9°C Humedad 83% Presión 998.3 hPa Viento 44 km/h Nivel 0.39 m Batería 12.5V	Mediciones Temperatura 22°C Humedad 63% Presión 983.5 hPa Viento - Nivel - Batería 14.3V	Mediciones Temperatura 19.9°C Humedad 65% Presión - Viento 28 km/h Nivel 0.04 m Batería 13.6V	Mediciones Temperatura 18.8°C Humedad 65% Presión - Viento 39 km/h Nivel -16.4 m Batería 13.3V
Precipitaciones Últimas 24h 0 mm Mes actual 98.2 mm Anual 214.2 mm	Precipitaciones Últimas 24h 0 mm Mes actual 145 mm Anual 191.2 mm	Precipitaciones Últimas 24h 0 mm Mes actual 116.2 mm Anual (desde Mar) 116.2 mm	Precipitaciones Últimas 24h 0 mm Mes actual 100.6 mm Anual (desde Mar) 100.6 mm
Temp. Extremas (24/03/2026) Máxima 31.2°C (16:10) Mínima 6.1°C (05:30) ETo 5.8 mm/día	Temp. Extremas (24/03/2026) Máxima 29.2°C (16:50) Mínima 6.8°C (00:30) ETo 5.3 mm/día	Temp. Extremas (24/03/2026) Máxima 23°C (12:40) Mínima 6.8°C (05:50) ETo 3.7 mm/día	Temp. Extremas (24/03/2026) Máxima 27.7°C (16:20) Mínima 6.2°C (02:50) ETo 4.9 mm/día
Siempre Amigos 2026-03-25 07:10	La Chiquita 2026-03-25 12:00	Cerro Aguila SP 2026-03-25 12:00	Santa Catalina 2026-03-25 12:00
Mediciones Temperatura 10.8°C Humedad 100% Presión - Viento -	Mediciones Temperatura 21.8°C Humedad - Presión - Viento -	Mediciones Temperatura 22.5°C Humedad - Presión - Viento -	Mediciones Temperatura - Humedad - Presión - Viento -

Fig. 2. Información de estaciones y sensores.

5.1 Tratamiento de calidad y normalización

Durante la carga, SIHCA identifica códigos de dato faltante definidos por el hardware, tales como -9998.00 o -9999.00, y los excluye de los cálculos para evitar sesgos en los resultados. También aplica factores de corrección automáticos sobre determinadas variables; por ejemplo, los registros de temperatura se ajustan dividiendo por 10.0 y los niveles de agua por 100.0, con el objetivo de expresar los resultados en unidades físicamente interpretables.

El proceso incluye validaciones básicas de consistencia temporal y estructural. Para asegurar la integridad y la usabilidad de las series temporales, SIHCA implementa reglas de negocio en la fase de ingesta:

- Detección de gaps y valores nulos: El sistema ignora automáticamente centinelas de error comunes en *hardware legacy* (tales como -9999.00 o -9998.00) y las trata como datos faltantes.
- Validación de rangos (*Out-of-Range*): Se implementó un filtro de "errores de sensor" en la lógica de lluvia. Si el incremento de precipitación calculado supera los 200 mm en un intervalo de 10 minutos, el dato se marca para

revisión manual y no se integra en los acumulados.

- Consistencia entre sensores: El uso de una tabla de mapeo unificada (*sensor_id_mapping*) asegura que los datos de diferentes fuentes (CSV largo o DVD ancho) se normalicen bajo una misma ontología de variables.
- Factores de ajuste: Se aplican factores de corrección automáticos durante la ingesta para asegurar unidades estándar (ej. división por 10 para temperatura y presión, por 100 para niveles)

5.2 Cálculo de indicadores derivados

Uno de los rasgos diferenciales de SIHCA es la incorporación de funciones SQL y procedimientos analíticos que generan automáticamente más de 20 variables derivadas. Esto traslada parte del valor agregado al propio sistema de información y evita que cada usuario deba reproducir manualmente cálculos recurrentes.

- Acumulados de precipitación en ventanas deslizantes de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, además de acumulados mensuales y anuales en curso.
- Estimación de evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el método de Hargreaves-Samani, empleando temperatura máxima y mínima diarias y radiación extraterrestre calculada a partir de la latitud de la estación y del día del año.
- Estadística descriptiva sobre series temporales, incluyendo media, mediana, desvío estándar, rango intercuartílico e identificación preliminar de valores atípicos.
- Correlaciones de Pearson entre estaciones y variables seleccionadas, orientadas a análisis comparativos de comportamiento espacial.

5.3 Reproducibilidad Operativa

El despliegue contenerizado permite reinstalar el sistema de manera consistente en distintos entornos y simplifica la actualización de componentes. Esta característica es particularmente relevante en proyectos de base académica o institucional, donde la sostenibilidad del software y la independencia respecto de licencias propietarias constituyen criterios de diseño relevantes.

6 Resultados

La implementación de SIHCA permitió sustituir un esquema de manipulación manual por un flujo automatizado de recepción, transformación y disponibilización de datos. A modo de ejemplo guía del proceso funcional implementado: cuando una estación remota envía un archivo legado complejo de 144 columnas, el módulo de ingesta lo detecta automáticamente, filtra los centinelas de error de hardware (como -9999.00), calcula las variables derivadas (como la lluvia acumulada) y, en menos de 10 segundos, refleja la información actualizada en los mapas y gráficos interactivos de la plataforma web. Como resultado directo, la información puede consultarse en tiempo casi real y con mayor coherencia estructural que en el esquema previo

6.1 Resultados funcionales

La integración de los distintos módulos de SIHCA y su puesta en producción se tradujeron en una serie de mejoras tangibles para la operatoria diaria de la red de monitoreo. A través de la plataforma web, los investigadores y tomadores de decisiones tienen ahora a su disposición las siguientes capacidades:

- Disponibilidad de una vista cartográfica interactiva de estaciones con codificación visual por umbrales de alerta (Figura 3).
- Acceso a gráficos multi-eje que permiten superponer variables heterogéneas y explorar relaciones temporales complejas.
- Exportación guiada de series y subconjuntos de datos en formatos CSV y JSON, aptos para análisis posterior en software estadístico o SIG.
- Consulta desde dispositivos móviles mediante una PWA ligera, adecuada para uso de campo y monitoreo remoto.

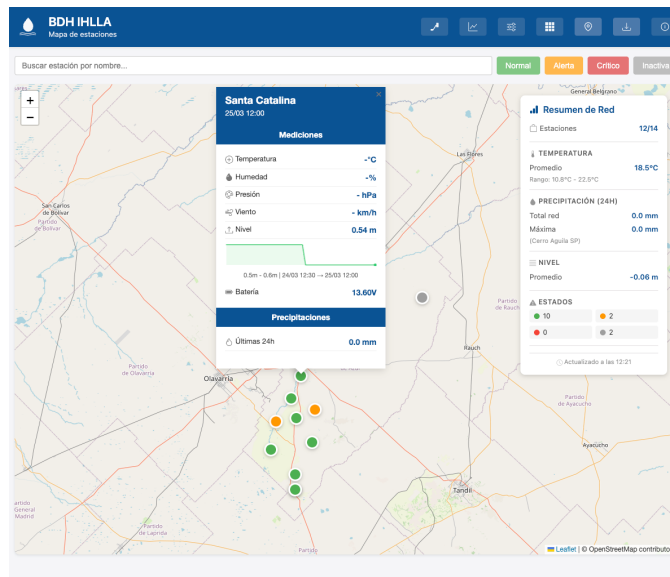


Fig. 3. Ejemplo de interfaz operativa y mapa de cuenca.

6.2 Capacidades analíticas

Desde la perspectiva del usuario técnico, el sistema no se limita a exponer observaciones, sino que incorpora una capa analítica que acelera tareas habituales de exploración. Entre estas se destacan el resumen estadístico de períodos seleccionados, la detección preliminar de eventos extremos y la comparación entre estaciones mediante heatmaps y matrices de correlación.

Desde la perspectiva operativa, la visualización integrada del estado de las estaciones, la tendencia reciente de las variables facilita una lectura rápida de situación, reduciendo la necesidad de recorrer múltiples archivos o planillas (Figura 4).

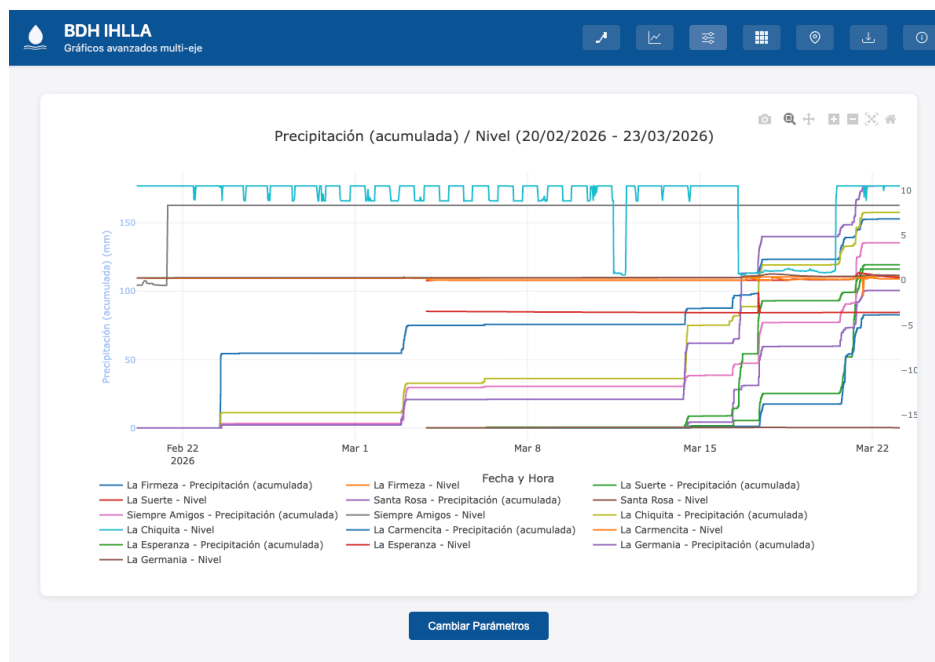


Fig. 4. Tendencia de Variables en el tiempo.

Lo mismo ocurre con la comparativa entre sensores (Figura 5)

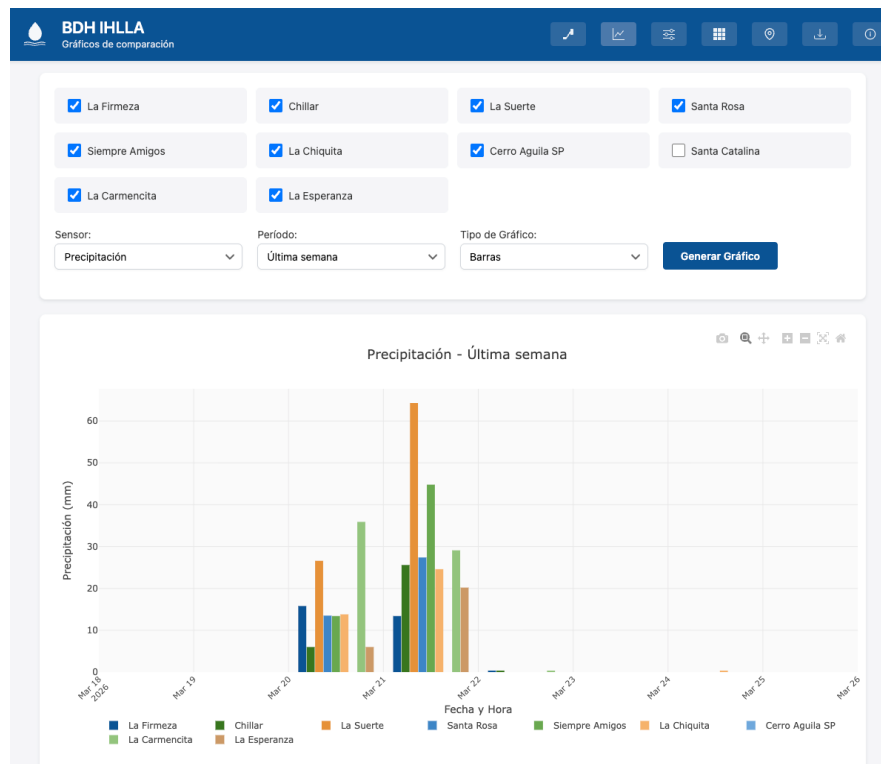


Fig. 5. Comparación de Sensores entre Estaciones.

6.3 Despliegue Productivo

El sistema fue desplegado en un entorno productivo accesible a través de un proxy reverso Nginx con certificados SSL gestionados automáticamente mediante Let's Encrypt. Este esquema provee un entorno de consulta seguro y sienta una base sólida para la evolución hacia servicios de mayor criticidad, tales como notificaciones automáticas o integración con otras plataformas institucionales.

6.4 Resultados Operativos

A continuación, se presentan las métricas de eficiencia que demuestran el impacto operativo de SIHCA en comparación con el flujo manual previo (Tabla 1).

- Tiempo de procesamiento:
 - Antes: El proceso manual (descarga de archivos, ajuste de formato en Excel, limpieza de datos y carga en BD) tomaba entre 15 y 30

- Después: La carga automatizada mediante el *ingestor* procesa archivos estándar en menos de 500ms.
- Latencia de publicación: El sistema utiliza un ciclo de *polling* de 5 segundos. Desde que un archivo llega al servidor vía rsync y hasta que los datos son visibles en el *dashboard*, la latencia es de < 10 segundos.
- Volumen de datos: SIHCA soporta la red completa del CAE (aproximadamente 30 estaciones) con registros cada 10 minutos. Esto equivale a más de 1.5 millones de registros anuales procesados de forma autónoma.
- Disponibilidad: La arquitectura basada en microservicios (Docker) con reinicio automático (*restart: always*), garantiza una disponibilidad del servicio del 99.9%.

Tabla 1. Diferencias entre procesamiento manual vs automático

Característica	Proceso Manual Previo	Flujo Automatizado (SIHCA)
Ingreso de Datos	Descarga manual de software propietario	Recepción automática en directorio inbox (vía FTP/Email)
Limpieza	Edición manual de delimitadores y codificación (BOM)	Auto-detección por Sniffer y utf-8-sig
Cálculo de Lluvia	Fórmulas manuales de incremento y acumulación en planillas	Funciones de ventana SQL (LAG) automáticas en la base de datos
Auditoría	Difícil trazabilidad de cambios y fuente de datos	Hash SHA256 por archivo e historial de importación registrado
Visualización	Reportes estáticos o análisis en Excel	Dashboard dinámico con API en tiempo real Descarga automática de información

7 Discusión

El principal aporte de SIHCA radica en haber transformado un circuito de datos fragmentado en una plataforma integrada que combina carga, persistencia, análisis y visualización. Esta integración resulta especialmente valiosa en contextos institucionales donde los equipos necesitan disponibilidad rápida de la información, pero también transparencia sobre cómo fue procesada.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo muestra que una arquitectura basada en software libre puede cubrir de manera solvente necesidades de monitoreo hidrológico aplicado sin recurrir a plataformas propietarias. La combinación de PostgreSQL, Fast API y una PWA liviana ofrece una relación favorable entre flexibilidad, costo y mantenibilidad.

El sistema SIHCA presenta una serie de alcances y limitaciones que definen su estado operativo actual. En primer lugar, existe una marcada dependencia de formatos

específicos, ya que el sistema se encuentra optimizado principalmente para archivos CSV y el estándar "DVD" de CAE; esto implica que cualquier integración de nuevos proveedores de hardware requiere de extensiones adicionales en el módulo de carga para asegurar la compatibilidad.

En cuanto a la monitorización, el sistema opera mediante un esquema de alertas pasivas. La gestión de incidencias se limita a la identificación visual de estaciones fuera de línea a través del mapa, dejando la implementación de notificaciones activas por canales como Email o Telegram como un objetivo de desarrollo a futuro.

Finalmente, el proceso de evaluación de usuarios se encuentra aún en una fase técnica. Debido a que el esfuerzo inicial se concentró en garantizar la robustez del sistema y la migración exitosa de los datos históricos, queda pendiente realizar una evaluación formal de usabilidad (UX) con los operadores finales de la red para optimizar su interacción con la plataforma.

8 Conclusiones

SIHCA constituye una contribución relevante para la gestión de datos hidrológicos en la región de influencia del IHLLA, al automatizar el ciclo completo de captura, normalización, procesamiento y visualización. A diferencia de las herramientas genéricas o enfoques de visualización pura analizados previamente, la solución propuesta se diferencia al articular de forma nativa todo este flujo operativo, integrando la estandarización autónoma de archivos heterogéneos y el cálculo “al vuelo” de indicadores hidrológicos de nicho en una sola plataforma de código abierto. El sistema reduce de manera sustancial la intervención manual rutinaria, mejora la consistencia de los datos disponibles para análisis y ofrece una base tecnológica abierta, reproducible y escalable.

Como líneas de evolución a futuro, se proyecta la incorporación de alertas activas ante condiciones anómalas, la formalización de pruebas automatizadas y la optimización de consultas mediante mecanismos de caché o bases en memoria. Asimismo, resulta prioritario el fortalecimiento de las rutinas de control de calidad; esto incluye la formalización de reglas adicionales como la detección de saltos no plausibles, períodos prolongados de sensor fijo, o la validación cruzada entre variables relacionadas (por ejemplo, corroborar lógicamente que un aumento brusco en el nivel limnimétrico esté respaldado por un evento de precipitación en la misma zona). Finalmente, una futura versión del manuscrito podría incluir una evaluación con métricas operativas y retroalimentación de usuarios para consolidar la evidencia de impacto.

9 Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA) por el soporte institucional y la provisión de la infraestructura necesaria para el desarrollo, validación y testeo en campo del sistema y la inclusión del desarrollo de SIHCA dentro del Proyecto FITBA 2024

Referencias

- [1] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [2] CAE. (s.f.). *CAE*. Recuperado de <https://www.cae.it/>
- [3] FastAPI. (s.f.). *FastAPI documentation*. Recuperado de <https://fastapi.tiangolo.com/>
- [4] FREEWAT Project. (s.f.). *Free and open source software tools for water resource management*. Recuperado de <https://freewat.eu>
- [5] Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- [6] HydroVisE. (s.f.). *Web-based visualization and evaluation of hydrologic data*. Recuperado de <https://hydrovise.com>
- [7] Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA). (s.f.). *Base de Datos Hidrológica*. Recuperado de <https://ihlla.org.ar>
- [8] Instituto Nacional del Agua (INA). (s.f.). *Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH)*. Recuperado de <https://snih.hidricosargentina.gob.ar>
- [9] Leaflet contributors. (s.f.). *Leaflet: An open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps*. Recuperado de <https://leafletjs.com/>
- [10] Plotly Technologies Inc. (s.f.). *Plotly JavaScript Open Source Graphing Library*. Recuperado de <https://plotly.com/javascript/>
- [11] PostgreSQL Global Development Group. (2024). *PostgreSQL 17 documentation*. Recuperado de <https://www.postgresql.org/docs/17/>
- [12] Vives, L., Abrile, P., Clausse, A., Lorenzo, J., Varni, M., Vénere, M., Usunoff, E., & Fernández-Jáuregui, C. (2001). *Propuesta para la gestión de la información en cuencas hidrográficas*. Seminario Internacional sobre Manejo Integral Cuencas Hidrográficas, Rosario, Argentina.
- [13] Vives, L., Abrile, P., Bastan, N., Clausse, A., Lorenzo, J., Usunoff, E., Varni, M., Vénere, M., & Fernández-Jáuregui, C. (2002a). *Gestión de la información hidrológica por internet. Aplicación a la cuenca del arroyo Azul*. XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- [14] Vives, L., Abrile, P., Bastan, N., Clausse, A., Lorenzo, J., Usunoff, E., Varni, M., Vénere, M., & Fernández-Jáuregui, C. (2002b). *Un sistema soporte de información para los estudios y gestión sustentable de los recursos hídricos*. Congreso XXXII IAH y VI ALHSUD, Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano, Mar del Plata, Argentina.
- [15] Vives, L., Abrile, P., Bastan, N., Clausse, A., Lorenzo, J., Usunoff, E., Varni, M., Vénere, M., & Fernández-Jáuregui, C. (2002c). Una metodología para la gestión de información hidrológica. *Mecánica Computacional*, 21, 528-540. Schulz, C.,
- [16] Vives, L., & Abrile, P. (2006). *Sistema soporte de gestión de la información hidrológica de la provincia de La Pampa, Argentina*. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Asunción, Paraguay.