



Apoyo a la Implementación de Proyectos Enfocados en la Planificación Hídrica y la Gestión de los Recursos Hídricos con Enfoque NEXO en Argentina mediante el uso del modelo HydroBID-ALLOC



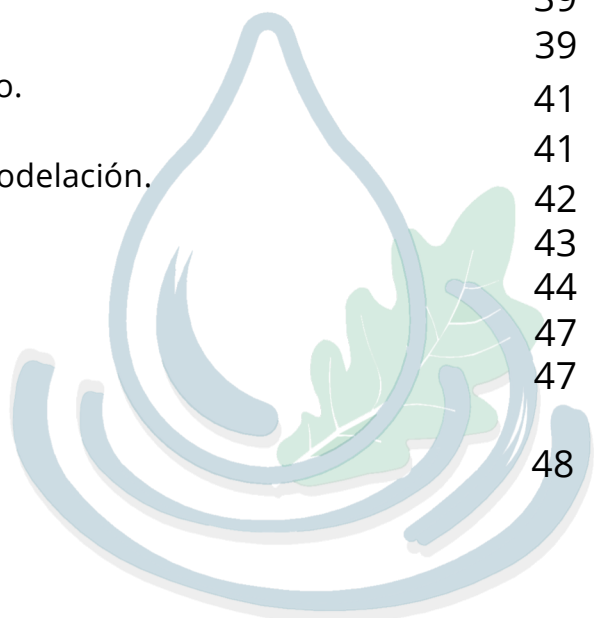
Junio, 2024

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.	05
1.1	Centro de Soporete HydroBID: un soporte para la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.	06
1.1.1	Líneas de Acción.	06
1.1.2	Valor Agregado del CeSH.	08
1.1.3	Servicios del CeSH.	10
1.2	HerramientasHydroBID: Innovación para la gestión de los recursos hídricos.	10
1.2.1	HydroBID WAM (Water Assesment Model).	10
1.2.2	HydroBID ALLOC (Water Allocation Model).	12
1.2.3	HydroBID Flood.	14
1.3	La Cooperación Técnica AR-T1270 "Apoyo a la Implementación de Proyectos Enfocados en la Planificación Hídrica y la Gestión de los Recursos Hídricos con Enfoque NEXO"	16
2.	OBJETIVOS.	17
3.	CASOS DE ESTUDIO.	17
3.1	Cuenca Neuquén	17
3.1.1	Importancia de la Cuenca.	17
3.1.2	Objetivo del Caso de Estudio.	18
3.1.3	Datos Hidroclimáticos.	19
3.1.4	Topología del Sistema de Modelación.	19
3.1.5	Escenarios Analizados.	21
3.1.6	Resusltados Principales.	22
3.1.7	Conclusiones Principales.	23
3.1.8	Instituciones Participantes.	23

Contenido

3.2	Cuenca Colorado	24
3.2.1	Importancia de la Cuenca.	24
3.2.2	Objetivo del Caso de Estudio.	25
3.2.3	Datos Hidroclimáticos.	25
3.2.4	Topología del Sistema de Modelación.	26
3.2.5	Escenarios Analizados.	28
3.2.6	Resusltados Principales.	29
3.2.7	Conclusiones Principales.	32
3.2.8	Instituciones Participantes.	32
3.3	Cuenca Vipos	32
3.3.1	Importancia de la Cuenca.	32
3.3.2	Objetivo del Caso de Estudio.	33
3.3.3	Datos Hidroclimáticos.	33
3.3.4	Topología del Sistema de Modelación.	34
3.3.5	Escenarios Analizados.	35
3.3.6	Resusltados Principales.	36
3.3.7	Conclusiones Principales.	38
3.3.8	Instituciones Participantes.	39
3.4	Cuenca La Encadenadas	39
3.4.1	Importancia de la Cuenca.	39
3.4.2	Objetivo del Caso de Estudio.	41
3.4.3	Datos Hidroclimáticos.	41
3.4.4	Topología del Sistema de Modelación.	42
3.4.5	Escenarios Analizados.	43
3.4.6	Resusltados Principales.	44
3.4.7	Conclusiones Principales.	47
3.4.8	Instituciones Participantes.	47
4.	RESULTADOS.	48



Figuras

Figura 1.	Cuencas de los ríos Limay Neuquén y Negro. (Fuente: AIC, 2023)	18
Figura 2.	Ubicación estaciones hidrometeorológicas de la cuenca Neuquén.	19
Figura 3.	Configuración del modelo de la cuenca del río Neuquén en WaterALLOC. Se muestra en verde la cuenca activa y en marrón la cuenca del modelo de demanda.	20
Figura 4.	Escenario 3 – Embalse conjunto Los Barreales y Mari Menuco.	22
Figura 5.	Escenario 3 – Tramo El Chañar.	22
Figura 6.	Mapa de la Cuenca del Río Colorado.	24
Figura 7.	Estaciones meteorológicas del tramo regulado de la cuenca Colorado.	26
Figura 8.	Red de MODSIM en tramo regulado de la cuenca Río Colorado.	27
Figura 9.	Desvinculación red de MODSIM a la altura de la Casa de Piedra. Piedra (Referencias: A-Sumidero; B- Nodo no almacenamiento).	27
Figura 10.	Volumen almacenado en embalse Casa de Piedra bajo diferentes escenario.	30
Figura 11.	Deficiencias en las demandas agrícolas y poblaciones.	31
Figura 12.	Recorrido de la traza del acueducto desde la toma en Vipos hasta la planta potabilizadora en San Miguel de Tucumán.	33
Figura 13.	Precipitación y temperatura media mensual para el período 1956-2022.	34
Figura 14.	red MODSIM en la cuenca del río Vipos.	35
Figura 15.	Curvas de caudales hacia nodo est.421	36
Figura 16.	Ubicación general de la cuenca Las Encadenadas	40
Figura 17.	Principales cuerpos de regulación.	40
Figura 18.	Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Las Encadenadas.	42
Figura 19.	Esquema topologico de la red de MODSIM.	43
Figura 20.	Mapa caudales totales generados por subcuencas – Serie 1998/2019	40

Figuras

Figura 21.	Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E2.	45
Figura 22.	Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E3.	45
Figura 23.	Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E4.	46

Tablas

Tabla 1.	Estadísticos de calibración.	29
Tabla 2.	Valores temporales de demandas no cubiertas para cada escenario bajo diferentes usos.	37
Tabla 3.	Valores de volumen de demandas no cubiertas para cada escenario bajo diferentes usos.	38



1. Introducción

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ofrece asistencia técnica y financiera para proyectos de infraestructura en agua y saneamiento, irrigación, control de inundaciones, transporte y energía, muchos de estos proyectos dependen de los recursos hídricos y pueden verse afectados negativamente por el cambio climático y otros eventos que alteren la disponibilidad de agua, tal como el crecimiento demográfico y cambios en el uso de los suelos asociados con la urbanización, crecimiento industrial y la agricultura. Evaluar el potencial de cambio futuro en la disponibilidad de agua, y desarrollar una planificación acorde a este elemento, es un paso importante para garantizar que se cumplan con las metas operacionales, financieras y económicas. La planificación y la priorización de los proyectos son esenciales para construir lo que es realmente necesario y lo que genera mayores beneficios sociales (BID, 2020) y contribuir con el desarrollo territorial sostenible y resiliente.

Se considera importante también evaluar las implicaciones de tales proyectos en la distribución de los recursos hídricos disponibles entre los usuarios y los usos del agua que compiten entre sí, con el fin de mitigar potenciales conflictos y asegurar que los proyectos puedan satisfacer los planes de desarrollo regional de largo y mediano plazo, así como la preservación de los servicios esenciales de los ecosistemas.

Con el fin de ayudar a los países miembros del BID para abordar el desafío de disponibilidad de información suficiente y necesaria para una gestión de los recursos hídricos adecuada y sostenible, el BID ha desarrollado un conjunto de herramientas de simulación conocidas como HydroBID, integrado por 3 herramientas, 2 herramientas integradas para la planificación y gestión: HydroBID WAM (Water Assessment Model) y HydroBID ALLOC (Water Allocation Model), y una herramienta para la gestión, planificación del territorio y diseño de infraestructura: HydroBID Flood.

1.1 Centro de Soporte HydroBID: un soporte para la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe.

En 2016 con el apoyo de la Fundación Pepsico el BID ha creado el Centro de Soporte HydroBID (CeSH) para brindar soporte técnico a los países miembros del BID con la finalidad de promover la Seguridad Hídrica (SH) al apoyar el fortalecimiento en la gestión integrada y planificación de los recursos hídricos, adaptación, mitigación y preparación ante eventos hidrológicos extremos y apoyar la preparación y ejecución de programas de inversión resilientes y sostenibles, en línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6: “Asegurar disponibilidad y manejo sostenible del agua y el saneamiento para todos” y el ODS número 13: “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, proveyendo herramientas, sistemas, soluciones analíticas, apoyo técnico y fortalecimiento institucional.

1.1.1 Líneas de Acción

La Estrategia Institucional del Grupo BID renueva la misión del Banco de ser el socio preferente de América Latina y el Caribe, con el compromiso de abordar las vulnerabilidades de la región y liberar su potencial para fomentar un progreso social y económico transformador, al tiempo que combate activamente el cambio climático. Establece la dirección estratégica del Grupo hasta 2030 para lograr un nuevo nivel de impacto y escala en la región, definiendo un nuevo capítulo en nuestra historia, al que llamamos BIDImpact+.

La estrategia cuenta con tres objetivos que se refuerzan mutuamente constituyen el núcleo de la Estrategia Institucional, impulsando la acción en toda la gama de nuestros proyectos de desarrollo:

Primer Objetivo: Reducir la Pobreza

Para reducir la pobreza es fundamental aumentar el acceso y la calidad de los servicios públicos, en particular la salud, la educación, el agua, el saneamiento y la electricidad, y asegurar la cobertura de las necesidades básicas como la seguridad hídrica y alimentaria. Usando las herramientas de HydroBID el CeSH apoya en la preparación y ejecución de programas de inversión. Este apoyo técnico incluye la evaluación de diseños y/o preparación de información

básica (por ejemplo, balances hídricos, estudios oferta-demanda, efectos del cambio climático, efectos del cambio de uso de suelos, áreas de inundación, análisis costo-beneficio de propuestas, etc.) El soporte cubre las siguientes áreas: aguas superficiales y subterráneas, evaluación y mitigación de eventos naturales extremos (inundaciones y sequías), drenaje urbano, sistemas de abastecimiento, riego, energía, ecosistemas y embalses multipropósito. Con esta línea de acción el CeSH contribuye a la realización de inversiones resilientes y sostenibles y garantiza la seguridad hídrica, alimentaria y energética.

Secundo Objetivo: Abordar el Cambio Climático

El cambio climático, la degradación del medio ambiente y de los recursos naturales y la pérdida de biodiversidad amenazan la seguridad alimentaria e hídrica, aumentan la morbilidad y la mortalidad humanas, perturban la prestación de servicios y reducen la productividad laboral, lo cual afecta desproporcionadamente a los segmentos pobres y vulnerables de la población. En las ciudades de América Latina y el Caribe y en la cuenca del Amazonas, la deforestación está alcanzando un punto de inflexión. La región también enfrenta los efectos devastadores de los desastres naturales, tanto en términos humanos como económicos. La degradación de los recursos naturales y la pérdida de biodiversidad están colocando una presión insostenible en los ecosistemas terrestres y acuáticos y los servicios esenciales que proveen a los seres humanos (por ejemplo, alimento, purificación del agua, control de inundaciones, secuestro de carbono). Al mismo tiempo, para evitar el peligroso aumento de la temperatura en el mundo, los países deben alcanzar la meta de cero emisiones netas para 2050. El surgimiento de nuevas tecnologías renovables y la notable reducción de los costos de adopción gracias a la innovación generan una oportunidad única para que la región avance hacia la consecución de estos importantes objetivos.

El Grupo BID concentrará sus esfuerzos en la adaptación y la gestión del riesgo de desastres para ayudar a la región a abordar los efectos adversos del cambio climático, que persistirán a pesar de la reducción de las emisiones. El fomento de la gestión del riesgo de desastres desempeñará un papel decisivo en esta tarea por medio de inversiones específicas en la reducción del riesgo, el apoyo a reformas de política que fortalezcan el marco de gobernanza para ese tipo de gestión, el refuerzo de la resiliencia física y digital de la infraestructura y el fortalecimiento de las redes de protección social a fin de resguardarlas de los fenómenos climáticos adversos y los desastres naturales, entre otras medidas.

Desde el CeSH trabajando en colaboración con la división de Cambio Climático incorporamos los efectos del cambio climático en la variabilidad temporal, espacial y volumétrica de los fenómenos climáticos de modo de incorporar estos escenarios en las simulaciones y garantizar que las infraestructuras cumplan con los criterios de resiliencia y sostenibilidad climática. El centro también apoya los procesos de fortalecimiento de los servicios hidrometeorológicos nacionales con la finalidad de promover la generación de datos de calidad con la densidad espacial y temporal necesaria para un adecuado análisis climático.

Tercer Objetivo: Fortalecer el Crecimiento Sostenible.

Otro desafío con respecto a la Seguridad Hídrica en ALC es la débil estructura institucional con profesionales poco capacitados y la dispersión y fragmentación de competencias sobre los recursos hídricos. Con el propósito de fortalecer la gobernanza y las instituciones el CeSH se encarga del diseño de programas de capacitación a la medida y la ejecución de talleres de transferencia de conocimiento internas y a nivel regional. Adicionalmente, es importante resaltar que las herramientas de HydroBID son de código abierto para garantizar el uso sostenible de las organizaciones capacitadas.

Para reactivar el sector productivo, la digitalización y una adopción más rápida de nuevas tecnologías es esencial. Los países de ALC poseen pocas herramientas que les permiten llevar a cabo una correcta GIRH, pero sobre todo no disponen de información suficiente que satisfaga la necesidad de las condiciones iniciales de su realidad. Así mismo, el CeSH se encarga del mantenimiento, actualización y desarrollo de funcionalidades de las herramientas HydroBID, HydroBID WaterALLOC y HydroBID Flood en colaboración con sus socios técnicos y universidades de la región.

1.1.2 Valor Agregado del CeSH

Uno de los valores agregados del CeSH es su metodología de implementación y acompañamiento que lo hacen una iniciativa única a nivel mundial. El proceso de implementación guiada en donde los técnicos de las agencias implementan los proyectos con acompañamiento de consultores expertos garantiza la transferencia de conocimientos con un alto nivel técnico, adicionalmente los equipos de trabajo tienden a ser multisectoriales lo que impulsa la colaboración y las conversaciones miradas a la apertura de la disponibilidad de información y la creación de sistemas de información nacionales en lugar de sistemas de información sectoriales.

Adicionalmente, el CeSH ha creado la Comunidad de Prácticas (COP) para integrar a toda la comunidad de usuarios y promover el intercambio de experiencias y de capacidades técnicas. La COP cuenta con un número creciente de expertos certificados en el uso de las herramientas del CeSH. Estos técnicos apoyan activamente todas las líneas de acción del CeSH. También la COP cuenta con un evento de carácter anual: el Encuentro de la Comunidad de Prácticas (ECOP), un espacio que propicia el intercambio de conocimientos y es el punto de encuentro de la comunidad a cargo de la gestión de los recursos hídricos de América Latina y el Caribe. En el encuentro participan representantes de diferentes niveles de la gobernanza y gestión de los recursos hídricos en ALC, así como la comunidad académica y de investigación. Con esta línea de acción se manifiesta el papel del Grupo BID como institución de liderazgo.

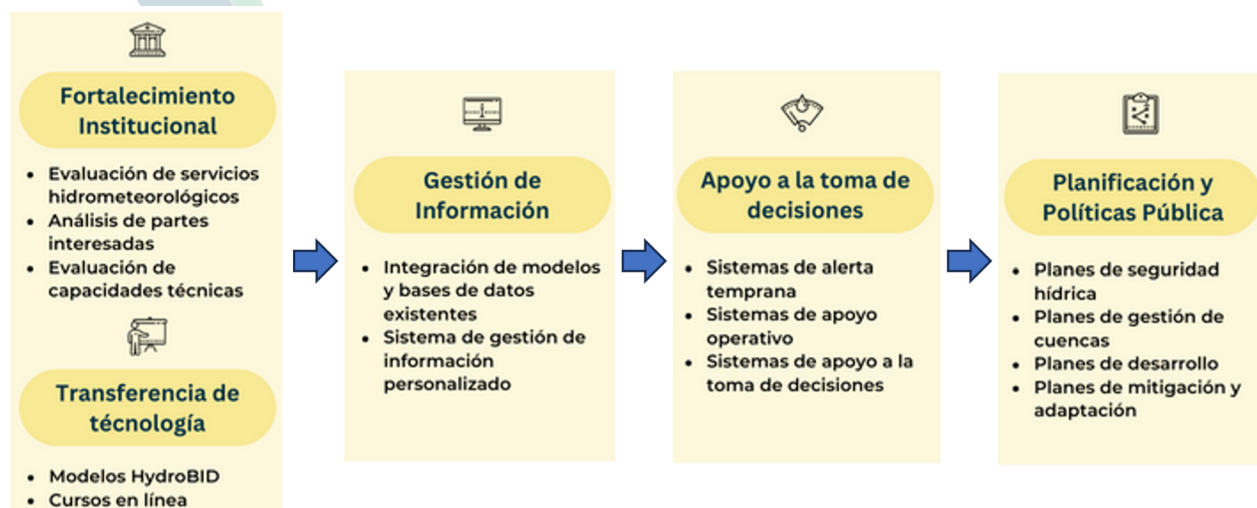
El CeSH en colaboración con el sector de Conocimiento, Innovación y Comunicaciones del BID (KIC) lanza de manera bianual el curso en línea de HydroBID, con capacidad para 150 personas que cuentan con la asistencia de tutores certificados con esto se logra fortalecer el uso del conocimiento y la pericia a nivel de todo el Grupo BID.

Por otra parte, el proceso de implementación guiada del CeSH garantiza la culminación de proyectos en un lapso no superior a 6 meses, en un proceso se pueden llevar adelante múltiples proyectos simultáneamente lo que tiene una relación costo/beneficio considerablemente alto. Del 2016 al 2022 se generaron proyectos con un valor equivalente de 7,350,000 USD invirtiendo únicamente 1/3 de ese monto. A partir del 2018, el equipo interno del CeSH ha realizado estudios por un valor aproximado de 2.750.000 USD apoyando a 20 proyecto de inversión a en diversos sectores. Estos esfuerzos ayudan al Banco a mejorar la eficiencia de la preparación y ejecución de programas de inversión y aumentar al máximo su impacto financiero en la región.

1.1.3 Servicios del CeSH

Servicios externos del CeSH

Programa de apoyo técnico a la gestión integrada del recurso hídrico



Servicios internos del CeSH

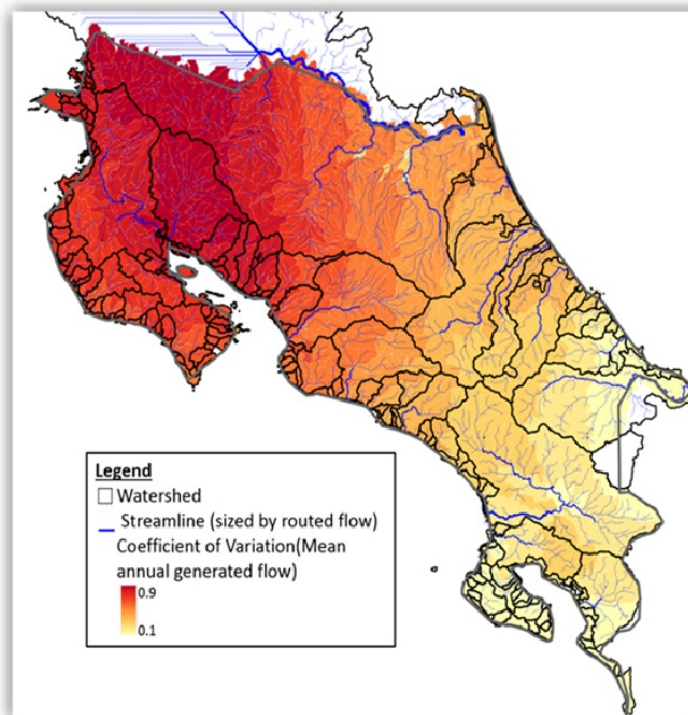
Apoyo en la preparación y gestión de operaciones de préstamo y transferencia de conocimiento a las unidades usuarias de las suit Hydrobid.

1.2 Herramientas HydroBID: innovación para la gestión de los recursos hídricos

1.2.1 HydroBID WAM (Water Assessment Model).

El sistema de modelización HydroBID (Moreda, Miralles-Wilhelm, & Muñoz Castillo, 2014) para la simulación cuantitativa de la hidrología y el cambio climático tiene tres componentes principales: el Conjunto de Datos Hidrográficos Analíticos (AHD), la base de datos y el modelo hidrológico (Rineer, Bruhn, Miralles-Wilhelm, & Muñoz Castillo, 2014). El AHD es una representación digital de los límites de las cuencas y de los segmentos de los arroyos para toda la región de LAC, que contiene más de 230.000 cuencas con un tamaño medio de 83 km² para América del Sur y 23 km² para América

Central y el Caribe. El AHD es una plataforma regional de datos espaciales utilizada para integrar los datos dispares necesarios para apoyar la modelización hidrológica. Proporciona un marco para la parametrización coherente de los modelos, proporciona la conectividad necesaria de la red fluvial y almacena los datos necesarios para mostrar los resultados en un formato de Sistema de Información Geográfica (SIG). La base de datos contiene información asociada a cada cuenca, incluyendo el área de drenaje, la longitud de la corriente, la pendiente, los usos del suelo y los tipos de suelo. El modelo hidrológico es una versión mejorada del modelo de función de carga de cuenca generalizada (GWLF) de precipitación-escorrimento (Haith, Mandel, & Shyan Wu, 1992), junto con una novedosa metodología de retardo desarrollada por RTI (Moreda, Miralles-Wilhelm, & Muñoz Castillo, 2014)



El modelo calcula la escorrentía y el caudal base por cuenca. El GWLF estima la escorrentía utilizando el método del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Los CN de las cuencas se almacenan en la base de datos y se determinan por la combinación de las condiciones del suelo y de la cobertura del terreno de la cuenca, que se representan como grupos hidrológicos del suelo, tipo de cobertura, tratamiento y condición hidrológica. Después de las estimaciones de

escorrentía, el exceso de precipitación se infiltra en la capa no saturada, donde está sujeta a la evaporación. Con el tiempo, el agua infiltrada se filtra desde la capa no saturada hacia abajo para reponer el almacenamiento saturado. El agua dentro de la capa saturada entra en el canal del arroyo como flujo de base, donde se combina con la escorrentía de la cuenca y cualquier entrada de las cuencas aguas arriba para proporcionar el volumen de flujo del arroyo para el día.

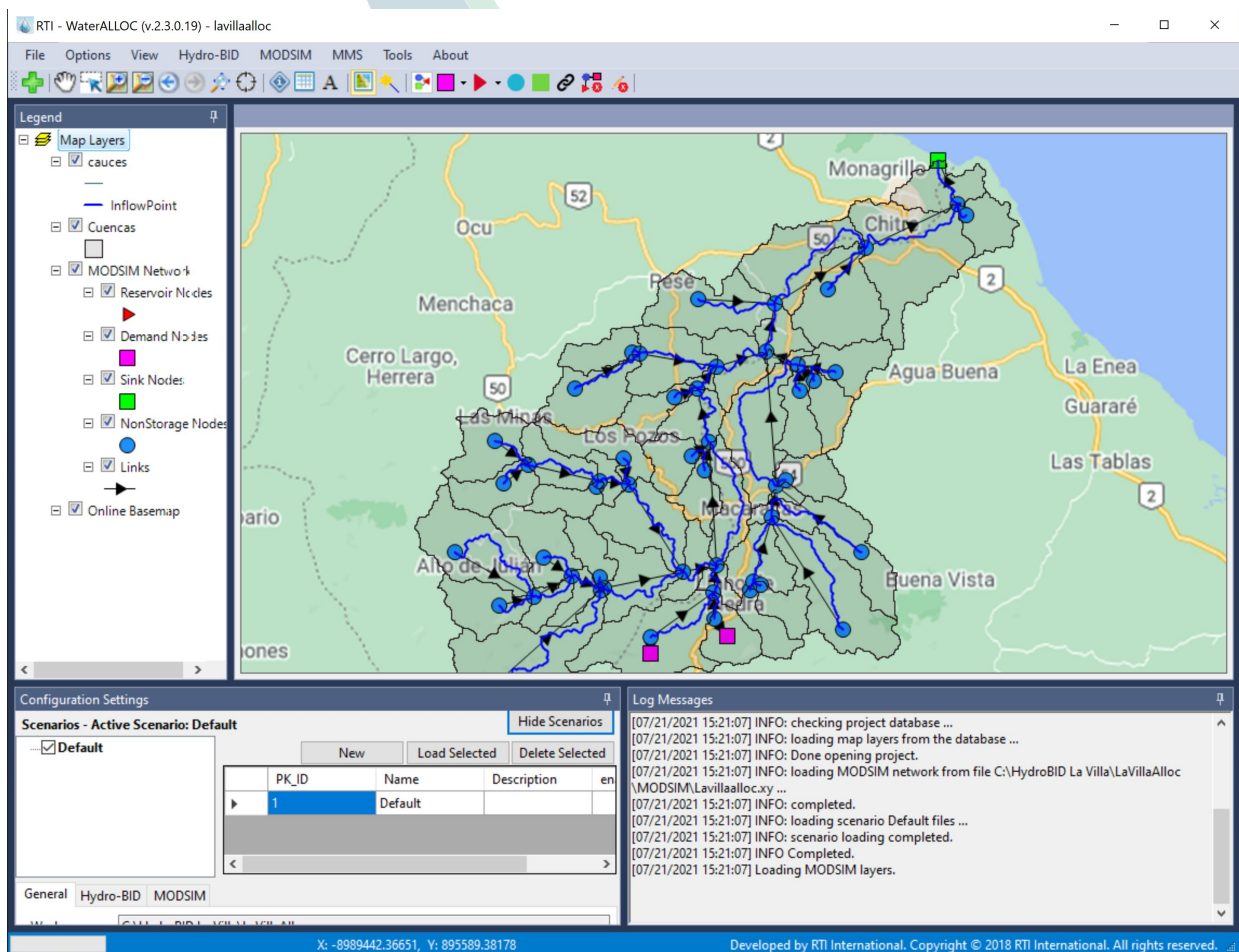
El modelo hidrológico utiliza la estructura de datos y las topologías de las redes de captación y de los arroyos del AHD para generar estimaciones de caudal a la salida de cualquier captación o cuenca seleccionada por el usuario. Además de la generación de caudales, HydroBID incluye otros módulos para 1) la simulación de embalses, 2) el transporte de sedimentos y 3) las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas mediante MODFLOW (Moreda & Coli Valdes, HydroBID Case Study No. 3: Impact of El Niño Events on Sediment Loading in the Chancay-Lambayeque Basin, Peru, 2016).

Del 2015 al 2017 se realizó un periodo de pilotaje en que se ejecutaron estudios en 5 cuencas de ALC: Cuenca del Río Grande y del Río Bermejo en Argentina, Cuenca del Río Piura y de Chancay-Lambayeque en Perú y la cuenca Chalpi en Ecuador (Moreda, Miralles-Wilhelm, Muñoz Castillo, & Coli Valdes, Caso de Estudio de HydroBID N1: Modelo de Gestión del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Grande en Argentina, 2014; Moreda, Coli Valdes, Lord, & Corrales, 2016; Moreda & Coli Valdes, HydroBID Case Study No. 3: Impact of El Niño Events on Sediment Loading in the Chancay-Lambayeque Basin, Peru, 2016; Moreda & Coli Valdes, HydroBID Case Study No.5: Impact of Climate Change on Proposed Water Investments in Chalpi Basin, Ecuador, 2017; Moreda, Mirales-Wilhelm, Muñoz Castillo, & Coli Valdes, 2014).

1.2.2 HydroBID ALLOC (Water Allocation Model)

WaterALLOC ofrece una interfaz basada en el SIG que utiliza la representación de arroyos de AHD para crear una red de simulación de MODSIM e importa los resultados de HydroBID para agilizar el acoplamiento de los dos sistemas de modelización. MODSIM, desarrollado por la Universidad del Estado de Colorado, es un sistema de apoyo a la toma de decisiones que utiliza la optimización en una red de arroyos para ayudar a los gestores de cuencas hidrográficas en el análisis del suministro de agua ante la incertidumbre hidrológica y el crecimiento de la demanda (<http://modsim.engr.colostate.edu/>).

HydroBID ALLOC agiliza el procesamiento de datos entre HydroBID Wam y MODSIM, ofreciendo una solución para realizar el análisis de la disponibilidad del agua, integrando las operaciones de canales y embalses con la simulación de los permisos y prioridades del agua, utilizando todas las herramientas de operaciones de infraestructura. Esta herramienta crea la red de simulación de MODSIM automáticamente a partir de la red de base de datos AHD, utilizando las cuencas y los arroyos para definir los enlaces y nodos de la red de MODSIM. HydroBID ALLOC vincula los resultados de la escorrentía local de HydroBID WAM a los nodos de entrada de MODSIM para simular el escurrimiento de los flujos en los cauces de una cuenca. Con la herramienta se pueden crear nodos de demanda georreferenciados para simular la toma y el consumo de agua en función de la disponibilidad de agua en distintos puntos de la cuenca y de acuerdo con los permisos, las prioridades y las limitaciones físicas e hidráulicas del sistema.



La nueva y robusta plataforma de modelización ofrece una solución racionalizada para la gestión de datos entre los modelos y la capacidad de realizar un análisis exhaustivo del balance hídrico que incluya las reglas de funcionamiento de las infraestructuras hídricas, las prioridades de asignación de agua y las limitaciones administrativas y sociales. Además, la plataforma permite simular cambios dinámicos en la cubierta del suelo, la demanda de agua, la población, las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas y el clima (Machado, et al., 2020).

1.2.3 HydroBID Flood

HydroBID Flood es un modelo hidrodinámico/hidrológico bidimensional desarrollado para el Banco Interamericano de Desarrollo que tiene como motor de cálculo el modelo bidimensional RiverFlow2D el modelo combina simulación hidráulica e hidrológica, evolución del fondo y transporte de contaminantes para ríos, estuarios y llanuras de inundación. HydroBID Flood es capaz de calcular el tránsito de crecientes en ríos y simular inundaciones sobre llanuras y terrenos complejos, incluso pluviales y costeras, con una alta resolución, velocidad de cálculo remarcable, gran estabilidad y precisión. EL modelo permite la incorporación de infraestructura como canales, vertederos, alcantarillas y puentes y gracias a la interfaz dinámica con el modelo EPA SWMM permite el desarrollo de simulaciones integradas entre escorrentía superficial y su interacción con los sistemas de microdrenajes urbanos convirtiéndose en una herramienta esencial para el diseño y monitoreo de planes maestros de drenaje. HydroBID Flood también incluye módulos de calidad de agua y transporte de sedimentos. Las capacidades hidrológicas del modelo incluyen lluvia, infiltración y evaporación especialmente distribuidas. También cuenta con la funcionalidad de cálculo del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua (Hydronia LLC, 2020).



El uso de mallas de celdas triangulares adaptables al terreno permite resolver el flujo alrededor de áreas complejas clave en cualquier entorno fluvial o urbano. La interfaz de usuario de HydroBID Flood está basada en el Sistema de Información Geográfica QGIS, el cual a través de un complemento (plugin) provee la funcionalidad necesaria para el tratamiento de todos los datos espaciales y la representación gráfica de resultados. Este complemento incluye herramientas interactivas para generar y refinar la malla usando objetos familiares de GIS, como puntos, arcos (polilíneas) y polígonos para construir una representación de alto nivel del modelo, facilitando la asignación de condiciones de contorno y del parámetro n de Manning que representa la rugosidad del fondo de cada celda. Esto permite al usuario gestionar de forma efectiva el proceso de modelado. HydroBID Flood ofrece un amplio conjunto de opciones para crear mapas de resultados, visualización 3D, animaciones y exportación de gráficos a Google Earth.

1.3 La Cooperación Técnica AR-T1270 "Apoyo a la Implementación de Proyectos Enfocados en la Planificación Hídrica y la Gestión de los Recursos Hídricos con Enfoque NEXO"

La cooperación técnica AR-T1270 "Apoyo a la Implementación de Proyectos Enfocados en la Planificación Hídrica y la Gestión de los Recursos Hídricos con Enfoque NEXO" del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), ha tenido como objeto apoyar al Ministerio de Obras Públicas (MOP) de la República de Argentina a través de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, en el marco de la operación de préstamo AR-L1346 Programa de Gestión de Recursos Hídricos y Acueductos en Provincias de Argentina, impulsando un programa de fortalecimiento institucional enfocado en la gestión de los recursos hídricos, incluyendo procesos de implementación guiada de proyectos y transferencia de tecnología de los modelos HydroBID Wam e HydroBID Alloc del BID enfocada en programas de inversión.

Dentro del alcance de la cooperación técnica se incluyó un programa de transferencia tecnológica que fue implementado a través de varios talleres de capacitación donde se involucraron a diferentes agencias nacionales, organismos interjurisdiccionales de cuenca y otras agencias que solicitaron apoyo para abordar las necesidades específicas de manejo y gestión de los recursos hídricos. Entre los objetivos específicos se incluyó la adopción de los sistemas HydroBID a nivel nacional y la generación de información que pueda utilizarse para promover la toma de decisiones, mediante el desarrollo de sistemas de información geográfica y soporte a las decisiones. Además, se espera que la información generada por los modelos alimente acciones enfocadas en el desarrollo de planes de manejo a corto, mediano y largo plazo. En resumen, este programa tiene como finalidad mejorar la gestión integral del agua en Argentina, fortaleciendo las capacidades institucionales y promoviendo la adopción de tecnologías innovadoras.

2. Objetivo

El objetivo de esta nota técnica es presentar un resumen de los casos de estudio y aplicaciones del sistema de modelación HydroBID-ALLOC en cinco cuencas seleccionadas por los participantes del programa de capacitación. Adicionalmente se incluye las conclusiones y recomendaciones principales obtenidas de los casos de estudio.

3. Casos de Estudio

Durante el proceso de transferencia tecnológica, se llevó a cabo, en primer lugar, una capacitación basada en el manejo de los modelos HydroBID y HydroBID Alloc, a la par se procedió a la formación de diferentes grupos de trabajo, los cuales fueron organizados por cuenca de interés. Posterior al proceso de capacitación, cada grupo de trabajo configuró y calibró el modelo en su cuenca respectiva y analizó diferentes escenarios para la gestión de los recursos hídricos. A continuación, se presenta un resumen de cada caso de estudio realizado durante el programa transferencia tecnológica.

3.1 Cuenca Neuquén

3.1.1 Importancia de la Cuenca.

Las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro constituyen los cursos fluviales, íntegramente nacionales, más importantes del estado argentino (Figura 1). Las obras hidráulicas de propósitos múltiples, construidas en la región en las décadas de los 70 y 80, tuvieron como principales objetivos:

- La seguridad de las personas y los bienes ubicados en la cuenca
- La atenuación de las crecidas del río
- La disponibilidad de agua para garantizar el suministro de agua para consumo humano y riego.
- Producir energía para el sistema interconectado nacional (SIN).

Los objetivos arriba citados fueron satisfactoriamente cumplidos los primeros 30 o 40 años de operación de las represas. Sin embargo, específicamente los últimos 15 años se empezaron a detectar déficits en el cumplimiento de las coberturas, principalmente de riego.

Necesidades crecientes y en algunos casos antagónicas ocasionan que se observen conflictos por el uso competitivo del mismo recurso de disponibilidad acotada y decreciente. Se verifica, en la zona, una disminución de los caudales, sequías más prolongadas y extensas, reducción de la nieve acumulada, frecuencia mayor de incendios forestales y otros fenómenos asociados, que hace necesario prever alternativas de solución mediante herramientas de gestión, como el HydroBID ALLOC, para aportar criterios técnico-económicos fundamentales para la toma de decisiones.



Figura 1. Cuencas de los ríos Limay Neuquén y Negro.

3.1.2 Objetivo del Caso de Estudio.

Implementar HydroBID-ALLOC como una herramienta apropiada para evaluar las operaciones actuales y futuras de la infraestructura hídrica, analizando alternativas para una gestión apropiada del recurso. El modelo se aplicó en la cuenca del río Neuquén, debido a que es la que posee las mayores demandas, fundamentalmente de riego, y se ha constatado que el sistema falla en años de baja hidraulicidad.



Figura 3. Configuración del modelo de la cuenca del río Neuquén en WaterALLOC. Se muestra en verde la cuenca activa y en marrón la cuenca del modelo de demanda.

En este caso de estudio se propuso utilizar la serie de caudales históricas de la estación hidrométrica La Higuera – Paso de los Indios como entrada al modelo colocando para ello un nodo de afluencia de caudales. Los escenarios que se plantearon permitieron definir posibles comportamientos del sistema si se presentan caudales como los observados en dicho período. La configuración del modelo incluyó 1) Nodos de embalse para representar el compensador El Chañar y el comportamiento de los embalses Los Barreales y Mari Menuco; 2) Nodos de demanda para representar las demandas en áreas de riego y requerimientos de caudales mínimos aguas abajo del sistema; y 3) Nodos sin almacenamiento para permitir las derivaciones de caudal correspondientes. A través de elementos de vínculo se representó la conducción entre los nodos (afluencias, demandas, embalses) y la derivación de hacia el cauce natural del río Neuquén.

3.1.5 Escenarios Analizados.

Escenario 1 “Default”: Representa un esquema de embalses separados (Los Barreales y Mari Menuco), y se consideró el tramo de la derivación de Portezuelo Grande hacia el cauce natural del río Neuquén como un vínculo multilink, a modo de poder representar de manera diferenciada la operación para satisfacer demandas de riego de la operación para manejar crecidas extraordinarias.

Escenario 2 “Emblase único”: Representa un esquema de embalses equivalente, según el cual, por debajo de una cota determinada, ambos embalses se comportan como uno solo y por encima de dicha cota solo es función de la curva H-V de Los Barreales.

Escenario 3 “Emblase conjunto”: Representa un esquema de embalses conjuntos con Los Barreales y Mari Menuco funcionando como un solo embalse, representado con un nodo de almacenamiento.

3.1.6 Resultados Principales

De los escenarios modelados, al analizar los resultados cualitativamente se observó que el escenario que presentó un mejor ajuste fue el Escenario 3. En la [Figura 4](#), se observa los volúmenes modelados, que reproducen de manera general la evolución de los volúmenes históricos, aunque se aprecia que sigue habiendo un exceso en gran parte de los años modelados. Respecto a los caudales de este escenario [Figura 5](#), se observa que los mínimos ajustan mejor respecto de los otros escenarios, pero con erogaciones excesivas en los máximos, en particular cuando se alcanza la Franja de Atenuación de Crecidas (FAC).

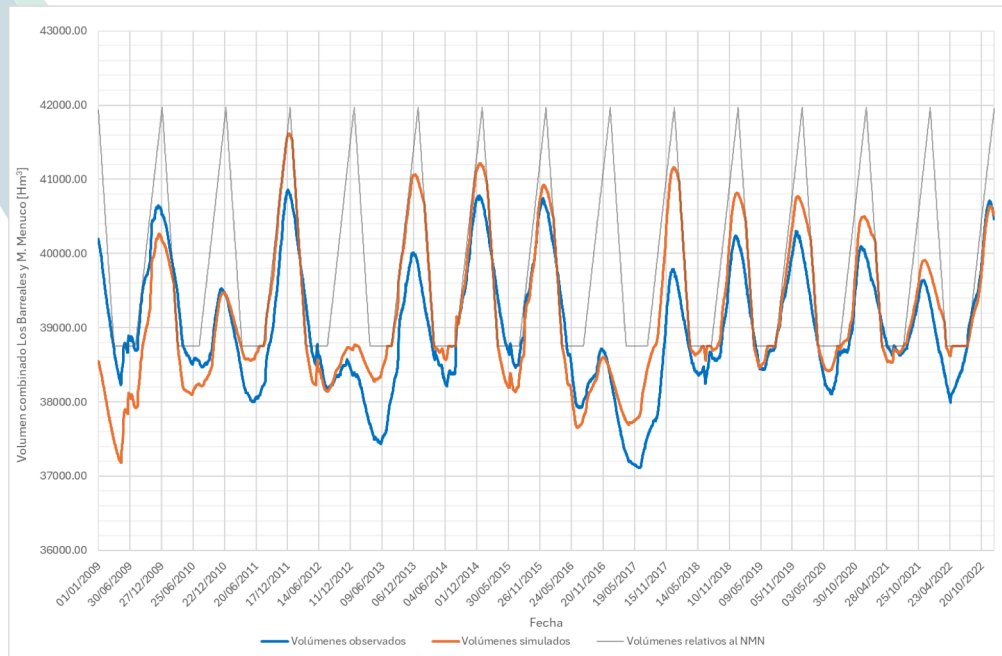


Figura 4. Escenario 3 – Embalse conjunto Los Barreales y Mari Menuco.

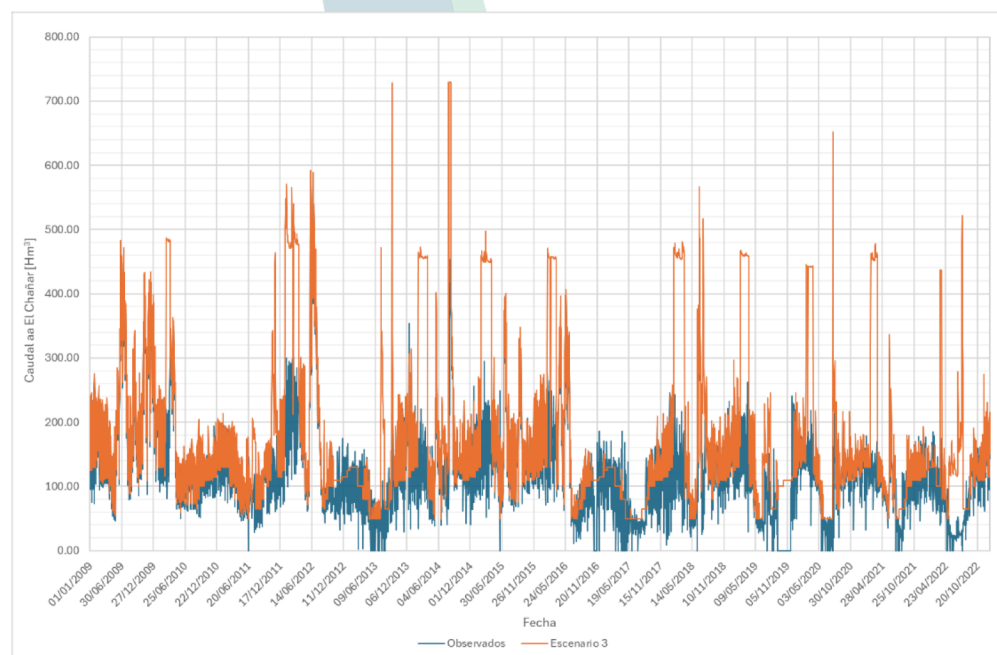


Figura 5. Escenario 3 – Tramo El Chañar.

3.1.7 Conclusiones Principales.

La modelación de los requerimientos hídricos presentó desafíos vinculados a la disponibilidad de la información actualizada de algunas de las variables explicativas. Si bien se considera que el nivel de incertidumbre existente en la definición de estas variables se manejó en forma aceptable, si se lo juzga a través de la comparación entre los resultados del modelo y los caudales observados, ello no excluye que sea deseable mejorar algunas de las estimaciones e hipótesis de trabajo realizadas en el presente ejercicio.

Entre los datos a ser actualizados y refinados en futuros estudios, uno de ellos es mejorar el ajuste de la superficie efectivamente irrigada y los consumos de agua para riego actuales y las demandas reales en cada zona y sus variaciones a lo largo del año.

En futuras etapas se recomienda avanzar en la modelación del acuífero subterráneo de tal forma de incorporar al modelo en forma más precisa, al menos para Alto Valle, la interacción entre la freática, el sistema de riego y el río Neuquén. Ello se debe a que: 1) existen significativas pérdidas por infiltración desde el sistema de riego hacia la freática que no retornan en forma inmediata al río Neuquén; 2) las erogaciones para generación hidroeléctrica en los embalses de aguas arriba elevan los niveles freáticos en ciertas épocas del año, reduciendo apreciablemente los requerimientos de riego para cultivos con desarrollo radicular profundo ubicados en parte de la zona de Alto Valle.

La implementación del modelo HydroBID ALLOC en la subcuenca del Río Neuquén, será de suma utilidad para el análisis de balances hídricos actuales y futuros, toma de decisiones respecto a la asignación de estos recursos hídricos, y la realización de análisis económicos. El modelo y sus herramientas de soporte de decisiones constituyen una base sólida para que los responsables de tomar esas decisiones puedan escoger de manera bien informada, entre las alternativas para diseños de proyectos de infraestructura, así como entre las alternativas de políticas de gestión de recursos hídricos.

3.1.8 Instituciones Participantes

AIC - Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro

SSRH - Subsecretaría de Recursos Hídricos de Neuquén

DPA - Departamento Provincial de Aguas de Río Negro
ORSEP - Organismo Regulador de Seguridad de Presas
UNComa - Universidad Nacional del Comahue
UNL - Universidad Nacional del Litoral.

3.2 Cuenca Colorado

3.2.1 Importancia de la Cuenca.

La Cuenca del Río Colorado (Figura 6) se encuentra en el Norte de la Patagonia Argentina, una región semi árida, siendo el recurso hídrico de los ríos Grande, Barrancas y Colorado, esencial para el desarrollo socioeconómico de los habitantes, vital como fuente para el abastecimiento humano, riego, ganadería y el uso industrial. El río Colorado es de régimen nival, por lo tanto, los mayores caudales se presentan durante el proceso de fusión nival, en primavera-verano (de octubre a febrero).

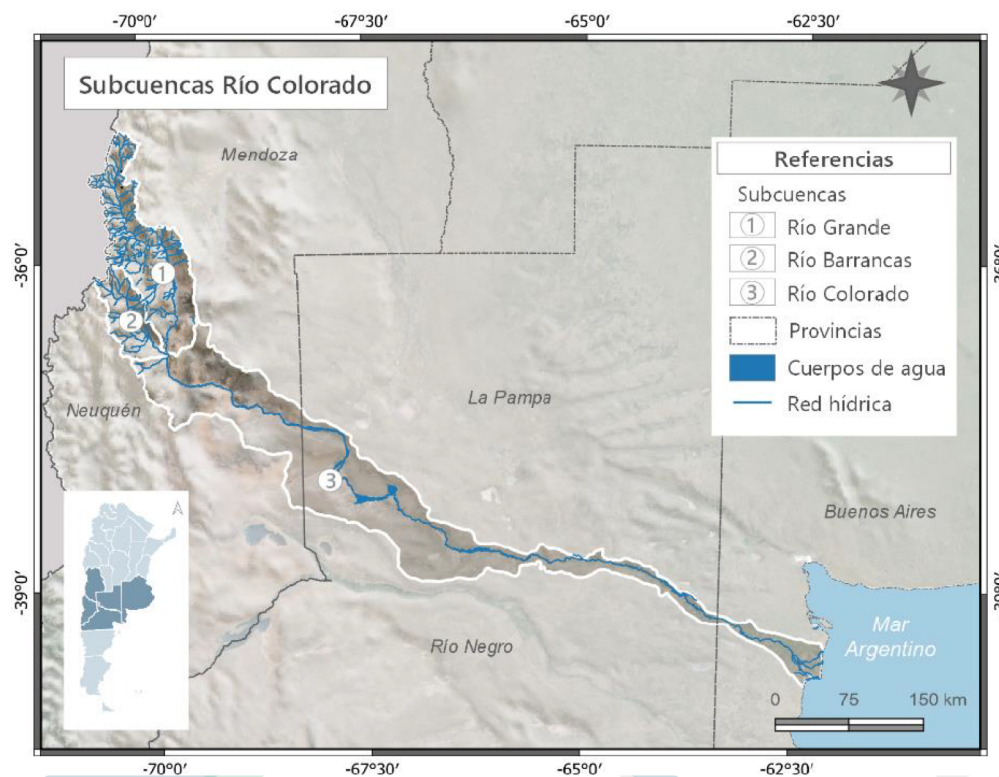


Figura 6. Mapa de la Cuenca del Río Colorado..

La continuidad de ciclos hidrológicos pobres puso en evidencia la necesidad de contar con mayor cantidad de información hidrometeorológica de la cuenca, así como la optimización de la gestión del recurso hídrico, a los efectos de la compatibilización de los diferentes usos del agua en toda la cuenca, promoviendo el seguimiento diario de las variables, para consensuar las acciones.

El agua del río Colorado es fuente para el abastecimiento humano para todas las localidades ribereñas que se encuentran en las márgenes del río. En toda la cuenca totalizan alrededor de 10 obras de toma para abastecimiento humano. El agua del río Colorado también es utilizada en la cuenca para el desarrollo de áreas bajo riego. Corresponde a la segunda prioridad de usos establecida en el Acuerdo del Colorado, y representa el mayor consumo consuntivo. Adicionalmente, el agua del río Colorado es utilizada con fines recreativos (balnearios), así como para generación de energía hidroeléctrica.

3.2.2 Objetivo del caso de Estudio.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto en los recursos hídricos de la cuenca del río Colorado frente a diferentes escenarios futuro. El modelo se desarrolló en el sector de la cuenca definida por el tramo regulado del río Colorado, es decir el tramo comprendido desde la Presa Casa de Piedra hasta la desembocadura en el Mar Argentino.

3.2.3 Datos Hidroclimáticos

Se utilizaron datos de siete estaciones con registros diarios de precipitación y cuatro con registros diarios de temperatura entre 1998 - 2022 (Figura 7). Adicionalmente, se utilizaron tres estaciones de caudal para calibrar el modelo.



Figura 7. Estaciones meteorológicas del tramo regulado de la cuenca Colorado.

3.2.4 Topología del Sistema de Modelación.

Se generó la red de MODSIM en la interfaz de HydroBID-ALLOC adoptando algunas simplificaciones y/o suposiciones: 1) debido a que el área de estudio corresponde sólo al tramo regulado de la cuenca del río Colorado, se realizó un corte en la red de MODSIM para efectuar la calibración. El corte se realizó a la altura del embalse Casa de Piedra, para que se convierta en el punto de partida del modelo (Figura 8); 2) se desvinculó la red de MODSIM aguas arriba del embalse y se creó un sumidero, para que todo el caudal simulado aguas arriba de este nodo, recaiga en este punto; 3) se creó un nodo de no almacenamiento con el fin de convertirlo en el punto de partida del nuevo sistema, en el que se cargaron los registros de caudales diarios erogados desde el Embalse Casa de Piedra (Figura 9); y 4) se crearon nodos de demandas georreferenciados y vínculos para simular el consumo de acuerdo a permisos y limitaciones físicas.



Figura 8. Red de MODSIM en tramo regulado de la cuenca Río Colorado.

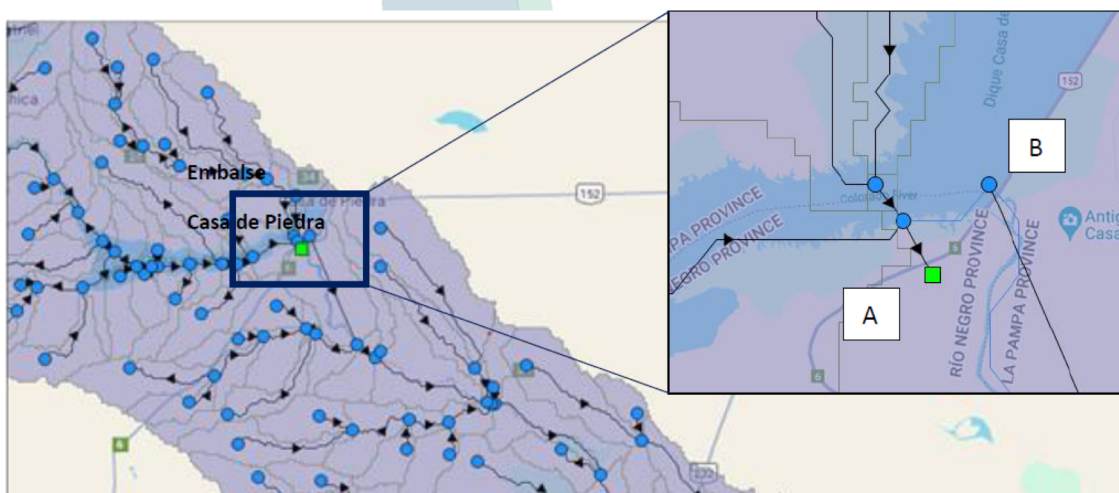


Figura 9. Desvinculación red de MODSIM a la altura de la Casa de Piedra. Piedra (Referencias: A-Sumidero; B- Nodo no almacenamiento).

3.2.5 Escenarios Analizados.

Escenario de Calibración: Representa la configuración de la cuenca en su contexto histórico. Se llevó a cabo la calibración del modelo de manera escalonada desde aguas arriba hacia aguas abajo, siendo la primera estación de calibración Pichi Mahuida.

Escenario línea base: Representa la operación del embalse en función de las demandas y las condiciones meteorológicas del tramo regulado. Incluye la incorporación de un nodo de reservorio que representa al embalse y de un nodo de no almacenamiento que representa los caudales de entrada (oferta) al embalse estimados a partir de los registros de caudales medios diarios para el período 1998 – 2022 en la estación Buta Ranquil.

Escenario Pesimista: Representa un incremento en la temperatura de 1.5oC, incremento de las precipitaciones del 20% y una disminución de las precipitaciones en la cordillera, resultando en reducción de los caudales ingresantes al embalse.

Escenario Optimista: Representa un incremento en la temperatura de 1.5oC, incremento de las precipitaciones del 20% y un incremento de las precipitaciones en la cordillera, resultando un incremento de los caudales ingresantes al embalse.

Escenario Pesimista + aumento de demandas agrícolas: Representa un incremento en la temperatura de 1.5oC, incremento de las precipitaciones del 20% y una disminución de las precipitaciones en la cordillera, resultando en reducción de los caudales ingresantes al embalse e incremento de las demandas agrícolas de Santa Nicolasa y Buenos Aires del 25% y el 5% , respectivamente.

Escenario Optimista + aumento de demandas agrícolas: Representa un incremento en la temperatura de 1.5oC, incremento de las precipitaciones del 20% y un incremento de las precipitaciones en la cordillera, resultando un incremento de los caudales ingresantes al embalse e incremento de las demandas agrícolas de Santa Nicolasa y Buenos Aires del 25% y el 5%, respectivamente.

3.2.6 Resultados Principales.

Los resultados de la calibración del modelo en tres estaciones hidrométricas se presentan en [Tabla 1](#), donde se puede observar que los estadísticos arrojaron valores óptimos.

Variable	Pichi Mahuida	Paso Alsina	Pte Ruta 3
Overall volume error (Ove)	2.87	5.23	13.96
Nash–Sutcliffe (NSE)	0.98	0.94	0.89
Coeff. Determination (R^2)	0.98	0.96	0.93
Coeff. Correlation (r)	0.99	0.98	0.96

Tabla 1. Estadísticos de calibración.

Analizando el volumen de agua ingresante al embalse para los escenarios futuros planteados, el escenario pesimista representa una disminución promedio del 24% con respecto al escenario de línea de base, mientras que para el escenario optimista el incremento promedio del volumen ingresante es del 32%.

La variación en la oferta hídrica representada por el ingreso al embalse tiene impacto en el volumen almacenado y disponible en el embalse Casa de Piedra. En la [Figura 10](#) se muestran los contrastes de volumen almacenado para cada uno de los escenarios modelados.

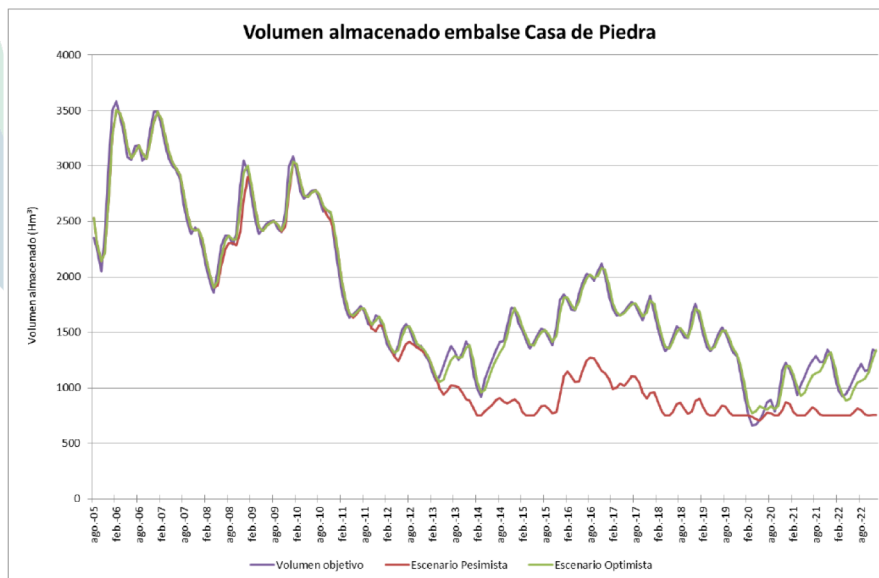


Figura 10. Volumen almacenado en embalse Casa de Piedra bajo diferentes escenario.

El Escenario Optimista, aun cuando se consideren incrementos en las demandas agrícolas aguas abajo del embalse, no se aprecian diferencias significativas entre el volumen almacenado y el volumen objetivo. No ocurre lo mismo para el Escenario Pesimista, donde se observa que el volumen almacenado en el embalse llega a valores mínimos a partir de abril 2013, con o sin aumento de las demandas aguas abajo del embalse. Claramente, el descenso en el volumen disponible en el embalse para los escenarios Pesimistas, tanto sin como con aumento de las demandas agrícolas, impactará en la superficie a regar.

Al disminuir los caudales de entrada al embalse Casa de Piedra, en el escenario Pesimista las demandas agrícolas no satisfechas aumentan 6 veces y cuando en el escenario Pesimista se incrementan las demandas, también aumentan las demandas insatisfechas en 8 veces. En ambos casos, solo los meses de junio y julio (baja demanda) no hay déficit. Cuando los caudales de entrada al embalse aumentan, los déficits en las demandas disminuyen casi un 50% con respecto a la línea base, aun teniendo en cuenta el aumento de las demandas. Estos déficits se dan, en ambos casos, en los meses de abril a mayo (Figura 11).

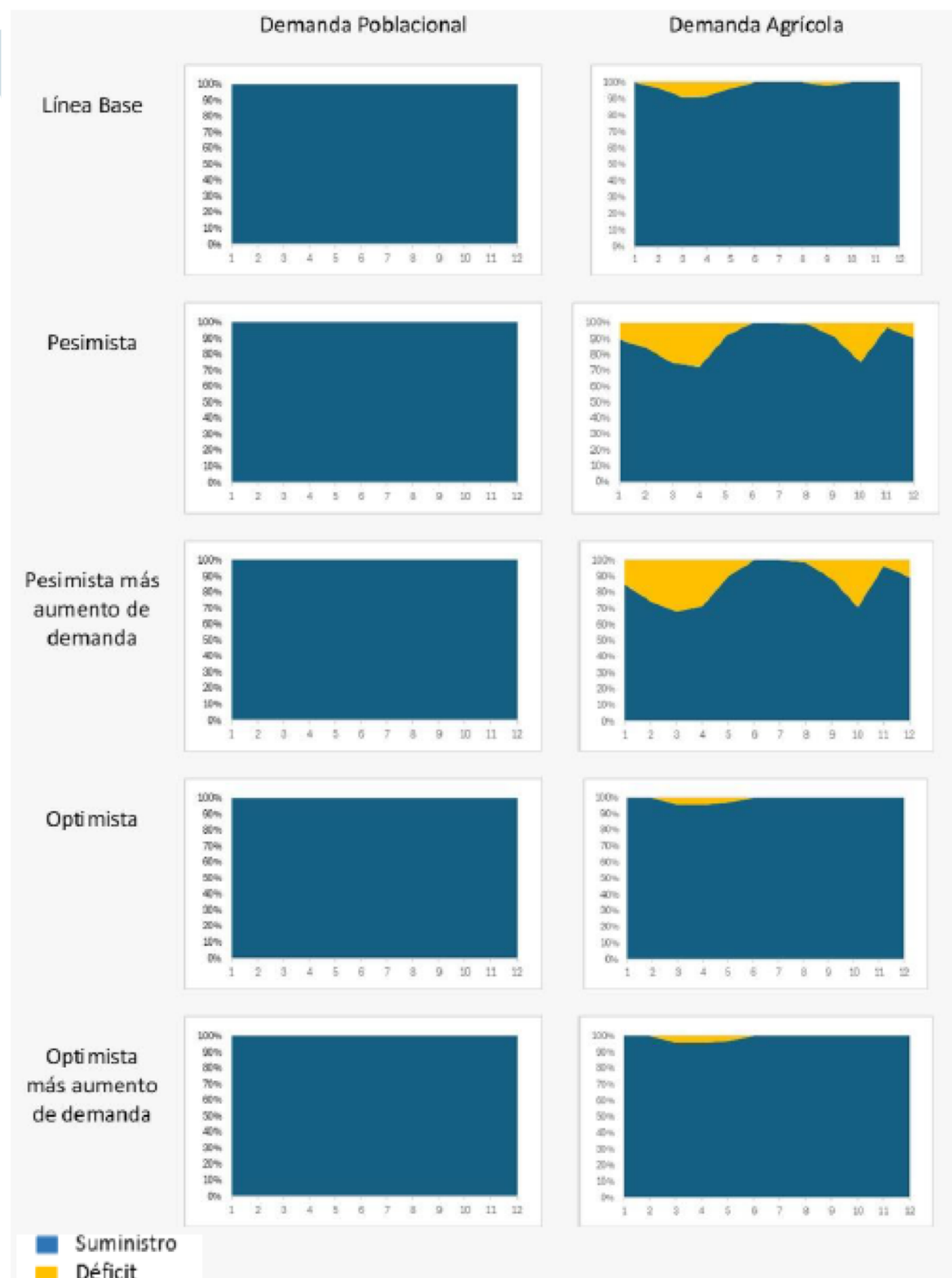


Figura 11. Deficiencias en las demandas agrícolas y poblaciones.

3.2.7 Conclusiones Principales.

En el proceso, análisis y preparación de la información de entrada requerida por el software se detectaron datos faltantes que fueron completados mediante distintos métodos de relleno de series y corroborados mediante pruebas de homogeneidad. Se destaca la importancia de contar con series completas de temperatura y precipitación, ya que el software requiere series completas para funcionar. Asimismo, de este ejercicio, se puso en evidencia que es necesario disponer de más información meteorológica.

En relación con los resultados, los errores mostraron un excelente ajuste del modelo en este tramo de la cuenca del Colorado y que HydroBID Alloc tuvo un buen rendimiento al representar los volúmenes mensuales del balance hídrico. Los hidrogramas mostraron una similitud entre los patrones del caudal simulado y el observado, presentando picos mucho mayores que los medidos en coincidencia con la ocurrencia de lluvias muy intensas.

3.2.8 Instituciones Participantes.

COIRCO - Comité Interjurisdiccional del Río Colorado

INA - Instituto Nacional del Agua

3.3 Cuenca Vipos

3.3.1 Importancia de la Cuenca.

La República Argentina cuenta con un Programa de Gestión de Recursos Hídricos y Acueductos en Provincias de Argentina (AR-L1346) financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo. Este Programa tiene como objetivo contribuir a mejorar la seguridad hídrica en el país a través de la construcción de obras de captación, almacenamiento, transporte, tratamiento y/o distribución de sistemas de agua para uso multipropósito y acciones para mejorar la eficiencia en el uso y gestión del agua en cuencas con problemas de seguridad hídrica y bajo condiciones de estrés hídrico. De esta forma, surge como parte de la muestra del Programa, el Proyecto "Optimización del servicio de agua potable para la comuna de Tapia, ciudad de San Miguel de Tucumán, Tafí Viejo y Villa Carmela provincia de Tucumán". El mismo

contempla la construcción de infraestructura (obra de captación, planta de potabilización y acueducto) en la cuenca Vipos que permitirá mejorar la provisión de agua potable en estas localidades.

El nuevo sistema de acueducto del río Vipos se compone de cuatro fases: captación, potabilización, transporte y distribución. La fase de captación incluye, entre otros elementos, la construcción de una obra de toma de agua superficial (azud) y drenajes horizontales a lo largo del río. El agua extraída será sometida a un proceso de potabilización una planta ubicada en las márgenes del río Vipos y posteriormente será transportada a través de un acueducto hasta los diferentes centros de distribución localizados en San Miguel de Tucumán (Figura 12)



Figura 12. Recorrido de la traza del acueducto desde la toma en Vipos hasta la planta potabilizadora en San Miguel de Tucumán.

3.3.2 Objetivo del Caso de Estudio.

Este trabajo pretende complementar y reforzar el proyecto a través de la utilización del software HydroBID Alloc, y con ello brindar información adicional a las partes interesadas para la gestión integral del recurso hídrico, contemplando las diferentes demandas bajo escenarios de población e infraestructura. La relevancia de la cuenca bajo análisis se centra en la implementación de un proyecto de infraestructura para el suministro de agua potable, el cual tiene como objetivo sustituir al actual sistema de acueducto que ha llegado al final de su vida útil.

3.3.3 Datos Hidroclimáticos.

Se utilizo datos de precipitación y temperatura diaria de una sola estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que tenía datos coincidentes con la estación de caudal. Adicionalmente, se utilizó una estación de caudal para calibrar el modelo. La [Figura 13](#) presenta la precipitación y temperatura mensual registrada en la estación meteorológica.

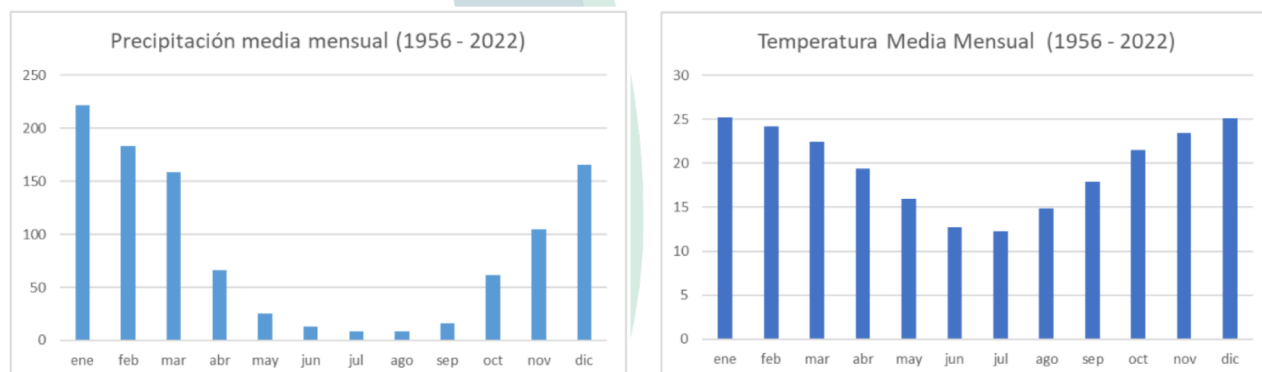


Figura 13. Pricipitación y temperatura media mensual para el período 1956-2022.

3.3.4 Topología del Sistema de Modelación

El sistema del río Vipos analizado está compuesto por 9 nodos, siendo 7 los correspondientes a cada subcuenca ([Figura 14](#)). Los otros 2 nodos (señalizados en la figura como nodo 5 y 6) fueron creados para representar la dinámica en el sistema respecto a la estación hidrométrica (nodo 5) y el caudal ecológico (nodo 6). Además, en la red se crearon 5 demandas (agua potable,

agrícola aguas arriba y abajo y caudal ecológico al inicio de la cuenca y al final de la misma) que corresponden a los usos del agua de la subcuenca. Cabe aclarar que como los datos de caudal medidos del río Vipos se sitúan en la parte media de la sub-cuenca, en este trabajo se creó un nodo intermedio (nodo 5), que divide las demandas agrícolas aguas arriba y aguas abajo del mismo. Para el caudal ecológico del sumidero se creó el nodo 6 que permite representar los retornos de este flujo en el sistema. La demanda de caudal ecológico fue establecida a la salida de la red, ya que se pretende reflejar un caudal base que se debe considerar para toda la red.

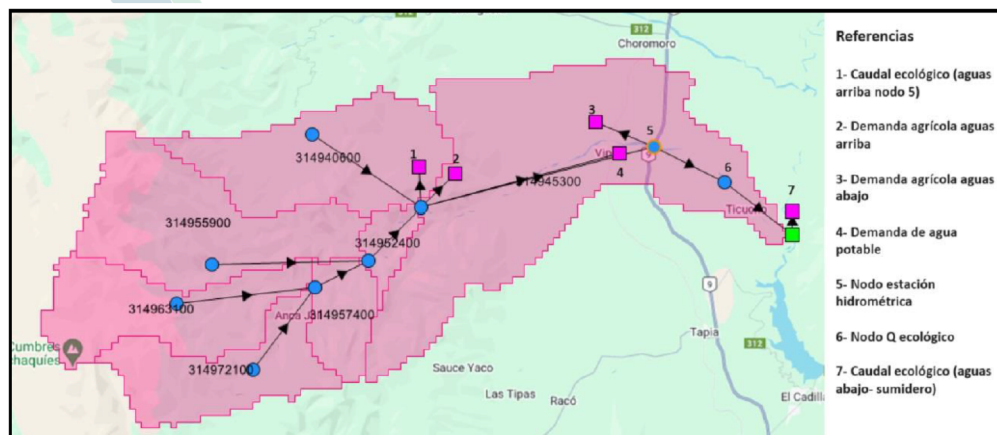


Figura 14. red MODSIM en la cuenca del río Vipos.

3.3.5 Escenarios Analizados

Escenario línea base 23: Representa la situación actual (para el año 2023) de los usos del agua en la cuenca del río Vipos.

Escenario con azud: Representa la situación con el proyecto de construcción de un azud sobre el río que tiene el fin de optimizar la captación de agua del río Vipos y abastecer una mayor cantidad de población alcanzando un total estimado para el inicio de operación de la obra (año 2025) de 179.381 habitantes, y la demanda anual obtenida fue de 143 gpcd calculada a partir de datos de consumo estimados del proyecto, sin pérdidas en el sistema.

Escenario con azud 2045: Representa la situación con el proyecto del azud al finalizar el período de diseño de la obra de 20 años (año 2045). Para este escenario, el total de la población abastecida con agua del río Vipos asciende a 242.000 habitantes, con una demanda anual de 120 gpcd calculada a partir de valores de consumo obtenidos del proyecto, sin pérdidas en el sistema. Se asume que la demanda agrícola permanece constante.

3.3.6 Resultados Principales

Existen pequeñas diferencias entre los distintos escenarios que son producto de los aumentos en la demanda de agua potable y la consideración del caudal ecológico. El escenario con mayor suministro es el de “línea de base 2023” (línea azul en la [Figura 15](#)) en el cual la demanda de agua potable es menor (menor población) y no se considera la demanda de caudal ecológico. Por otro lado, el escenario con menor oferta residual es el de “con azud 2045” donde la demanda de agua potable es la mayor y además tiene en cuenta el caudal ecológico.

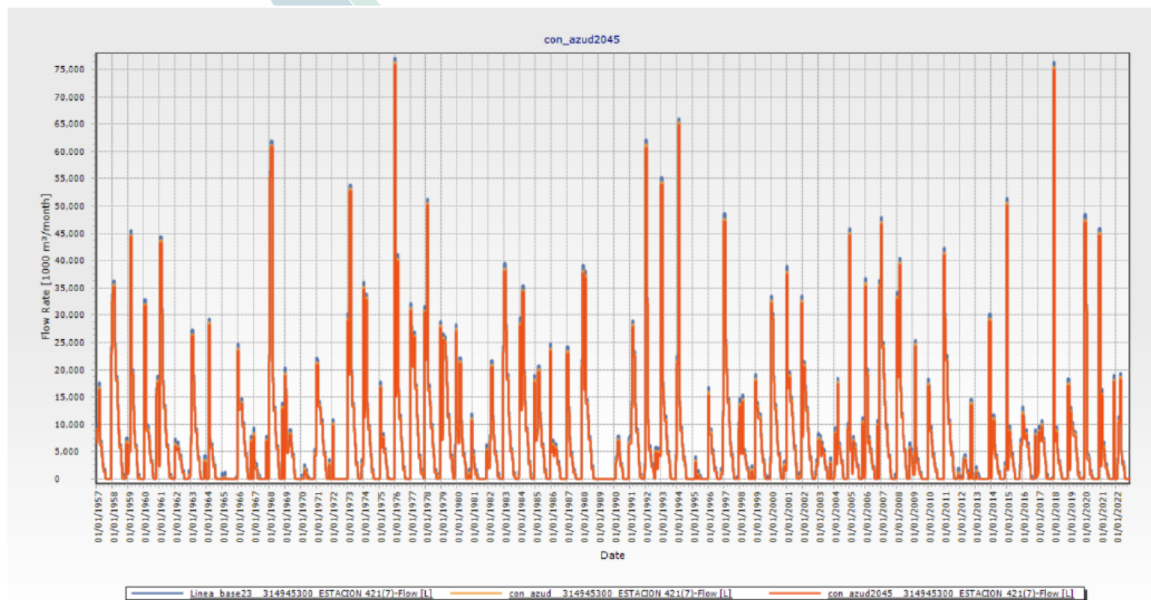


Figura 15. Curvas de caudales hacia nodo est.421

Otros de los aspectos importantes a resaltar de la [Figura 15](#) es que se observan periodos en los cuales el suministro es 0 y por lo tanto existirá deficiencia para alguna o todas las demandas. Para observar las diferencias de deficiencias entre las demandas, se generó la [Tabla 2](#) que resume la cantidad de meses en los cuales existe algún grado de deficiencias en algunas de las demandas.

Escenario	Demandas	Cantidad de meses con demanda no cubierta	Porcentaje de meses con demanda no cubierta (%)
Linea de base	Demanda agr. Aguas arriba	216	27.3%
	Demanda agr. Aguas abajo	274	34.6%
	Demanda agua potable	155	19.6%
Con azud	Demanda agr. Aguas arriba	258	32.6%
	Demanda agr. Aguas abajo	295	37.3%
	Demanda agua potable	211	26.7%
	Caudal ecológico est. 421	217	27.4%
Con azud 2045	Demanda agr. Aguas arriba	275	34.8%
	Demanda agr. Aguas abajo	294	37.2%
	Demanda agua potable	237	30.0%
	Caudal ecológico est. 421	241	30.5%

Tabla 2. Valores temporales de demandas no cubiertas para cada escenario bajo diferentes usos.

Se puede visualizar que existen deficiencias para todas las demandas, siendo menores para la demanda de agua potable seguido por el caudal ecológico (est. 421), luego la demanda agrícola aguas arriba y por último la demanda agrícola aguas abajo. Esto se debe a las prioridades generadas en el modelo, donde el consumo de agua es el prioritario (menor costo asociado) y por último la demanda agrícola aguas abajo (mayor costo).

Aunque la cantidad de días o meses sin poder suministrar una demanda es un dato relevante, es imprescindible para la gestión del recurso contar con información que permita identificar el volumen de agua que no se está supliendo. **Tabla 3** muestra el volumen de demanda que no logra satisfacerse con la disponibilidad del recurso hídrico del río Vipos para los distintos usos y para cada uno de los escenarios evaluados. En la misma se observa que mientras que los valores de déficit de la demanda para agua potable rondan entre 8 a 14%, para la demanda agrícola alcanzan valores más elevados, llegando al 44% para el escenario de mayor consumo (azud 2045).

Usos	Volumen de demanda no satisfecha (%)		
	Línea de base	Con azud	Con azud 2045
Agrícola Aguas arriba	31	40	44
Agrícola Aguas abajo	38	41	40
Agua potable	8	12	14
Caudal ecológico est. 421	-	12	14

Tabla 3. Valores de volumen de demandas no cubiertas para cada escenario bajo diferentes usos.

En resumen, la aplicación del modelo HydroBID-ALLOC permitió evaluar que, bajo la modelación de los diferentes escenarios planteados, la disponibilidad del recurso hídrico resulta limitada para las distintas demandas que componen el sistema. Aún en el escenario de menor intervención en el sistema (línea de base 2023), la escasez se hace presente, principalmente durante los meses de agosto a diciembre. Para la gestión de la demanda, es importante conocer los meses en donde el volumen promedio de deficiencias resulte el mayor, para así arribar a una mejor comprensión de las necesidades de abastecimiento.

3.3.7 Conclusiones Principales

La herramienta de HydroBID ALLOC permitió tener una aproximación del comportamiento del sistema hídrico del río Vipos que podrá servir como insumo para una gestión eficiente del recurso. Este programa permitió observar que, bajo la modelación de los diferentes escenarios planteados, la disponibilidad del recurso hídrico resulta limitada para las distintas demandas que componen el sistema. Aún en el escenario de menor intervención en el sistema (línea de base 2023), la escasez se hace presente.

La demanda de agua para consumo humano fue la demanda más variable por la proyección de aumento poblacional y la más prioritaria en asignación de recurso. A pesar de esto, se pudieron observar grandes porcentajes de deficiencia en el abastecimiento de la demanda debido a que se supera la capacidad que tiene el recurso de suplir la necesidad de abastecimiento.

La demanda agrícola presenta la mayor proporción no satisfecha si se compara con el resto de las demandas (agua para consumo poblacional y caudal ecológico). Esto se debe a que tiene la menor prioridad de asignación

del recurso en comparación a las otras demandas. Analizando el origen de las deficiencias, para la demanda agrícola aguas arriba se pudo observar que la mayor parte de los déficits de abastecimiento de la demanda, provienen de situaciones donde el suministro del río para esa demanda es 0. Esto permite comprender que el recurso es escaso y que además, otras demandas como la demanda de agua para consumo poblacional, ejercen una gran presión en el recurso.

Si bien los resultados de este ejercicio aportan que el recurso hídrico no alcanza para abastecer a las demandas en ciertos periodos de tiempo, es importante señalar que este trabajo parte de muchos supuestos y criterios debido a la inexistencia de datos robustos para la elaboración de la simulación.

3.3.8 Instituciones Participantes

UFE-ENOHSA – Unidad de Financiamiento Externo. Ente nacional de Obras Hídricas de Saneamiento.

3.4 Cuenca Las Encadenadas

3.4.1 Importancia de la Cuenca.

La cuenca Las Encadenadas se caracteriza por tener una topografía es de llanura con pendientes muy suaves. Las divisiones de aguas suelen ser difusas en varios puntos, lo que conlleva a que la escorrentía superficial pueda derivarse hacia diferentes direcciones. Además, incluso pequeñas alteraciones realizadas por la actividad humana, como la construcción de canales, terraplenes o caminos pueden tener un impacto significativo en la dinámica del agua.

Su denominación surge por el comportamiento no típico que posee de un sistema netamente llano, con interconexión de cuerpos de agua y líneas de bajos ([Figura 16](#)). La persistencia de años húmedos sumado al cambio en el uso de los suelos, dieron lugar a que, estas interconexiones lagunares se saturan minimizando su capacidad de contención de agua y generando anegamientos en zonas rurales como urbanas. Esto ocasionó además de cortes en vías de comunicación, la propuesta de ejecución de una obra de

defensa contra inundaciones en la localidad de Teodelina, ubicada en cercanías de la desembocadura de la cuenca, más precisamente, lindante a la Laguna El Chañar (cierre de cuenca).

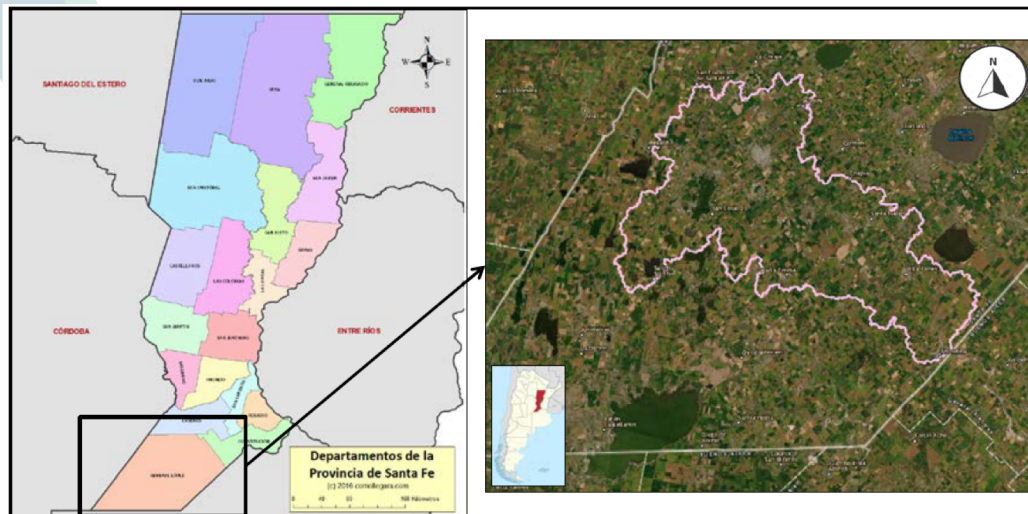


Figura 16. Ubicación general de la cuenca Las Encadenadas

Los cuerpos de aguas más importantes y que actúan como reguladores del sistema se presentan en la [Figura 17](#)

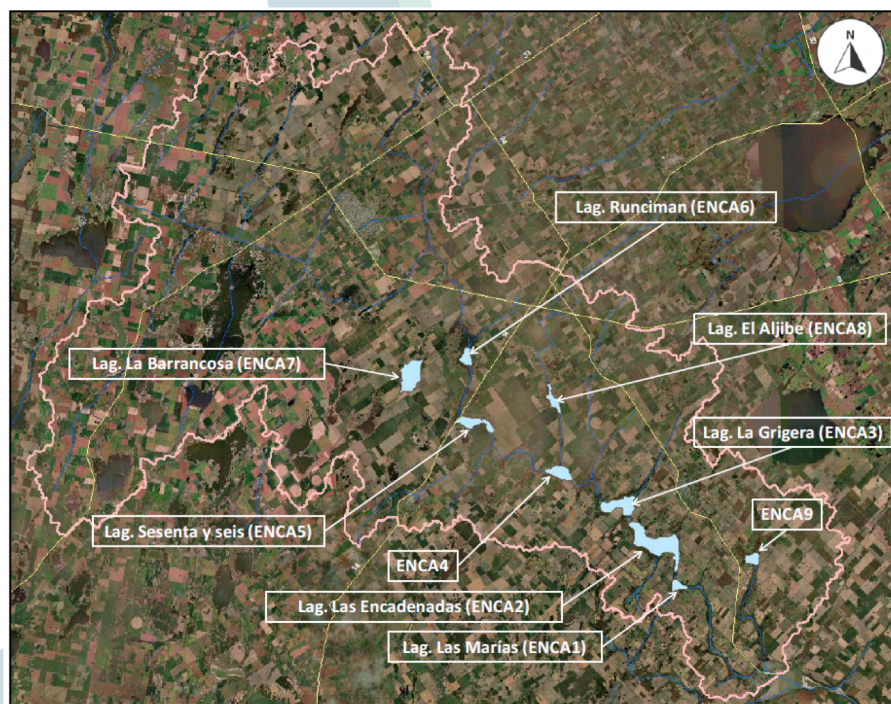


Figura 17. Principales cuerpos de regulación.

En la zona se tiene una densa red de vías de comunicación (caminos rurales, rutas y ferrocarriles), cuyas obras hidráulicas (puentes y alcantarillas) afectan el escurrimiento superficial a la vez que son afectados por el mismo. Existen además canalizaciones ejecutadas por entes oficiales y también de carácter clandestino realizadas por los propios productores en sus predios (zanjas, bordes, etc.) que influyen sobre el escurrimiento y el comportamiento de la capa freática.

La cuenca se caracteriza por presentar suelos de uso agrícola ganadero, quedando una superficie libre natural sin intervenir del 17% (pastizales/pradera). Estos valores indican que, a futuro, la superficie de la cuenca ya no admite un cambio en el uso de suelo respecto del actual.

3.4.2 Objetivo del Caso de Estudio.

El objetivo general de este trabajo es utilizar el modelo HydroBID-ALLOC para representar el proceso lluvia escorrentía que se produce en la cuenca, a fines de lograr cuantificar volúmenes y caudales para el diseño de obras que permitan la mitigación de las inundaciones y una mejora en las condiciones de encharcamiento.

3.4.3 Datos Hidroclimáticos.

Se utilizaron datos de precipitación y temperatura diaria de dos estaciones de campo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), con una serie temporal que abarca el período de 1998 al 2019 (Figura 18). Adicionalmente, se realizó un relleno de datos faltantes en las demás estaciones y variables utilizando información satelital; las fuentes de datos seleccionadas fueron USGS-UCSB CHIRPS para el caso de la precipitación y MERRA-2 para el caso de la temperatura.

Para la calibración del modelo se contó con información referida a aforos realizados en diversas fechas para un único punto dentro de la cuenca: el cierre en la Laguna El Chañar.

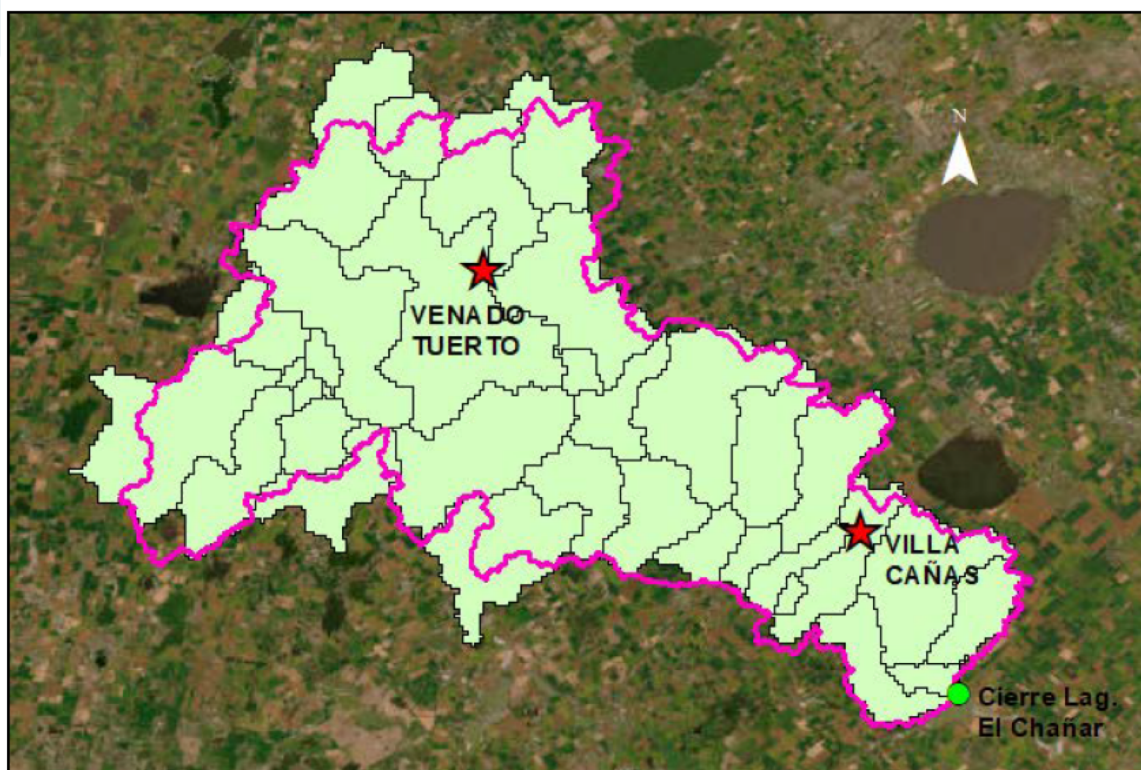


Figura 18. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Las Encadenadas.

3.4.4 Topología del Sistema de Modelación.

La topología del sistema se muestra en la [Figura 19](#), la cual cuenta con 1) los nodos azules que representan nodos de no almacenamiento (NonStorage); son puntos con entradas locales de HydroBID y se crean para cada subcuenca y confluencias de redes de flujos; 2) flechas que representan los enlaces entre las subcuencas y por donde se mueve el agua a través del sistema; 3) nodos verdes que representan sumideros y permiten que el exceso de agua salga del sistema y se utilizan generalmente para representar puntos de cierre de cuencas; y 4) nodos rojos que representan reservorios o almacenamientos que dependen exclusivamente de las estructuras de descargas o de curvas que representen la elevación – área – volumen de cada uno de ellos.

Escenario E3-Influencia del cambio climático en la variable temperatura: se consideró el estado actual de la cuenca en lo referido a uso de suelo e infraestructura y se incrementó la temperatura 1°C, sin incrementar la precipitación.

Escenario E4-Influencia del cambio climático en las variables precipitación y temperatura: se consideró el estado actual de la cuenca en lo referido a uso de suelo e infraestructura y se incrementaron de forma conjunta la precipitación (20%) y la temperatura (1°C).

3.4.6 Escenarios Analizados.

Del escenario E1 se observa que los mayores caudales escurridos se presentan en las subcuencas sobre el sector centro-oeste, lo cual resulta positivo desde el punto de vista hidrológico ya que sus aportes pueden ser amortiguados por el sistema de reservorios y así minimizar los caudales picos y los volúmenes que llegan al punto final de la cuenca (Laguna el Chañar). La [Figura 20](#) ilustra los caudales acumulados por cada una de las subcuencas que componen el sistema, para el período 1998 – 2019.

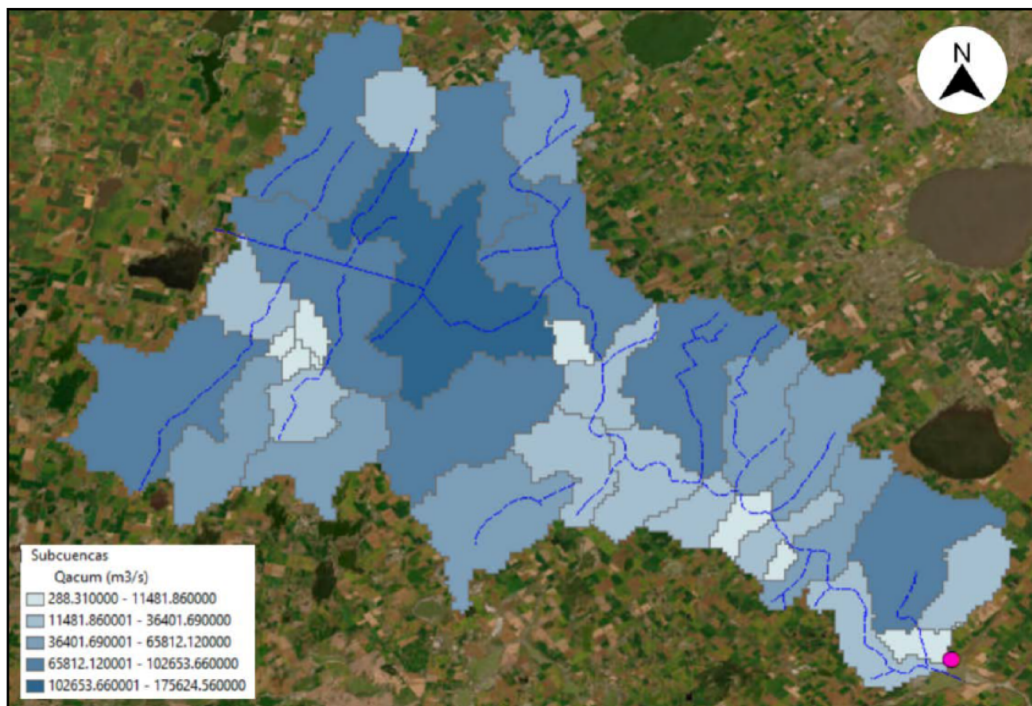


Figura 20. Mapa caudales totales generados por subcuencas – Serie 1998/2019

Comparando los escenarios E1 y E2, puede verse que el error en el volumen anual se incrementó más de un 80%, generando caudales medio anuales mayores (Figura 21). Esto era de esperarse debido a que un incremento de la precipitación impacta de forma directa sobre el escurrimiento del sistema, más aún en períodos donde los suelos se encuentran saturados sin poder de absorción.

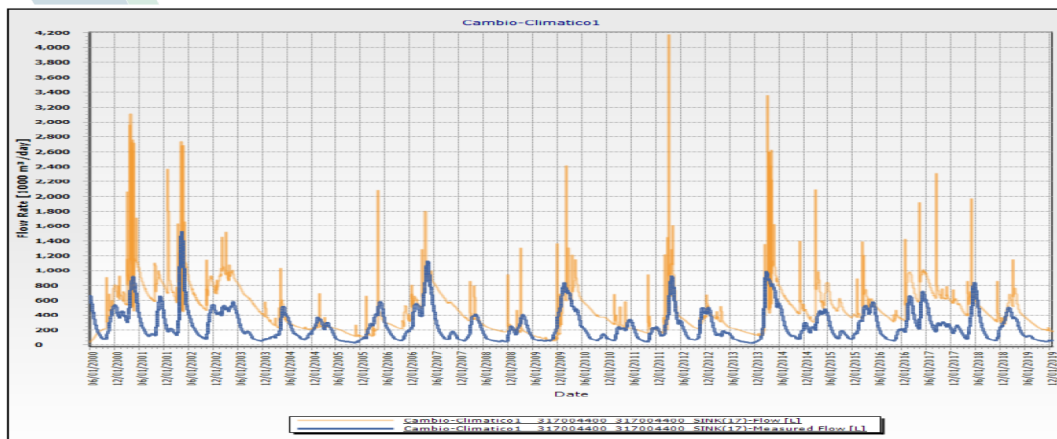


Figura 21. Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E2.

Comparando los escenarios E1 y E3, puede verse que el error en el volumen anual disminuyó en un 15%, generando caudales medio anuales menores (Figura 22). Esto era de esperarse debido a que un incremento de la temperatura impacta de forma directa sobre la evapotranspiración del sistema, generando así una disminución en la escorrentía y una ampliación de recepción de volúmenes de agua en los reservorios.

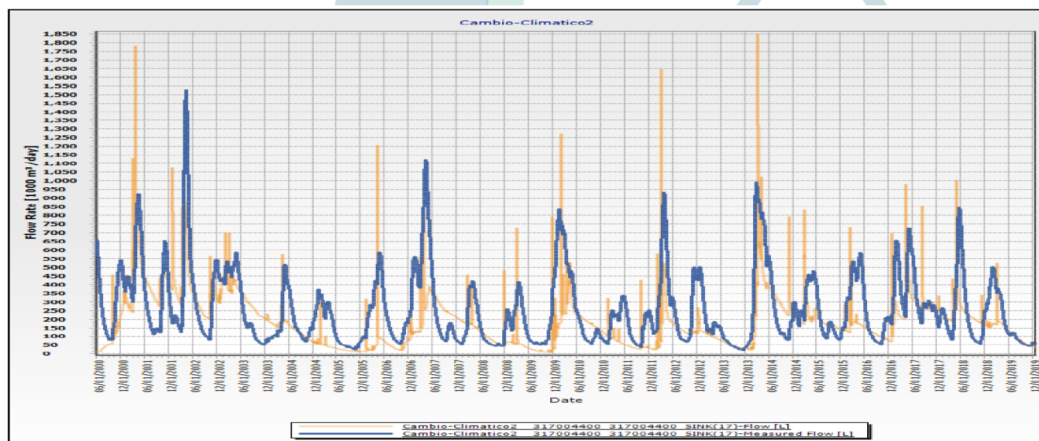


Figura 22. Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E3.

Comparando los escenarios E1 y E4, puede verse que el error en el volumen anual aumentó en un 80%, generando caudales medio anuales mayores (Figura 23). Aquí puede verse claramente la preponderancia de la variable precipitación por sobre la de temperatura, generando mayor peso la primera sobre esta última. La variable temperatura en este escenario juega un papel ínfimo respecto a la precipitación, logrando solamente disminuir un porcentaje del 10% comparado con el E2.

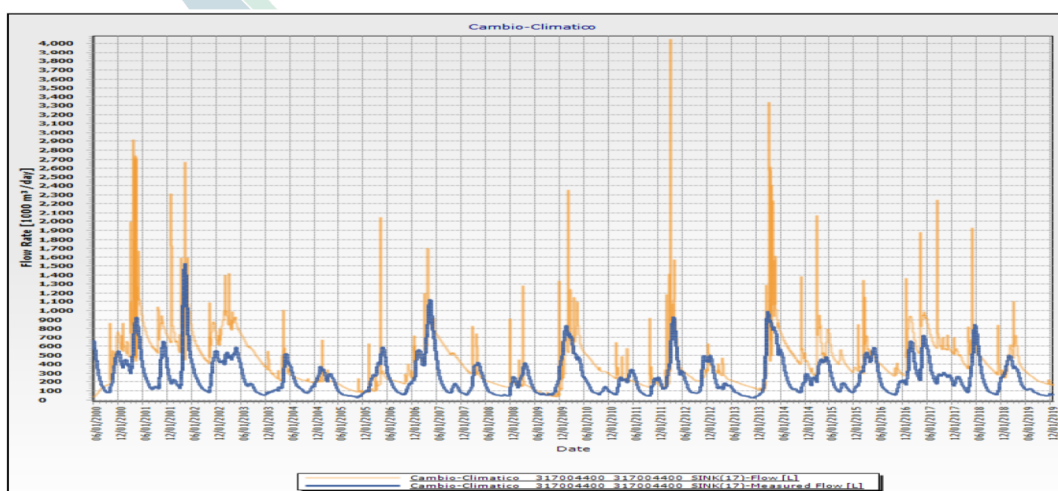


Figura 23. Comparación entre caudales observados y simulados en el escenario E4.

En lo que respecta a los almacenamientos/regulaciones, se debe tener en cuenta que un incremento en los volúmenes o caudales picos pueden generar el colapso o sobrepaso de agua por encima de las estructuras. Se debe prestar atención a los almacenamientos/regulaciones ubicadas más al oeste de la cuenca, ya que presentan cotas de coronamientos bajas en las obras hidráulicas y generan un sobrepaso del escurrimiento al llegar a este umbral, generando no solamente un corte en la red vial, sino que además, una disminución del amortiguamiento de los caudales ante eventos extremos o períodos prolongados de excesos hídricos.

3.4.7 Conclusiones Principales

La aplicación de la Herramienta de Delimitación Automática de Cuencas Hidrográficas (AHD) junto con la identificación de segmentos de cursos de agua y una base de datos asociada simplifica la tarea de preparar los datos para el modelo. Sin embargo, en áreas de cuencas de llanura que han sido intervenidas por la actividad humana, como canalizaciones, depresiones, etc., es necesario revisarla antes de su utilización, ya que podría contener errores de conectividad y dirección del flujo de agua, requiriendo ajustes.

Bajo el Escenario 4 (E4), el cual consistió en un incremento conjunto de la precipitación y la temperatura, el error en el volumen anual aumentó en un 80% con respecto al escenario E1, generando caudales medios anuales mayores. Los resultados reflejan la preponderancia de la variable precipitación por sobre la de temperatura, generando mayor peso la primera sobre esta última. La variable temperatura en este escenario juega un papel ínfimo respecto a la precipitación, logrando solamente disminuir un porcentaje del 10% comparado con el E2.

3.4.8 Instituciones Participantes

INA – Instituto Nacional del Agua



4. Recomendaciones

A continuación, presentamos una lista de las principales recomendaciones sugeridas por los usuarios durante los talleres de capacitación al sistema de modelación HydroBID-ALLOC.

- **Comunidad/Foro de consultas:** Sugerencia de generación de espacio virtual en donde se puedan volcar consultas, soluciones, errores, etc., conformada por miembros de una comunidad de profesionales que utilizan el software.
- **Tutoriales grabados:** Existencia de tutoriales cortos (videos, documentos, etc.) respecto a cómo utilizar distintas herramientas dentro del programa.
- **Interpretación de errores:** generar un glosario donde se encuentren los errores más típicos y la forma de solucionarlos.
- **Incorporación de módulo de saturación de perfil del suelo:** La predicción del comportamiento hidrológico en las áreas llanas conlleva una considerable incertidumbre debido a la complejidad del sistema. La respuesta hidrológica de estas regiones generalmente no puede ser caracterizada por relaciones aparentemente constantes entre la precipitación y la escorrentía, ya que se ven influenciadas por procesos no lineales significativos, como el ascenso del nivel freático hacia la superficie. Por tanto, se sugiere incorporar al modelo algún módulo de saturación del perfil del suelo por ascenso del nivel freático.
- **Mejorar el módulo nival:** Incorporación de mejoras al módulo nival que permita la representación más precisa de las contribuciones de la capa de nieve a la escorrentía superficial de la cuenca.
- **Datos de entrada tipo raster:** Permitir ingresar archivos de tipo raster en la Herramienta de Parametrización, especialmente para el dato de uso de suelo, de manera de poder ingresar el resultado de la clasificación de una imagen satelital, con las clases de suelo definidas en las tablas.