



MODELO HIDRO-ECONÓMICO PARA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE INVERSIÓN EN INICIATIVAS HÍDRICAS

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, FEBRERO 2022

Estudio elaborado por

 **Rodhos**
Asesorías y Proyectos SpA

Vaticano 4026 A, Las Condes, Santiago
Fono: +56 9 9895 5037
www.rodhos.org

Ministerio de Obras Públicas

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alfredo Moreno Charme

Director de Obras Hidráulicas
Sr. Claudio Darrigrandi Navarro

Departamento de Planificación
Sra. Margarita Díaz Bettancourt

Inspector Fiscal
Sr. Luis Alvear Cárdenas

RODHOS Asesorías y Proyectos SpA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil MBA Sra. Damaris Orphanópoulos Stehr

Especialista modelación
Dr. MSc. Ing. Civil Sr. Pedro Sanzana Cuevas

Apoyo modelación de interfaces
Ingeniero Civil Hidráulico (egr.) Sr. Josué Larenas Valenzuela

Apoyo modelación
Geógrafo Magister Desarrollo Urbano Sr. Rodrigo Villegas Salgado

Especialistas evaluación económica
Ingeniero Civil Industrial Sr. Carlos Pasten Abarca
Ingeniero Comercial Sra. Nicole Stuckrath Retamal

Especialista en innovación
Ingeniero Civil Hidráulico Sr. Fernando Calle Gardella

Alumno en práctica profesional, especialista lenguaje Python,
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Sr. Tomás Vallejos

**MODELO HIDRO-ECONÓMICO PARA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL
PLAN DE INVERSIÓN EN INICIATIVAS HÍDRICAS
RESUMEN EJECUTIVO**

Índice

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	5
2.	ANTECEDENTES SOBRE LA MODELACIÓN HIDRO-ECONÓMICA	6
3.	ANTECEDENTES SOBRE EL MODELO SELECCIONADO: MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA (MOS)	7
4.	CUENCAS SELECCIONADAS.....	9
5.	FORMULACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROECONÓMICA.....	11
5.1	Recopilación de iniciativas a ser modeladas	11
5.2	Formulación conceptual del modelo hidro-económico	11
5.3	Formulación de interfaces para el modelo hídrico	14
5.4	Formulación de la interfaz económica E	15
6.	OPERACIÓN DEL MODELO HIDRO-ECONÓMICO.....	18
6.1	Cuenca del Aconcagua	18
6.2	Cuenca del Choapa	22
6.3	Cuenca del Huasco	24
7.	CAPACITACIÓN Y DIFUSIÓN.....	26
7.1	Capacitación	26
7.2	Página web	26
7.3	Afiche.....	28
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
8.1	Conclusiones.....	29
8.2	Recomendaciones	32
9.	REFERENCIAS.....	37

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El presente estudio, llamado "Modelo Hidro-Económico para revisión y actualización del Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas", fue contratado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), mediante la Resolución 3818 del 4 de Diciembre de 2020, con la empresa RODHOS Asesorías y Proyectos SpA

Este servicio se considera parte de la Fase 2 del proyecto Plan de Inversiones en Infraestructura Hídrica, cuya Fase 1, Plan de Inversiones en Infraestructura Hídrica Versión 2020, consistió en completar, evaluar y priorizar la cartera de iniciativas levantadas en el Plan versión 2019.

En esta instancia, la tarea fue desarrollar modelos simples que permitieran efectuar una evaluación hídrica y económica sencilla de las iniciativas que se proponen en una cuenca, proponer y evaluar diversas iniciativas adicionales, y llegar a establecer un "óptimo" hacia el cual se vaya tendiendo con las inversiones a realizar, para tres cuencas de Chile.

El objetivo general del servicio fue formular un modelo hidro-económico operacional simplificado, de fácil uso, que constituya una metodología de evaluación, optimización y priorización del Plan Hídrico, y que permita actualizarlo en forma oportuna, eficiente y flexible en el futuro.

Los objetivos específicos del servicio fueron los siguientes:

- Revisar los antecedentes e información específica sobre los recursos hídricos (topología, oferta, demanda e iniciativas), en tres cuencas modeladas por la DGA y terminadas el año 2020.
- Para cada una de las tres cuencas, recoger los resultados que el módulo hídrico debe entregar para ser utilizados como entrada (input) para el módulo económico. El módulo hídrico, por su lado, tendrá incorporadas las subrutinas propias de las obras hidráulicas y sus reglas de operación, así como de las zonas de demanda agrícola.
- Formular un módulo económico tipo espina de pescado o diagrama unifilar, en Excel, o utilizar algún modelo sencillo, conocido y disponible en la web, como Hydro-BID o Water-Alloc, o cualquier otro modelo que se ajuste a la condición de ser de fácil operación y obtención de resultados. El módulo económico se formulará para las tres cuencas seleccionadas. Los resultados de este módulo económico serán las estimaciones de VAN, TIR e impacto sobre el PIB, de las iniciativas que se desee evaluar.
- Formular un modelo hidro-económico, para cada una de las tres cuencas, el cual incluirá los módulos hídrico y económico, y que, como herramienta global, será fácil de usar y entregará resultados de inmediato.
- Aplicar los modelos hidro-económicos desarrollados en las tres cuencas para validar las iniciativas propuestas en el Plan 2020, y evaluar eventuales iniciativas nuevas que puedan haber surgido a partir de los Planes Estratégicos de la DGA.

2. ANTECEDENTES SOBRE LA MODELACIÓN HIDRO-ECONÓMICA

La publicación que se comenta a continuación apareció en la revista Journal of Hydrology Nº 375 (2009) 627–643, de la editorial Elsevier. Busca explicar la necesidad de una asignación económicamente eficiente del recurso hídrico en una cuenca, encontrando en la modelación la forma de aproximarse a ello. En su resumen ejecutivo dice lo siguiente:

“En el futuro, la gestión del agua va a desplazarse desde la generación de nuevo recurso hídrico a nivel de cuenca, hacia la operación más eficiente de los sistemas existentes. La variación del valor del agua en el espacio y el tiempo van a motivar crecientemente los esfuerzos por administrar la escasez y reducir los conflictos. Los modelos hidro-económicos son capaces de representar fuentes de agua espacialmente distribuidas, infraestructura, opciones de gestión y valores económicos, de una manera integrada. En estas herramientas, la asignación y gestión del agua se efectúa por el valor económico del agua, o se hacen evaluaciones que permiten entender el efecto de las políticas y revelar oportunidades para una mejor gestión.” (Journal of Hydrology Nº 375 (2009) 627–643, editorial Elsevier).

La declaración de Dublín 1992 señala que “Dado que el agua es indispensable para la vida, la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero.” A través de los modelos hidro-económicos, la asignación del agua se realiza o evalúa a través de los efectos económicos que genera. De acuerdo con la Declaración de Dublín, gestionar el agua como un bien económico es una manera significativa de lograr un uso eficiente y equitativo y de fomentar y estimular la conservación y protección del recurso hídrico. En condiciones de escasez, es decir, cuando la demanda excede la oferta, el foco económico permite identificar la asignación eficiente, evitando prácticas derrochadoras. El agua usualmente se distribuye de acuerdo con prácticas históricas, tradicionales, políticas, legales e institucionales. A veces es difícil adaptar estos patrones de distribución a los patrones efectivos de demanda, o a los patrones de mayor productividad. Las técnicas económicas ayudan a la asignación del recurso escaso, y a encontrar el compromiso entre usos que reflejan el valor del agua, y las opciones de la sociedad.

Se revisaron algunos estudios y modelos hidro-económicos, para evaluar su aplicación en el presente estudio. Se llegó a la conclusión de que un modelo hidrológico simple y de fácil uso sería un buen primer ingrediente como para enlazarlo con un modelo de evaluación económica que permitiera obtener valores tradicionales como VAN y TIR, además de algunas respuestas de variables macroeconómicas relacionadas con el PIB.

3. ANTECEDENTES SOBRE EL MODELO SELECCIONADO: MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA (MOS)

Se estudió un modelo hidrológico de operación simplificada, llamado MOS, desarrollado por el Ingeniero Pablo Isensee Martínez para el MOP en los años 1998-1999, el cual se aplicó con éxito, a partir de esos años, en varias cuencas de Chile (Aconcagua, La Ligua, Petorca, Maipo, Maule).

El modelo MOS fue desarrollado para la representación de la cuenca del Aconcagua. Posteriormente ha sido varias veces utilizado/adaptado/modificado por consultoras y universidades para estudios orientados a la planificación de los recursos hídricos, siendo aplicado nuevamente en la cuenca del Aconcagua. Es un modelo simple, que, sin embargo, incorpora no sólo la escorrentía superficial sino que también la subterránea, muy sólido en la conceptualización de las realidades hidrológicas de las diferentes cuencas, y muy fácil de operar. Escrito en Turbo Pascal, se opera desde una consola del tipo MS-DOS.

MOS permite caracterizar la situación de la cuenca evaluando el efecto de incorporar nuevas obras de regulación, el cambio en la eficiencia del uso del agua en riego y el aumento en el uso del agua subterránea a nivel de balances por zonas.

Las limitaciones del modelo consisten fundamentalmente en la rigidez con que ciertos procesos quedan incluidos en la modelación. En primer lugar, el modelo no es un modelo genérico, sino que debe ser desarrollado para cada cuenca, basado en su propia topología. Adicionalmente, los procesos modelados son particulares de cada cuenca, de modo que los módulos de las subrutinas aplicadas no son exactamente los mismos para las diferentes cuencas.

No obstante, MOS ha sido ampliamente utilizado en proyectos para instituciones con interés en manejo hídrico, tales como la Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulica (DOH) y Comisión Nacional de Riego (CNR), entre otras.

El modelo se analizó en detalle, y se consideró suficientemente simple, por un lado, y suficientemente complejo, por otro, como para cumplir con los objetivos del presente servicio.

La afirmación de que el modelo es suficientemente complejo se refiere a:

- El modelo permite simular una cuenca completa
- El modelo incluye la simulación de aguas superficiales y subterráneas, considerando la interacción entre ellas.
- El modelo permite simular todos los elementos básicos de la hidrología y gestión de cuencas: ríos, acuíferos, zonas de riego, embalses, trasvases, y todas las interacciones deseadas entre estos elementos.
- El modelo tiene la posibilidad de contener los elementos de todas las configuraciones que se vislumbran para la cuenca, los cuales se podrán activar o desactivar por parte del operador/planificador.

La afirmación de que el modelo es suficientemente simple se refiere a:

- El modelo es relativamente rígido para cada cuenca, por lo que no son muchos los elementos sobre los cuales debe saber actuar el operador /planificador.
- El modelo, aunque está escrito en TurboPascal, debido a lo cual se interactúa con él a través de una consola MS-DOS, es fácilmente comprensible, de modo que es traducible a Python, con lo cual se puede lograr una interacción más efectiva a través de Excel.
- El modelo traducido a Python, también permitirá gestionar a voluntad los resultados, para lo cual se sugiere aplicar la metodología de presentación de resultados utilizada por RODHOS en estudios anteriores, y presentada en el XXII Congreso de Ingeniería Hidráulica de 2015.

En el presente servicio se ha desarrollado una actualización y modernización en su estructura y lenguaje, de manera de facilitar la interacción con el planificador, y facilitar también su acoplamiento con otros modelos de tipo económico, hidrogeológico o hidráulico, a través de una planilla Excel. La actualización de lenguaje y migración de MOS (Turbo Pascal) a PyMOS (Python) permitió potenciar su interacción con nuevos módulos y también lo pone al día con uno de los lenguajes más utilizados actualmente en la formación de profesionales del área de ingeniería y ciencias de la tierra, lo que facilita su futura mantención y/o modificación por otros actores.

4. CUENCAS SELECCIONADAS

Las cuencas a modelar con el modelo hidro-económico simplificado fue un tema de análisis, y debió tenerse presente para ello los siguientes criterios condicionantes:

- Cuencas que tuvieran obras propuestas en el Plan Hídrico versión 2020.
- Cuencas donde tuviera sentido hídrico avanzar con iniciativas del tipo embalses. Esto es el caso cuando, por un lado, la demanda supera la capacidad de almacenamiento, sumando la de los acuíferos y de los embalses existentes, y por otro lado, la oferta media supera la capacidad de almacenamiento, de modo que haya recurso disponible para embalsar.
- Cuencas donde las alternativas de iniciativas fueran diversas, y donde no fuera evidente y directa la solución óptima a los problemas hídricos.
- Cuencas en que las decisiones acerca de las grandes obras no estuvieran tomadas.
- Cuencas que hubieran sido modeladas en los estudios PEGH 2020 de la DGA (en esta situación se encuentran a la fecha del presente servicio 10 cuencas: Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa, Quilimarí, Ligua, Petorca, Aconcagua, Maule), para contar con información reciente de entrada. Esta restricción solamente se aplicó dado el escaso plazo, de un año, para el desarrollo de los tres modelos, Aconcagua, Choapa y Huasco.

Las cuencas seleccionadas para su análisis, fueron las siguientes:

a) Río Aconcagua

Esta cuenca es una de las más importantes en el país. Si bien no es una cuenca crítica en el sentido del PIIH (cuenca crítica = demanda supera la oferta media), es una cuenca bastante estudiada, por la diversidad de usos del agua, su situación hídrica actual después de 10 años de sequía, y sus características de administración del recurso hídrico, por secciones y con intervenciones por parte de la DGA en 1997 y en 2012. Todo lo anterior amerita la elección de esta cuenca para su análisis en el presente servicio.

En esta cuenca tiene sentido hídrico avanzar con la construcción de embalses, debido a que la oferta media supera la demanda y la demanda supera la capacidad de almacenamiento, es decir, en esta cuenca se puede aumentar la regulación mediante embalses.

Por otro lado, la cantidad de embalses que se han analizado en la cuenca, y acerca de los cuales no se ha podido tomar ninguna decisión a la fecha, muestra que no es evidente ni directa la solución que finalmente debiera implementarse, que no es fácil encontrar una solución óptima, razón por la cual se justifica, una vez más, su modelamiento, el cual debería aportar criterios para apoyar la toma de decisiones al respecto. Es una cuenca donde las opciones de embalsamiento son diversas, y su selección óptima no es evidente.

La cuenca fue modelada el año 2020 por la DGA (PEGH Aconcagua), y tiene diversas obras propuestas en el Plan Hídrico versión 2020.

Al existir un modelo hidrológico de simulación MOS para la cuenca del Aconcagua, se le ha considerado como cuenca piloto.

b) Río Choapa

Esta cuenca, si bien no es una cuenca crítica en el sentido definido en el PIIH, fue propuesta debido a que tiene sentido hídrico avanzar con la construcción de embalses, porque la oferta media supera la demanda, la demanda supera la capacidad de almacenamiento, y por lo tanto, podría aumentarse su capacidad de regulación.

La cuenca presenta varias iniciativas de embalses en el PIIH 2020. Los dos embalses existentes en la cuenca se podrían complementar con un tercero en la subcuenca del río Chalinga, y con un cuarto en Canelillo, cerca de la confluencia de los ríos Choapa e Illapel. Sin embargo, hay cierta resistencia ciudadana al embalse Canelillo, que está destinado a desarrollar áreas nuevas en el secano costero, más que a aportar recursos para aumentar la seguridad de riego de las zonas existentes. Por otro lado, hay incertidumbre acerca de la conveniencia de un quinto embalse en la cabecera del río Choapa, el que afectaría al embalse Corrales, lo cual, sin embargo, no preocupa mucho a los regantes, porque los beneficiarios de ambos embalses serían los mismos.

Por efecto de la sequía, el valle ha visto fuertemente reducidos sus recursos, en especial considerando que los acuíferos no son demasiado productivos, y dependen fuertemente del régimen superficial. Por esta razón, y porque los embalses están a punto de vaciarse en esta temporada, si no llueve, es percibida como una cuenca en situación crítica.

No obstante, la sequía se ha paliado fundamentalmente a través de un mejoramiento de la eficiencia de riego, la cual era muy baja hasta hace un década.

c) Río Huasco

La cuenca del Huasco, si bien con la demanda actual no es una cuenca crítica, podría llegar a serlo, debido al potencial de demanda agrícola que se ha reconocido en esta cuenca (PIIH 2020).

La cuenca fue propuesta para ser incluida en el presente estudio, debido a que todavía tiene sentido hídrico avanzar con la construcción de embalses. La oferta media aún supera la demanda y la demanda aún supera la capacidad de almacenamiento de la cuenca, por lo que podría intentarse aumentar la regulación.

Las iniciativas propuestas en el Plan 2020 se refieren a los embalses de cabecera y en el Huasco Bajo, aguas abajo de Freirina. No es evidente el aporte que podría generar otra solución de infraestructura en esta cuenca, por lo que amerita el análisis a través de la metodología de modelación hidro-económica.

Es de las cuencas menos estudiadas del norte de Chile, donde aún hay decisiones por tomar, desde el punto de vista de la planificación.

5. FORMULACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROECONÓMICA

5.1 Recopilación de iniciativas a ser modeladas

El objetivo de esta recopilación fue obtener la mayor cantidad posible de antecedentes acerca de las iniciativas que se han levantado en las cuencas de análisis, que han sido propuestas y analizadas en los estudios de planificación desarrollados hasta la fecha, fundamentalmente por el MOP, pero también por otras instituciones como la CNR, Gobierno Regional de Coquimbo, y otras; además recoger también los datos de costos y beneficios de estas iniciativas, y las configuraciones en que estas han sido estudiadas, en forma aislada o conjunta.

Uno de los objetivos esenciales de contar con un modelo a nivel de cuenca, es la posibilidad de evaluar los efectos de obras aisladas o conjuntos de iniciativas, en forma de configuraciones, sobre la cuenca completa, aunque sea en forma simplificada. De este modo, es posible evaluar primero el efecto hídrico de una obra o iniciativa sobre la cuenca en su conjunto (obras de aguas abajo, acuíferos, etc.), y luego, el efecto económico de cada configuración sobre la cuenca completa.

Las iniciativas finalmente evaluadas para cada cuenca se presentan en el Capítulo 6.

5.2 Formulación conceptual del modelo hidro-económico

El modelo hidro-económico está conformado por dos submodelos: el MOS, que abarca la parte hídrica, y el módulo de evaluación económica, que en adelante llamaremos ECO.

Ambos modelos requieren un set de datos de entrada, tienen una lógica de proceso a partir de esos datos de entrada, y entregan resultados en un formato de salida. Por otro lado, algunos de los datos de salida del MOS, más algunos otros que debe obtener el planificador, los requiere ECO como datos de entrada. En la Figura 5.1 se esquematiza esta lógica.

Los datos de entrada a ambos modelos tienen una naturaleza de dos tipos. Por un lado están los datos de entrada que deja preparados el modelador, con los que queda configurado el sistema, y por otro lado están los datos de entrada que definen la modalidad en la cual va a ser operado el modelo, que son las variables sobre las que actúa el planificador.

En el caso del MOS, los datos de entrada que configuran físicamente el sistema hídrico, los cuales se considera que pueden permanecer fijos a lo largo del tiempo de modelación, se refieren, en general, a las estadísticas de caudales afluentes a la cuenca por parte de las subcuencas aportantes, y a los parámetros del sistema, por ejemplo, los parámetros que determinan el comportamiento del agua en los sectores de riego (coeficientes de percolación y derrame), en los ríos (coeficientes de percolación) y en los acuíferos (transmisibilidad, coeficiente de almacenamiento), los parámetros de las curvas de embalse y los parámetros kc de los cultivos presentes en las zonas de riego.

Los datos que definen la modalidad en que el planificador desea operar el sistema, y que este debe ingresar manualmente, se refieren en general a seleccionar el escenario

de oferta (estadística de caudales de entrada histórica o futura), la composición de cultivos (actuales o modificados), a la forma en que se captará el agua por los canales (por demanda o por capacidad), la forma en que se realizará el bombeo para riego (impuesto externamente según derechos, o calculado internamente para cubrir déficit), el tamaño de cada embalse y la forma en que ellos se operarán (volumen umbral para aplicar restricciones de demanda) y otros aspectos que pueda ser de interés probar con el modelo.

Lo anterior no significa que el planificador no pueda tener acceso igualmente a otros datos de entrada que configuran el sistema, y modificarlos si le parece necesario. Para ello, solamente hay que saber cuál es el significado de cada uno de esos datos de entrada. Ese conocimiento se entrega en el Glosario de Términos y en el Manual de Uso.

En el caso del modelo ECO, hay tres tipos de datos de entrada. Por un lado, están los datos de entrada que configuran el sistema, y que no será necesario modificar en el corto plazo. Son las matrices de insumo-producto regionales (MIPR), la matriz de identidad, la matriz A de coeficientes directos, la matriz M de coeficientes directos e indirectos y las matrices B de los sectores impactados, cuyo impacto se desea conocer. Estos valores se mantienen constantes, salvo, por ejemplo, que el Banco Central actualice la matriz de Insumo-Producto Nacional, lo que ocurre aproximadamente cada 5 o más años. También constituyen datos de entrada relativamente fijos, la cantidad de hectáreas regadas por región, y la producción de los sectores agrícola y frutícola según la matriz Insumo-Producto de 2017, expresada en dinero. No obstante considerarse fijos, el planificador también podrá ingresar a modificarlos o actualizarlos, para lo cual se entregarán las instrucciones en el Manual de Uso.

Por otro lado, el modelo ECO recibe los datos del modelo MOS, fundamentalmente el dato de la demanda suplida por la configuración, transformada en hectáreas beneficiadas por las iniciativas incorporadas en dicha configuración.

Además, el planificador ingresa manualmente algunos datos adicionales que el modelo le pedirá, como son: el porcentaje en que estas hectáreas reemplazan otras, y la inversión que requiere la iniciativa estudiada.

Toda interacción del modelo con el planificador se realiza en Excel, aunque el MOS corra en Python. El modelo ECO es un modelo que corre en EXCEL.

Acerca de los datos de salida, tanto el modelo MOS como ECO entregan los resultados que interesan al planificador. El modelo MOS entrega la resolución hídrica de toda la cuenca (llamamos resolución hídrica al conocimiento del comportamiento de todas las componentes modeladas de los balances hídricos), para las diferentes iniciativas probadas en las configuraciones, mostrando su viabilidad técnica. A partir de los resultados del MOS el planificador verá si hay acuíferos que colapsan, áreas de riego que quedan mal suplidas, embalses que se secan y cuándo, etc. Vale decir, los resultados del modelo hídrico, adecuadamente presentados y entendidos, muestran el efecto que una iniciativa, o varias, tienen sobre el sistema hídrico, bajo diversos escenarios de oferta. De este modo, la primera decisión acerca de una obra depende de su viabilidad técnica (un primer análisis grueso del sentido hídrico se realizó en el PIIH 2020-2050 versión 2020), la cual debiera ser un requisito para seguir adelante con la evaluación económica y la obtención de los indicadores económicos.

Los resultados del modelo económico son los indicadores que se ha solicitado en el estudio PIIH 2020-2050 versión 2020, y son los siguientes:

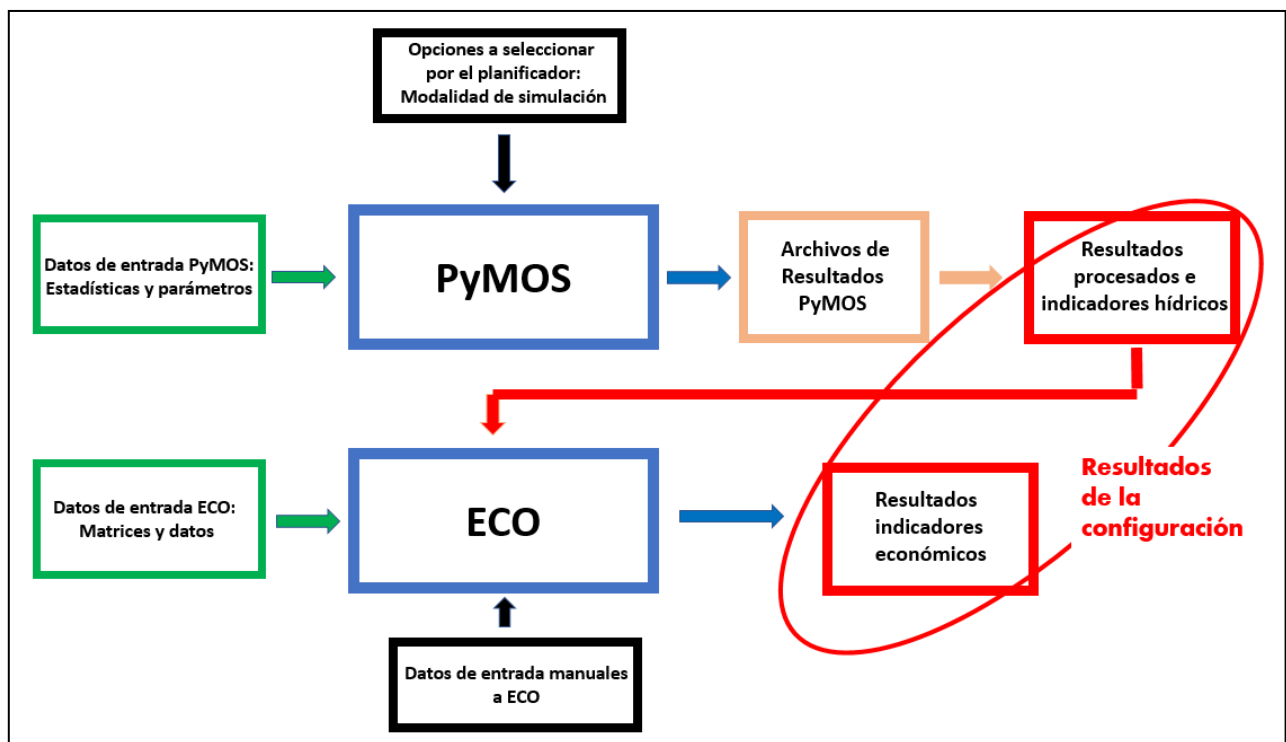
- VAN (proxi)
- TIR (proxi,)
- Impacto sobre el PIB
- Impacto sobre el empleo
- Impacto sobre el ingreso
- Impacto sobre la demanda de agua
- % de recaudación de la inversión vía impuestos

Conceptualmente, un proxi es una expresión analítica simple que pretende aproximar un resultado que alternativamente suele obtenerse en forma más laboriosa. Tiene la ventaja que permite comparar cientos de iniciativas en forma homogénea y relativamente rápida.

Los resultados del modelo económico no requieren mayor elaboración, debido a que son directamente comparables entre las diferentes configuraciones. Cualquiera de ellos puede ser utilizado para efectuar una priorización.

La Figura 5.1 busca mostrar la formulación conceptual del modelo hidro-económico, según la cual se desarrolló el proceso de modelación.

Figura 5.1
Formulación conceptual del modelo hidro-económico



5.3 Formulación de interfaces para el modelo hídrico

Los modelos hídricos de las cuencas de Aconcagua, Choapa y Huasco operan en el lenguaje Python. Para facilitar la interacción con el usuario final, o planificador, se generaron diversas interfaces (subrutinas) que permiten, por un lado, alimentar el modelo y, por otro, recibir sus resultados, de forma de poder analizarlos y calificar el comportamiento hídrico de la cuenca. También se obtiene el dato de entrada al modelo económico.

Todas las interfaces deben encontrarse al mismo nivel que la carpeta Pymos, para que puedan ser operadas correctamente. El uso de las interfaces se explica en detalle en un Manual de Uso que se encuentra también en la página web www.planhidricomop.cl. Las interfaces son las siguientes:

a) Interfaz A:

Esta interfaz tiene por objetivo calcular las necesidades netas mensuales (NNM) a partir de la hidrología (precipitación efectiva, evapotranspiración de referencia) y de las características de los cultivos (áreas, distribución y coeficientes de cultivo Kc). La interfaz trae una lista de los cultivos presentes en cada cuenca, de modo que el planificador pueda componer la combinación que desea probar. El planificador puede hacer las siguientes modificaciones:

- Dar un nombre a la configuración de cultivos que va a probar.
- Modificar los valores de kc de los cultivos presentes.
- Modificar el área de cada uno de los cultivos presentes, sin sobrepasar el área máxima cultivable de cada sector de riego.

b) Interfaz B:

Tiene por objetivo permitir al planificador el acceso para modificar un subconjunto de los datos de entrada de obras, los más usuales de modificar, como tamaño de embalses, reglas de operación, capacidad de canales, capacidad de bombeo, eficiencias de riego, de conducción y de captación, es decir, los datos que caracterizan las iniciativas de la configuración. Esta interfaz también permite correr el modelo, accediendo al programa Python desde Excel.

c) Interfaz C:

Esta interfaz tiene por objetivo realizar el post-procesamiento gráfico de todos los resultados generados por el modelo. El usuario debe ingresar:

- El período que desea graficar
- La configuración que desea graficar

Los gráficos de salida se generan en forma automática al interior de la misma planilla, en diferentes hojas:

- Acuíferos
- Sectores de riego
- Embalses
- Nodos
- Salidas al mar
- Resumen de resultados

Finalmente, esta planilla permite guardar en otra interfaz F, los resultados generales o promedio de cada configuración.

d) Interfaz D:

Esta interfaz tiene por objetivo calcular el porcentaje de demanda suplida característico de cada configuración. El porcentaje de satisfacción de la demanda corresponde al cociente entre la demanda suplida y la demanda hídrica total de cada sector de riego de la cuenca. El porcentaje de demanda suplida que caracteriza una configuración, como para compararlo con otra, es el porcentaje de demanda suplida en los meses críticos de diciembre, enero y febrero. Este valor se obtiene para cada sector de riego. El valor para el total de la cuenca se obtiene como un promedio ponderado, es decir, multiplicando el valor de cada sector por el área, y dividiendo por el área total.

La interfaz D entrega el área neta beneficiada por la configuración probada, dato que es un dato de entrada del modelo económico.

Esta interfaz también permite guardar los valores obtenidos en la interfaz F.

e) Interfaz F

Es la planilla que recibe los resultados promedio de cada configuración, donde se verifican los balances

- a nivel global
- a nivel de acuífero
- a nivel de zonas de riego.

Además, se calculan los indicadores hídricos que son:

- Demanda total / Oferta media
- Capacidad de almacenamiento superficial y subterráneo
- Relación entre capacidad de almacenamiento y oferta media

5.4 Formulación de la interfaz económica E

La interfaz económica calcula dos tipos de indicadores:

- Indicadores de rentabilidad social VAN y TIR, para lo cual utiliza una metodología basada en el cambio del valor de la tierra, generando un proxi VAN y un proxi TIR. Estos se transforman en valores sociales a partir de un coeficiente μ .
- Indicadores macroeconómicos relacionados con el PIB, los cuales se obtienen a partir de la metodología de la matriz Insumo-Producto, regionalizada según la ubicación de las cuencas.

La interfaz incluye internamente una gran cantidad de información que representa las características de las matrices insumo-producto propias de cada región, y de sus matrices relacionadas M, A y B. La metodología aplicada, y los datos que incluye el modelo, se describen con detalle en el informe principal. En la interfaz, el usuario solamente debe ingresar lo siguiente:

1. Tipo de configuración: Aporte hídrico (embalses, pozos, revestimiento de canales) o eficiencia (tecnificación, que resta área de la agricultura general para destinarla al uso frutícola)
2. Número de años: Tiempo en que se desfasa la entrada en vigencia de la iniciativa respecto del año en curso.
3. Configuración: Ese campo debe incluir el nombre o código de la configuración estudiada, y si bien es libre, es conveniente que sea el mismo utilizado para el modelo hídrico.
4. Cuenca: En cada región existen varias cuencas y el modelo aplica a todas las cuencas de una misma región.
5. Hectáreas beneficiadas: Es el dato que proviene del modelo PyMOS, interfaz D, relacionado con el PDS (porcentaje de demanda suplida), transformando ese dato en superficie física, medida en hectáreas.
6. Inversión en pesos: Este campo o celda debe ser llenado por el planificador con el dato del monto de inversión en pesos que involucra la configuración de proyectos que se desea revisar.

Como resultado de esta modelación se obtienen 10 indicadores, de los cuales 2 son de rentabilidad y 8 son macroeconómicos. Son los siguientes:

1. Proxi VAN Social: Valor Actualizado Neto. Mide el valor actual neto a precios sociales de invertir recursos en un conjunto de iniciativas hídricas, calculando a precios sociales el aumento del valor de la tierra, lo que refleja un incremento de capacidad instalada productiva en la región. Es un indicador proxy de Van Social, ya que utiliza tasa de descuento social y un parámetro que corrige la diferencia entre precios privados y sociales.
2. Proxi TIR Social: Tasa Interna de Retorno. Este indicador mide la tasa de retorno que está aportando la configuración estudiada. La tasa de descuento social utilizada es un 6%, por lo tanto, cualquier configuración que reporte una TIR bajo el 6%, representa una opción con insuficiente rentabilidad social.
3. Δ PIB: Corresponde a la diferencia incremental en pesos del 2017 que la configuración está aportando como aumento al PIB.
4. % PIB Regional: Expresa el impacto que genera la configuración en el PIB regional, como porcentaje.
5. % PIB Nacional: Expresa el impacto que genera la configuración en el PIB nacional, como porcentaje.
6. Δ Ingreso: Mide el aumento que la configuración aporta en el ingreso laboral, (salarios) en pesos del 2017.
7. Δ Empleo: mide el número de nuevos puestos de trabajo que se podrían generar tras la ejecución de la configuración en la región, debido al aumento de interrelaciones productivas. Dada la estructura productiva, los trabajos se crean en los diferentes sectores productivos, basado en las interrelaciones entre ellos y las nuevas necesidades.

8. Δ Demanda por agua: Este indicador muestra en miles de $m^3/año$, la mayor demanda por agua que se genera como consecuencia de la ejecución de la configuración. Este dato se estima con base en los coeficientes de demanda y uso que ya existen para la región.
9. Δ Impuestos: Estima en pesos de 2017 el monto incremental de impuestos que será recaudado, derivado de las nuevas actividades realizadas gracias a la configuración. Considera impuestos a la renta, utilidad e IVA.
10. % Recaudación Tributaria: mide qué porcentaje de la inversión se recupera vía impuestos.

6. OPERACIÓN DEL MODELO HIDRO-ECONÓMICO

En esta modelación se distinguió entre los conceptos de escenario y configuración. Se refiere a nombrar de forma diferente las variables sobre las cuales el modelador puede decidir, y sobre las que no puede decidir.

De este modo, se entiende por escenario, el clima o escenario climático dentro del cual se desenvolverán las iniciativas. Este escenario también puede ser escogido por el modelador.

Se definieron tres escenarios climáticos:

- EFBH: Escenario futuro base histórico (clima de los últimos 30 años)
- EFCC: Escenario futuro con cambio climático (incluye delta change)
- EFHS: Escenario futuro con hidrología de sequía (corresponde a la hidrología histórica, pero inversa, iniciando el período con los 10 años de sequía que actualmente sufre el país)

Por el otro lado, el término configuración se refiere a la forma en que el planificador decide afrontar la situación climática o escenario climático. En este sentido, las diferentes combinaciones de iniciativas lograrán impactos diferentes, tanto sobre el sistema hídrico como sobre el sistema económico, todos los cuales se desea evaluar. Por lo tanto, se llama configuración el conjunto de obras y reglas de operación sobre un escenario climático dado.

Los modelos PyMOS del Aconcagua, Choapa y Huasco tienen un nivel de desarrollo que permite probar todas las iniciativas formuladas en el levantamiento de estas. Para la cuenca del Aconcagua, en cambio, la gran mayoría de los embalses no cuenta con toda la información básica que permitiría incluirlos en la modelación, lo cual, por cierto, no obsta a que sean incorporados posteriormente, cuando se cuente con esa información.

6.1 Cuenca del Aconcagua

Las iniciativas modeladas fueron las siguientes:

- Embalse Catemu (30-180 Hm³), con diferentes volúmenes umbral y caudales de entrega
- Embalse Pocuro (100 Hm³), con diferentes volúmenes umbral y caudales de entrega
- Embalse Juncal (30-150 Hm³)
- Ampliación Embalse Los Aromos (a 60 Hm³)
- Aumento de explotación de los acuíferos
- Unificación de bocatomas (1° y 2° Sección)
- Tecnificación del riego secciones 1^a y 2^a
- Tecnificación del riego Putaendo y 3^a y 4^a secciones
- Desalinizadora 600 l/s en nodo 22 (Junta estero Catemu con río Aconcagua)

Las configuraciones modeladas se describen en la Tabla 6.1. Los resultados obtenidos en la modelación hidro-económica se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.1
Descripción de configuraciones modeladas Aconcagua

Configuración	Descripción
CALIB	Calibración
Base	Aromos 35, Chacillas 27
01, 31, 51	Catemu 30
02, 32, 52	Catemu 180
2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f	Variación caudal entrega Catemu 180
03, 33, 53	Pocuro 100
03b	Variación caudal entrega Pocuro 100
04, 34, 54	Juncal 30
05, 35, 55	Juncal 100
06, 36, 56	Juncal 150
07, 37, 57	Unificación BT 1ª y 2ª S + Tecnificación 60%
07a	Solo unificación BT 1ª y 2ª S
07aa, 37aa, 57aa	Solo tecnificación 19% del área
07b	Unificación BT 1ª y 2ª S + Tecnificación 19%
077	Unificación BT 1ª, 2ª y 3ª S + Tecnificación 65%
077b, 377b, 577b	Unificación BT 1ª, 2ª y 3ª S + Tecnificación 19%
08, 38	Tecnificación Putaendo y Ivª S, 60%
10, 40, 60	Sobre 08, Explotación acuíferos Qbmax + 3090 l/s
10a, 40a, 60a	Explotación Qbmax + 828 l/s Ac07 Quillota
10b	Explotación acuíferos Qbmax + 3090 l/s
10bb	Explotación acuíferos Qbmax + 3090 l/s
10c	Sobre 10b, Tecnificación Putaendo y IVª S, 60%
Nueva Base NB 11, 41, 61	Ampliación Aromos a 60
12, 42, 62	Sobre NB, Catemu 30
13, 42, 63	Sobre NB, Pocuro 100
14, 44, 64	Sobre NB, Juncal 100
15, 45, 65	Sobre NB, Tecnificación Putaendo y Ivª S, 60%
17, 47, 67	Sobre NB, Qbmax + 3300 l/s
18	Sobre NB, Catemu 30 + Pocuro 100
18b	Sobre NB, Catemu 30 + Pocuro 100, salidas reducidas
20	Base + Desalinizadora 600 l/s en nodo 22

Nota: Volumen de embalses en Hm³
 BT = bocatoma
 Qbmax = caudal máximo de bombeo de acuerdo a derechos

Tabla 6.2
Resultados de la modelación hidro-económica cuenca Aconcagua

Nº	CONFIGURACIÓN	Ha Beneficiadas	Inversión (\$ 2017)	Tipo de proyecto	VAN (\$ 2017)	TIR (%)	Δ PIB (\$ 2017)	% PIB REGIONAL	% PIB NACIONAL	Δ Ingreso (\$ 2017)	Δ Empleo (personas)	Δ Demanda por agua (M m3/año)	Δ Impuestos (\$ 2017)	% recaudación tributaria
1	EFBH_Conf01 sobre EFBH	1,033.93	43,281,280,000	Aporte Hídrico	-9,740,036,943	3.91%	10,243,812,642	0.0610%	0.0057%	4,055,391,228	864	6,553	1,922,763,633	49.4%
2	EFCC_Conf31 sobre EFCC	1,059.59	43,281,280,000	Aporte Hídrico	-9,286,268,450	4.01%	10,498,042,843	0.0625%	0.0058%	4,156,037,635	886	6,716	1,970,482,642	50.6%
3	EFHS_Conf51 sobre EFHS	1,228.75	43,281,280,000	Aporte Hídrico	-6,294,862,441	4.65%	12,174,020,275	0.0725%	0.0068%	4,819,535,145	1,027	7,788	2,285,063,606	58.7%
4	EFBH_Conf02a sobre EFBH	1,978.22	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-295,799,918,571	0.63%	19,599,503,877	0.1167%	0.0109%	7,759,186,827	1,654	12,538	3,678,826,878	8.1%
5	EFBH_Conf02b sobre EFBH	8,314.89	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-183,742,974,157	2.67%	82,380,988,360	0.4907%	0.0459%	32,613,554,082	6,950	52,699	15,462,911,515	33.7%
6	EFBH_Conf02c sobre EFBH	8,314.89	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-183,742,974,157	2.67%	82,380,988,360	0.4907%	0.0459%	32,613,554,082	6,950	52,699	15,462,911,515	33.7%
7	EFBH_Conf02d sobre EFBH	3,822.92	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-263,178,455,664	1.23%	37,876,138,833	0.2256%	0.0211%	14,994,667,178	3,195	24,229	7,109,351,259	15.6%
8	EFBH_Conf02e sobre EFBH	9,604.08	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-160,945,086,280	3.08%	95,153,826,772	0.5668%	0.0530%	37,670,153,482	8,028	60,870	17,860,373,285	38.9%
9	EFBH_Conf02f sobre EFBH	8,904.08	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-173,323,805,875	2.85%	88,218,474,428	0.5255%	0.0492%	34,924,538,344	7,443	56,434	16,558,607,650	36.1%
10	EFCC_Conf32 sobre EFCC	8,508.66	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-180,316,367,734	2.73%	84,300,792,965	0.5021%	0.0470%	33,373,579,575	7,112	53,927	15,823,258,840	34.5%
11	EFHS_Conf52 sobre EFHS	10,206.20	510,873,680,000	Aporte Hídrico	-150,297,265,363	3.27%	101,119,418,705	0.6023%	0.0563%	40,031,853,178	8,531	64,686	18,980,114,891	41.3%
12	EFBH_Conf03 sobre EFBH	1,224.79	265,870,720,000	Aporte Hídrico	-150,487,991,595	0.75%	12,134,785,996	0.0723%	0.0068%	4,804,002,807	1,024	7,763	2,277,699,332	9.7%
13	EFBH_Conf03b sobre EFBH	1,365.82	265,870,720,000	Aporte Hídrico	-147,994,033,274	0.84%	13,532,061,341	0.0806%	0.0075%	5,357,165,812	1,142	8,656	2,539,967,914	10.7%
14	EFCC_Conf33 sobre EFCC	627.70	265,870,720,000	Aporte Hídrico	-161,046,862,570	0.39%	6,219,029,523	0.0370%	0.0035%	2,462,032,318	525	3,978	1,167,311,842	5.0%
15	EFHS_Conf53 sobre EFHS	1,066.75	265,870,720,000	Aporte Hídrico	-153,282,752,801	0.66%	10,568,981,590	0.0630%	0.0059%	4,184,121,355	892	6,761	1,983,797,844	8.4%
16	EFCC_Conf34 sobre EFCC	167.00	95,919,963,802	Aporte Hídrico	-59,153,433,025	0.29%	1,654,576,916	0.0099%	0.0009%	655,025,326	140	1,058	310,564,087	3.7%
17	EFBH_Conf05 sobre EFBH	275.86	213,604,710,000	Aporte Hídrico	-133,427,355,496	0.21%	2,733,123,282	0.0163%	0.0015%	1,082,007,703	231	1,748	513,007,240	2.8%
18	EFCC_Conf35 sobre EFCC	157.92	213,604,710,000	Aporte Hídrico	-135,512,992,909	0.12%	1,564,615,489	0.0093%	0.0009%	619,410,775	132	1,001	293,678,327	1.7%
19	EFHS_Conf55 sobre EFHS	186.26	213,604,710,000	Aporte Hídrico	-135,011,831,605	0.14%	1,845,398,182	0.0110%	0.0010%	730,568,965	156	1,181	346,381,239	2.0%
20	EFCC_Conf36 sobre EFCC	18.73	319,931,032,491	Aporte Hídrico	-206,819,005,473	0.01%	185,570,213	0.0011%	0.0001%	73,464,816	16	119	34,831,529	0.3%
21	EFBH_Conf07 sobre EFBH	7,198.60	195,426,000,000	Aporte Hídrico	764,007,344	6.03%	71,321,181,977	0.4248%	0.0397%	28,235,121,621	6,017	45,624	13,386,985,857	76.1%
22	EFCC_Conf37 sobre EFCC	11,316.60	195,426,000,000	Aporte Hídrico	73,586,246,327	9.49%	112,120,869,052	0.6678%	0.0625%	44,387,183,249	9,459	71,724	21,045,087,121	119.5%
23	EFHS_Conf57 sobre EFHS	7,756.70	195,426,000,000	Aporte Hídrico	10,633,383,637	6.50%	76,850,639,324	0.4578%	0.0428%	30,424,161,347	6,483	49,162	14,424,865,001	82.0%
24	EFBH_Conf07aa sobre EFBH	1,585.40	60,132,000,000	Eficiencia	-28,757,703,670	2.51%	11,765,551,092	0.0700%	0.0065%	5,020,963,936	1,132	2,766	2,208,393,940	40.9%
25	EFCC_Conf37aa sobre EFCC	2,002.20	60,132,000,000	Eficiencia	-23,829,248,381	3.17%	14,858,702,155	0.0884%	0.0083%	6,340,970,097	1,429	3,494	2,788,978,395	51.6%
26	EFHS_Conf57aa sobre EFHS	2,007.00	60,132,000,000	Eficiencia	-23,772,490,739	3.18%	14,894,323,857	0.0886%	0.0083%	6,356,171,704	1,433	3,502	2,795,664,588	51.7%
27	EFBH_Conf07b sobre EFBH	3,207.70	60,132,000,000	Aporte Hídrico	17,790,090,457	8.74%	31,780,756,734	0.1893%	0.0177%	12,581,585,256	2,681	20,330	5,965,248,039	110.1%
28	EFBH_Conf077 sobre EFBH	9,421.30	327,390,000,000	Aporte Hídrico	-45,374,599,744	4.71%	93,342,907,198	0.5560%	0.0520%	36,953,234,146	7,875	59,712	17,520,463,681	59.5%
29	EFBH_Conf077b sobre EFBH	2,800.60	97,368,000,000	Aporte Hídrico	-13,518,733,405	4.71%	27,747,353,964	0.1653%	0.0155%	10,984,813,938	2,341	17,750	5,208,178,339	59.4%
30	EFCC_Conf377b sobre EFCC	3,020.40	97,368,000,000	Aporte Hídrico	-9,631,815,452	5.08%	29,925,054,600	0.1782%	0.0167%	11,846,937,091	2,525	19,143	5,616,932,748	64.1%
31	EFHS_Conf577b sobre EFHS	2,916.00	97,368,000,000	Aporte Hídrico	-11,478,013,060	4.91%	28,890,696,336	0.1721%	0.0161%	11,437,448,205	2,437	18,481	5,422,783,702	61.9%
32	EFBH_Conf08 sobre EFBH	1,871.07	68,424,174,000	Eficiencia	-31,930,613,687	2.60%	13,885,561,803	0.0826%	0.0077%	5,925,681,211	1,336	3,265	2,606,319,950	42.4%

Tabla 6.2 (Cont.)
Resultados de la modelación hidro-económica cuenca Aconcagua

Nº	CONFIGURACIÓN	Ha Beneficiadas	Inversión (\$ 2017)	Tipo de proyecto	VAN (\$ 2017)	TIR (%)	Δ PIB (\$ 2017)	% PIB REGIONAL	% PIB NACIONAL	Δ Ingreso (\$ 2017)	Δ Empleo (personas)	Δ Demanda por agua (M m3/año)	Δ Impuestos (\$ 2017)	% recaudación tributaria
33	EFCC_Conf38 sobre EFCC	2,767.32	68,424,174,000	Eficiencia	-21,332,897,630	3.85%	20,536,801,343	0.1221%	0.0114%	8,764,106,168	1,975	4,829	3,854,757,612	62.6%
34	EFHS_Conf58 sobre EFHS	2,377.29	68,424,174,000	Eficiencia	-25,944,810,817	3.31%	17,642,315,476	0.1049%	0.0098%	7,528,880,633	1,697	4,148	3,311,462,615	53.8%
35	EFBH_Conf10 sobre Conf08	3,184.58	137,170,000,000	Aporte Hídrico	-32,499,633,359	3.80%	31,551,691,954	0.1879%	0.0176%	12,490,901,510	2,662	20,184	5,922,252,580	48.0%
36	EFCC_Conf40 sobre EFCC	2,136.38	137,170,000,000	Aporte Hídrico	-51,035,881,757	2.55%	21,166,497,201	0.1261%	0.0118%	8,379,538,956	1,786	13,540	3,972,951,525	32.3%
37	EFHS_Conf60 sobre EFHS	2,071.48	137,170,000,000	Aporte Hídrico	-52,183,565,902	2.47%	20,523,490,962	0.1222%	0.0114%	8,124,981,210	1,731	13,129	3,852,259,254	31.3%
38	EFBH_Conf10a sobre EFBH	905.80	7,000,000,000	Aporte Hídrico	11,485,675,155	21.20%	8,974,345,933	0.0535%	0.0050%	3,552,825,989	757	5,741	1,684,484,732	266.9%
39	EFCC_Conf40a sobre EFCC	938.90	7,000,000,000	Aporte Hídrico	12,071,011,753	21.97%	9,302,289,023	0.0554%	0.0052%	3,682,654,362	785	5,951	1,746,039,650	276.6%
40	EFHS_Conf60a sobre EFHS	875.10	7,000,000,000	Aporte Hídrico	10,942,779,881	20.48%	8,670,181,195	0.0516%	0.0048%	3,432,411,154	731	5,546	1,627,393,010	257.9%
41	EFBH_Conf10b sobre EFBH	3,027.22	137,170,000,000	Aporte Hídrico	-35,282,369,524	3.62%	29,992,624,747	0.1786%	0.0167%	11,873,687,227	2,530	19,186	5,629,615,665	45.7%
42	EFBH_Conf10bb sobre EFBH	2,103.70	25,750,000,000	Aporte Hídrico	20,528,876,157	13.38%	20,842,715,323	0.1241%	0.0116%	8,251,357,952	1,758	13,333	3,912,177,666	168.6%
43	EFBH_Conf10c sobre EFBH	4,080.25	114,796,974,000	Eficiencia	-42,442,657,226	3.38%	30,280,301,403	0.1801%	0.0168%	12,922,157,247	2,913	7,119	5,683,612,573	55.0%
44	EFBH_Conf11 sobre EFBH	751.75	46,372,800,000	Aporte Hídrico	-16,731,785,385	2.66%	7,448,073,035	0.0444%	0.0042%	2,948,594,543	628	4,765	1,398,003,309	33.6%
45	EFCC_Conf41 sobre EFCC	881.63	46,372,800,000	Aporte Hídrico	-14,435,002,384	3.11%	8,734,878,124	0.0520%	0.0049%	3,458,023,821	737	5,588	1,639,536,624	39.3%
46	EFHS_Conf61 sobre EFHS	750.23	46,732,800,000	Aporte Hídrico	-16,991,759,131	2.63%	7,433,013,413	0.0443%	0.0041%	2,942,632,636	627	4,755	1,395,176,618	33.3%
47	EFBH_Conf12 sobre EFBH	1,708.91	89,654,080,000	Aporte Hídrico	-27,829,414,190	3.12%	16,931,275,677	0.1009%	0.0094%	6,702,870,237	1,428	10,831	3,178,000,445	39.5%
48	EFCC_Conf42 sobre EFCC	1,844.72	89,654,080,000	Aporte Hídrico	-25,427,765,750	3.37%	18,276,833,109	0.1089%	0.0102%	7,235,558,797	1,542	11,692	3,430,561,575	42.6%
49	EFHS_Conf62 sobre EFHS	1,909.93	89,654,080,000	Aporte Hídrico	-24,274,599,600	3.49%	18,922,910,718	0.1127%	0.0105%	7,491,332,459	1,596	12,105	3,551,830,342	44.1%
50	EFBH_Conf13 sobre EFBH	2,106.07	309,152,000,000	Aporte Hídrico	-162,927,473,603	1.12%	20,866,196,445	0.1243%	0.0116%	8,260,653,820	1,760	13,348	3,916,585,073	14.2%
51	EFCC_Conf43 sobre EFCC	1,498.89	312,243,520,000	Aporte Hídrico	-175,666,484,715	0.79%	14,850,471,821	0.0885%	0.0083%	5,879,107,249	1,253	9,500	2,787,433,561	10.1%
52	EFHS_Conf63 sobre EFHS	1,367.57	312,243,520,000	Aporte Hídrico	-177,988,732,511	0.72%	13,549,399,722	0.0807%	0.0076%	5,364,029,850	1,143	8,668	2,543,222,328	9.2%
53	EFBH_Conf14 sobre EFBH	1,028.04	256,885,990,000	Aporte Hídrico	-148,149,827,076	0.66%	10,185,456,605	0.0607%	0.0057%	4,032,288,838	859	6,516	1,911,810,205	8.4%
54	EFCC_Conf44 sobre EFCC	1,031.13	259,977,510,000	Aporte Hídrico	-150,096,893,606	0.65%	10,216,071,232	0.0609%	0.0057%	4,044,408,768	862	6,535	1,917,556,570	8.3%
55	EFHS_Conf64 sobre EFHS	935.82	259,977,510,000	Aporte Hídrico	-151,782,344,698	0.59%	9,271,773,472	0.0552%	0.0052%	3,670,573,655	782	5,931	1,740,311,881	7.6%
56	EFBH_Conf15 sobre EFBH	2,648.31	256,885,990,000	Eficiencia	-171,624,967,068	0.98%	19,653,605,786	0.1169%	0.0109%	8,387,201,338	1,891	4,621	3,688,981,806	16.1%
57	EFCC_Conf45 sobre EFCC	2,053.07	114,796,974,000	Eficiencia	-66,413,065,076	1.70%	15,236,217,977	0.0906%	0.0085%	6,502,075,456	1,466	3,582	2,859,838,114	27.8%
58	EFHS_Conf65 sobre EFHS	3,155.86	114,796,974,000	Eficiencia	-53,373,114,962	2.62%	23,420,229,639	0.1393%	0.0130%	9,994,612,872	2,253	5,506	4,395,977,103	42.6%
59	EFBH_Conf17 sobre EFBH	2,845.23	180,451,280,000	Aporte Hídrico	-66,524,596,079	2.58%	28,189,532,214	0.1679%	0.0157%	11,159,866,514	2,378	18,033	5,291,175,197	32.7%
60	EFCC_Conf47 sobre EFCC	2,997.58	183,542,800,000	Aporte Hídrico	-65,832,165,914	2.68%	29,698,962,113	0.1769%	0.0165%	11,757,430,038	2,506	18,998	5,574,495,189	33.8%
61	EFHS_Conf67 sobre EFHS	2,817.25	183,542,800,000	Aporte Hídrico	-69,021,100,921	2.51%	27,912,316,273	0.1663%	0.0156%	11,050,120,355	2,355	17,856	5,239,141,764	31.8%
62	EFBH_Conf18 sobre EFBH	2,894.16	398,806,080,000	Aporte Hídrico	-207,040,562,902	1.19%	28,674,313,343	0.1708%	0.0160%	11,351,785,012	2,419	18,343	5,382,168,614	15.1%
63	EFBH_Conf18b sobre EFBH	2,363.97	398,806,080,000	Aporte Hídrico	-216,416,381,962	0.97%	23,421,378,401	0.1395%	0.0131%	9,272,216,884	1,976	14,983	4,396,192,726	12.4%
64	EFBH_Conf20 sobre EFBH	1,592.08	120,000,000,000	Aporte Hídrico	-49,543,920,155	2.17%	15,773,765,371	0.0940%	0.0088%	6,244,627,071	1,331	10,091	2,960,735,760	27.5%

6.2 Cuenca del Choapa

Las iniciativas que se modelaron para la cuenca del Choapa fueron las siguientes:

- Embalse cabecera Choapa 70 Hm³
- Embalse Chalinga 6 Hm³
- Embalse Canelillo 170 H m³
- Combinación de embalses
- Aumento selectivo de explotación de los acuíferos
- Aumento selectivo de explotación de acuíferos más tecnificación del riego
- Tecnificación del riego

Las configuraciones modeladas se describen en la Tabla 6.3. Los resultados obtenidos en la modelación hidro-económica se presentan en la Tabla 6.4.

Tabla 6.3
Descripción de configuraciones modeladas Choapa

Configuración	Descripción
CALIB	Calibración
Base	Corrales 50, El Bato 26
01	Cabecera Choapa 70
02	Chalinga 5
03	Canelillo 170
04	Choapa 70, Chalinga 5
05	Choapa 70, Chalinga 5, Canelillo 170
06	Explotación acuíferos Q _{bmax} + 3.0 m ³ /s
07	Explotación acuíferos Q _{bmax} + 4.2 m ³ /s
08	Sobre 07, Tecnificación 33% del área
09	Tecnificación 33% del área
10	Bombeo adicional de 2.1 m ³ /s pozos de restitución acs 14 al 17
11	Bombeo adicional de 1.1 m ³ /s pozos de restitución acs 14 al 17

Nota: Volumen de embalses en Hm³

Q_{bmax} = caudal máximo de bombeo de acuerdo a derechos

acs = acuíferos

Tabla 6.4
Resultados de la modelación hidro-económica cuenca Choapa

Nº	CONFIGURACIÓN	Ha Beneficiadas	Inversión (\$ 2017)	Tipo de proyecto	VAN (\$ 2017)	TIR (%)	Δ PIB (\$ 2017)	% PIB REGIONAL	% PIB NACIONAL	Δ Ingreso (\$ 2017)	Δ Empleo (personas)	Δ Demanda por agua (M m3/s)	Δ Impuestos (\$2017)	% Recaudación tributaria
1	EFBH_Conf01 sobre EFBH	506.00	70,000,000,000	Aporte Hidrico	-37,275,600,061.18	1.066%	3,932,351,623.60	0.0728685%	0.0021959%	1,538,106,601.96	312	3,108	738,102,399.7498	12%
2	EFCC_Conf01 sobre EFCC	569.50	70,000,000,000	Aporte Hidrico	-36,265,588,645.93	1.199%	4,425,838,438.02	0.0820130%	0.0024715%	1,731,129,861.29	351	3,498	830,729,874.8172	13%
3	EFHS_Conf01 sobre EFHS	698.80	70,000,000,000	Aporte Hidrico	-34,208,982,724.80	1.472%	5,430,686,392.43	0.1006334%	0.0030326%	2,124,167,773.61	431	4,292	1,019,339,835.8600	16%
4	EFBH_Conf02 sobre EFBH	41.90	23,200,000,000	Aporte Hidrico	-14,355,180,322.85	0.266%	325,623,583.06	0.0060340%	0.0001818%	127,364,953.80	26	257	61,119,546.5405	3%
5	EFCC_Conf02 sobre EFCC	36.30	23,200,000,000	Aporte Hidrico	-14,444,252,195.69	0.231%	282,103,486.04	0.0052275%	0.0001575%	110,342,430.14	22	223	52,950,824.3299	3%
6	EFHS_Conf02 sobre EFHS	31.40	23,200,000,000	Aporte Hidrico	-14,522,190,084.43	0.200%	244,023,401.15	0.0045219%	0.0001363%	95,447,721.94	19	193	45,803,192.3955	2%
7	EFBH_Conf03 sobre EFBH	11,086.70	148,764,468,000	Aporte Hidrico	80,019,018,027.06	10.987%	86,159,689,220.10	1.5965828%	0.0481135%	33,700,645,185.63	6842	68,093	16,172,173,666.6127	121%
8	EFCC_Conf03 sobre EFCC	10,924.60	148,764,468,000	Aporte Hidrico	77,440,705,422.15	10.826%	84,899,937,840.29	1.5732390%	0.0474100%	33,207,903,920.46	6742	67,098	15,935,718,332.6217	119%
9	EFHS_Conf03 sobre EFHS	11,526.50	148,764,468,000	Aporte Hidrico	87,014,341,183.37	11.423%	89,577,571,125.36	1.6599179%	0.0500221%	35,037,521,240.06	7114	70,795	16,813,710,100.2292	125%
10	EFBH_Conf04 sobre EFBH	548.70	93,200,000,000	Aporte Hidrico	-51,618,055,830.77	0.868%	4,264,192,363.38	0.0790177%	0.0023812%	1,667,903,344.85	339	3,370	800,388,906.6061	10%
11	EFCC_Conf04 sobre EFCC	600.70	93,200,000,000	Aporte Hidrico	-50,790,959,868.67	0.950%	4,668,307,549.99	0.0865061%	0.0026069%	1,825,969,635.96	371	3,689	876,241,327.1338	11%
12	EFHS_Conf04 sobre EFHS	726.10	93,200,000,000	Aporte Hidrico	-48,796,386,144.71	1.149%	5,642,846,865.41	0.1045648%	0.0031511%	2,207,152,576.45	448	4,460	1,059,162,356.6370	13%
13	EFBH_Conf05 sobre EFBH	11,996.30	241,964,468,000	Aporte Hidrico	34,141,326,287.05	7.309%	93,228,596,407.50	1.7275732%	0.0520609%	36,465,589,385.51	7404	73,680	17,499,007,545.6886	80%
14	EFCC_Conf05 sobre EFCC	11,447.60	241,964,468,000	Aporte Hidrico	25,413,873,317.81	6.975%	88,964,404,044.13	1.6485556%	0.0496797%	34,797,686,040.66	7065	70,310	16,698,618,639.0825	77%
15	EFHS_Conf05 sobre EFHS	12,221.90	241,964,468,000	Aporte Hidrico	37,729,650,307.20	7.447%	94,981,834,601.74	1.7600616%	0.0530400%	37,151,353,910.02	7543	75,066	17,828,090,354.7470	82%
16	EFBH_Conf06 sobre EFBH	1,339.10	15,000,000,000	Aporte Hidrico	11,587,051,593.04	13.161%	10,406,743,199.93	0.1928422%	0.0058114%	4,070,510,969.73	826	8,225	1,953,345,698.6264	145%
17	EFCC_Conf06 sobre EFCC	1,387.90	15,000,000,000	Aporte Hidrico	12,363,249,342.08	13.641%	10,785,989,759.67	0.1998699%	0.0060231%	4,218,850,104.46	857	8,524	2,024,530,277.8908	150%
18	EFCC_Conf07 sobre EFCC	1,659.80	21,000,000,000	Aporte Hidrico	12,803,102,882.33	11.652%	12,899,045,898.92	0.2390259%	0.0072031%	5,045,354,422.79	1024	10,194	2,421,150,915.2267	128%
19	EFCC_Conf08 sobre EFCC	4,572.20	30,036,000,000	Eficiencia	48,656,724,437.67	13.041%	13,627,303,717.02	0.2515655%	0.0075810%	6,443,306,366.28	1515	-2,486	2,557,844,907.6838	95%
20	EFCC_Conf09 sobre EFCC	3,767.60	47,310,000,000	Eficiencia	40,093,611,032.28	6.822%	11,229,217,769.18	0.2072959%	0.0062469%	5,309,435,515.85	1249	-2,049	2,107,724,175.2744	50%
21	EFHS_Conf10 sobre EFHS	53.00	10,500,000,000	Aporte Hidrico	-5,955,580,346.33	0.744%	411,886,632.51	0.0076325%	0.0002300%	161,106,027.48	33	326	77,311,120.9224	8%
22	EFHS_Conf11 sobre EFHS	49.60	5,550,000,000	Aporte Hidrico	-2,804,613,897.70	1.318%	385,463,716.46	0.0071428%	0.0002153%	150,770,923.83	31	305	72,351,539.5802	15%

6.3 Cuenca del Huasco

Las iniciativas que se modelaron para la cuenca del Huasco, fueron las siguientes:

- Embalse El Carmen 15 Hm³
- Embalse Huasco Bajo 5 Hm³
- Combinación de ambos embalses
- Eficiencia de conducción (canales y bocatomas)
- Tecnificación del riego aguas abajo de Santa Juana
- Aumento de bombeo de 900 l/s aguas abajo de Santa Juana
- Aumento de bombeo hasta límite sustentable

Las configuraciones modeladas se describen en la Tabla 6.5. Los resultados obtenidos en la modelación hidro-económica se presentan en la Tabla 6.6.

Tabla 6.5
Descripción de configuraciones modeladas Huasco

Configuración	Descripción
CALIB	Calibración
Base	Santa Juana 165, Laguna Grande 7
01	El Carmen 15
02	Huasco Bajo 5
03	El Carmen 15, Huasco Bajo 5
04	Revestimiento canales sect 3-7 y efic BT sect 3-8
05	Tecnificación riego 55% sect 3-6
06	Explotación acuíferos Q _{bmax} + 900 l/s acs 4 B a 8
07	Explotación acuíferos Q _{bmax} + 382 l/s acs 4 B a 8
08	Tecnificación del riego 100% (teórico)

Nota: Volumen de embalses en Hm³
sect = sector de riego
efic = eficiencia
BT = bocatoma
Q_{bmax} = caudal máximo de bombeo de acuerdo a derechos
acs = acuíferos

Tabla 6.6
Resultados de la modelación hidro-económica cuenca Huasco

Nº	CONFIGURACIÓN	Ha Beneficiadas	Inversión (\$ 2017)	Tipo de proyecto	VAN (\$ 2017)	TIR (%)	Δ PIB (\$ 2017)	% PIB REGIONAL	% PIB NACIONAL	Δ Ingreso (\$ 2017)	Δ Empleo (personas)	Δ Demanda por agua (M m3/año)	Δ Impuestos (\$ 2017)	% Recaudación tributaria
1	EFBH_Conf01 sobre EFBH	110.50	71,400,000,000	Aporte Hidrico	-44,687,593,882	0.20%	692,155,593	0.016160%	0.000386%	268,260,119	56	795	129,917,605	2%
2	EFCC_Conf01 sobre EFCC	193.75	71,400,000,000	Aporte Hidrico	-43,525,307,180	0.35%	1,213,611,492	0.028335%	0.000677%	470,361,818	99	1,394	227,794,877	4%
3	EFHS_Conf01 sobre EFHS	124.29	71,400,000,000	Aporte Hidrico	-44,495,046,931	0.23%	778,541,115	0.018177%	0.000434%	301,740,727	63	894	146,132,167	2%
4	EFBH_Conf02 sobre EFBH	56.90	41,900,000,000	Aporte Hidrico	-26,335,160,998	0.18%	356,413,152	0.008322%	0.000199%	138,135,753	29	409	66,898,749	2%
5	EFCC_Conf02 sobre EFCC	47.79	41,900,000,000	Aporte Hidrico	-26,462,340,686	0.15%	299,354,425	0.006989%	0.000167%	116,021,390	24	344	56,188,826	2%
6	EFHS_Conf02 sobre EFHS	95.58	41,900,000,000	Aporte Hidrico	-25,795,101,773	0.30%	598,708,850	0.013979%	0.000334%	232,042,779	49	688	112,377,651	3%
7	EFBH_Conf03 sobre EFBH	163.90	113,300,000,000	Aporte Hidrico	-71,071,620,699	0.19%	1,026,645,264	0.023970%	0.000573%	397,898,945	83	1,179	192,701,316	2%
8	EFCC_Conf03 sobre EFCC	240.40	113,300,000,000	Aporte Hidrico	-70,003,534,507	0.27%	1,505,838,431	0.035158%	0.000840%	583,620,793	122	1,730	282,645,873	3%
9	EFHS_Conf03 sobre EFHS	208.49	113,300,000,000	Aporte Hidrico	-70,449,015,112	0.24%	1,305,975,102	0.030492%	0.000729%	506,159,366	106	1,500	245,131,527	3%
10	EFBH_Conf04 sobre EFBH	237.20	9,724,230,000	Aporte Hidrico	-2,984,576,967	3.16%	1,485,785,581	0.034690%	0.000829%	575,848,870	121	1,707	278,881,953	32%
11	EFCC_Conf04 sobre EFCC	258.20	9,724,230,000	Aporte Hidrico	-2,691,382,052	3.44%	1,617,326,463	0.037761%	0.000902%	626,830,432	131	1,858	303,572,177	35%
12	EFHS_Conf04 sobre EFHS	271.40	9,724,230,000	Aporte Hidrico	-2,507,088,106	3.61%	1,700,009,303	0.039692%	0.000949%	658,875,984	138	1,953	319,091,746	37%
13	EFBH_Conf05 sobre EFBH	1146.10	26,748,000,000	Eficiencia	-10,424,810,087	3.22%	5,184,418,614	0.120680%	0.002884%	2,233,893,974	507	2,088	973,115,374	40%
14	EFCC_Conf05 sobre EFCC	768.85	26,748,000,000	Eficiencia	-13,948,838,898	2.16%	3,477,916,632	0.080957%	0.001935%	1,498,585,971	340	1,400	652,804,952	27%
15	EFHS_Conf05 sobre EFHS	816.60	26,748,000,000	Eficiencia	-13,502,788,863	2.30%	3,693,915,226	0.085985%	0.002055%	1,591,656,765	361	1,487	693,347,888	29%
16	EFBH_Conf06 sobre EFBH	513.30	6,000,000,000	Aporte Hidrico	3,281,617,417	11.07%	3,215,234,986	0.075069%	0.001794%	1,246,135,014	261	3,693	603,499,607	112%
17	EFCC_Conf06 sobre EFCC	543.98	6,000,000,000	Aporte Hidrico	3,709,944,527	11.73%	3,407,402,459	0.079556%	0.001901%	1,320,613,743	277	3,914	639,569,441	118%
18	EFHS_Conf06 sobre EFHS	523.57	6,000,000,000	Aporte Hidrico	3,424,941,646	11.29%	3,279,536,904	0.076570%	0.001830%	1,271,056,636	266	3,767	615,569,077	114%
19	EFBH_Conf07 sobre EFBH	189.06	2,800,000,000	Aporte Hidrico	826,667,155	8.74%	1,184,257,417	0.027650%	0.000661%	458,985,001	96	1,360	222,285,117	88%
20	EFCC_Conf07 sobre EFCC	195.92	2,800,000,000	Aporte Hidrico	922,396,174	9.05%	1,227,205,910	0.028653%	0.000685%	475,630,634	100	1,410	230,346,549	91%
21	EFHS_Conf07 sobre EFHS	202.31	2,800,000,000	Aporte Hidrico	1,011,582,298	9.35%	1,267,218,955	0.029587%	0.000707%	491,138,569	103	1,456	237,856,998	94%

7. CAPACITACIÓN Y DIFUSIÓN

7.1 Capacitación

El estudio incluyó dos talleres de capacitación, con el objetivo de preparar en el uso del modelo hidro-económico desarrollado, a todos los que pudieran estar interesados en su operación. El primer taller estuvo destinado al personal de las Direcciones Regionales de las tres cuencas en estudio, y el segundo, al nivel central.

En ambos talleres, en primer lugar, se hizo una presentación de las bases conceptuales tanto del modelo PyMOS como del modelo económico. El modelo PyMOS es un modelo hidrológico integrado superficial-subterráneo, simplificado, de balance, y semi-distribuido. El modelo económico abarca tanto las variables de evaluación económica, microeconómicas o financieras, que son el VAN y la TIR, como también las variables macroeconómicas relacionadas con el PIB y sus componentes.

Enseguida, durante la capacitación se desarrolló un ejercicio práctico de uso y aplicación de cada una de las interfaces, tanto hídricas como económica.

7.2 Página web

Se desarrolló una página web, con el objetivo de publicar todo el material desarrollado bajo el concepto del Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas, desde el año 2019 en adelante.

Las características de la página web son las siguientes:

Nombre: planhidricomop.cl
Fecha Creación: 2021-09-28 11:19:25
Fecha Expiración: 2024-09-28 11:26:52

El dominio fue adquirido en Benzahosting.cl, con un plan de hosting que soporta WordPress a través del auto instalador Softaculous. Se utilizó el maquetador web Elementor.

El plan contratado fue el siguiente, el cual se pudo adquirir por un año:
<https://www.benzahosting.cl/hosting-profesional/hosting-profesional-8gb.php>

El contenido de la página se describe a continuación:

Página 1: INICIO

Esta página contiene lo siguiente:

- Texto somero que resume el estudio
- Despliegue de todas las pestañas, cada una con una foto y una breve descripción
- Los mapas de las tres cuencas, con su ubicación dentro de un mapa de Chile.

Página 2: ESTUDIO PLAN 2021

A través de esta pestaña, el visitante podrá acceder al texto completo y Anexos del presente estudio.

- Texto estudio "Modelos hidro-económicos para revisión y actualización del Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas", 2021
- Anexos a los capítulos correspondientes.

Página 3: MODELOS HIDRO-ECONÓMICOS

En esta pestaña se habrán cargado los tres modelos desarrollados, así como también todas las interfaces para cada uno de ellos. Desde esta página, el visitante podrá descargar cada modelo para operarlo en su PC. La página, por lo tanto, contiene:

- Modelo Aconcagua
- Modelo Choapa
- Modelo Huasco

Página 4: MANUAL DE USO

En esta página estará cargado el Manual de Uso del modelo, que incluye la parte hídrica y la económica. Se detallan todas las particularidades referentes a cada una de las cuencas. De este modo, el usuario podrá acceder a este Manual, verlo on-line, o bien, descargarlo a su PC, para lo cual estará habilitada la opción.

Página 5: COBERTURAS SIG

Para cada cuenca se entregan todas las coberturas SIG con las que se ha trabajado, que incluyen coberturas básicas de la DGA, coberturas recopiladas de estudios anteriores y coberturas desarrolladas específicamente para el presente estudio, y que facilitan la comprensión de los modelos hidro-económicos desarrollados. Las coberturas SIG traen adjuntas sus bases de datos, donde se encuentra la información característica de cada elemento.

- SIG cuenca Aconcagua
- SIG cuenca Choapa
- SIG cuenca Huasco

Página 6: ESTUDIO PLAN 2020

En esta pestaña el visitante encontrará el texto completo del estudio del Plan Hídrico 2020, además de todos los Anexos. Esta página contendrá:

- Texto Estudio Plan Hídrico 2020
- Anexos a los capítulos correspondientes

Página 7: PLANILLAS PLAN 2020

A través de esta pestaña, el visitante accederá al link del sitio trello.com, donde se encuentra la planilla Maestro, que es el conjunto de planillas resultantes del estudio Plan Hídrico 2020. Esta planilla contiene:

- Link a trello.com

Página 8: CONTACTO

Esta pestaña permitirá enviar mensajes al correo contacto@planhidricomop.cl, a partir de un correo donde se podrá obtener la respuesta a la consulta o comentario.

7.3 Afiche

Se propuso un diseño sobre la base de los conceptos básicos seleccionados, que fueron los siguientes:

- Plan: Inversiones priorizadas
- Modelo hídrico
- Gestión integrada de cuencas
- Modelos hidro-económicos
- Oferta en forma de gotas desordenadas
- Eficiencia en forma de una gota muy ordenada
- Mapa del país y cuencas del presente estudio

El diseño incluyó título, algunos slogans, imágenes y logos. El diseño fue preparado profesionalmente, en tres variantes, entre las cuales la Inspección Fiscal seleccionó una.

El afiche se entregó impreso en 1500 ejemplares.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

El estudio ha permitido desprender las siguientes conclusiones:

- a) Modelos simplificados como el PyMOS permiten obtener una mirada integral de la cuenca a un bajo costo de operación.
- b) El modelo PyMOS permite discernir entre las iniciativas que tienen sentido hídrico y las que no lo tienen, pues permite evaluar la respuesta del sistema hídrico completo y detectar iniciativas técnicamente no sustentables o no viables, o interferencias.
- c) El módulo económico constituye un atractivo esencial del modelo desarrollado, dado que, una vez aceptada la iniciativa desde el punto de vista hídrico, es el criterio económico en base al cual finalmente se decide cuáles obras se podrían ejecutar.
- d) Los modelos generados son fáciles de operar, a través de las interfaces Excel o directamente desde la consola de Python.
- e) Los modelos hidrológicos integrados PyMOS, construidos sobre la lógica de operación del MOS desarrollado por el Ingeniero Pablo Isensee Martínez, son una herramienta muy útil de apoyo a la gestión, porque permiten situarse en diversos escenarios futuros en poco tiempo. A modo de ejemplo, los modelos desarrollados en el presente servicio demoran aproximadamente 2 minutos en cada simulación, y las interfaces de operación, en total, unos 6 minutos adicionales. De este modo, es posible correr muchas configuraciones en un día.
- f) La simplificación buscada del modelo abarca dos aspectos: la lógica de representación de la realidad, y la interacción con el usuario. Ambas se obtienen a cambio de reducir la especificidad del modelo en cuanto a los procesos representados, y simplificar su lógica de operación.
- g) Un gran atractivo del modelo PyMOS (ahora en lenguaje Python), ex MOS, es la transparencia con que entrega los resultados. Se recomienda a futuro mantener esta forma de entrega de resultados en otros modelos que puedan desarrollarse, debido a que así se pueden estimar todos los flujos comprometidos en el sistema hídrico de una cuenca.
- h) En cuanto al módulo económico, la teoría que lo sustenta es compleja, y está basada en la matriz Insumo-Producto (MIP). Su modelamiento requiere una gran cantidad de información, que proviene de las cuentas nacionales, censos y regionalización de la matriz Insumo-Producto nacional. Sin embargo, los indicadores buscados se obtienen de manera muy sencilla a partir de una planilla Excel, que contiene toda la matemática matricial requerida para la interpretación de la matriz MIP y sus matrices asociadas. Se recomienda sociabilizar esta metodología, creada con fines de análisis en el PIIH 2020, y modelada en el presente servicio.

- i) Las interfaces hídricas desarrolladas permiten realizar un análisis exhaustivo de los resultados que el modelo entrega, para cada uno de los elementos constituyentes: acuíferos, sectores de riego, embalses, nodos, salidas al mar.
- j) Los resultados del modelo hídrico muestran la forma en que se manifiesta el balance hídrico a lo largo de una cuenca. Por ejemplo,
- Si se hace uso intensivo del agua en la parte alta de una cuenca, esto se refleja en que hay menos agua para los sectores más bajos.
 - Si se tecnifica el riego, se reducen las recargas a los acuíferos y la disponibilidad para derrames que alimentan los ríos y constituyen los derechos hacia aguas abajo.
 - Si se revisten los canales, se reducen las recargas a los acuíferos y eventualmente también las recuperaciones superficiales.
 - Si los acuíferos no se usan, no se genera espacio que permita recibir la recarga durante estaciones más húmedas, con lo que se desaprovecha su capacidad natural de almacenamiento.
 - Si se hacen varios embalses en una misma cuenca, dependiendo de su ubicación relativa, pueden interferir entre ellos.
 - Un embalse puede afectar los acuíferos de aguas abajo, al reducir la disponibilidad de agua en el río que genera la recarga por percolación.
 - Un embalse también puede favorecer los acuíferos de aguas abajo, si aporta más agua que antes a la percolación, debido al aumento del riego.
 - La sequía afecta las recargas y genera el descenso de muchos acuíferos. Al aumentar la eficiencia de riego, se acentúa este efecto.
 - Todos los acuíferos se recuperan rápidamente cuando vuelve a haber recursos disponibles para percolación.
 - Al contrario de lo que se quisiera, los acuíferos ligados a un río, como los de las cuencas estudiadas, debieran utilizarse mucho en tiempos normales y húmedos, y poco en sequía. No utilizarlos en tiempos normales no ayuda a mantenerlos más aptos para enfrentar una sequía, porque en tiempos normales se recargan en cada temporada, y los excesos escurren.
- k) Por otro lado, es necesario tener presente que todos los modelos tienen limitaciones, especialmente los más simplificados, por lo que no puede esperarse de estos, respuestas que no están destinados a entregar. Por ello, es necesario mantener siempre la claridad sobre las limitaciones del modelo, y no sobreinterpretar los resultados. Por ejemplo:
- Los acuíferos están modelados como cajas, y aun en esta forma simplificada es posible calibrar su comportamiento contra las mediciones observadas en la realidad. Sin embargo, los acuíferos modifican su comportamiento hacia mayores profundidades. En general es necesario ser cauto en la explotación de los acuíferos, porque dependiendo de su naturaleza y ubicación, al comenzar a vaciarse van perdiendo capacidad transmisiva y no funcionan igual que cuando están llenos.
 - El modelo no considera desfases en las respuestas. Los balances hídricos se entienden instantáneos, y se calculan desde aguas arriba hacia aguas abajo.

- Los sectores de riego tienen una capa de suelo que podría retener una cantidad de agua que supera las suposiciones del modelo, y con ello generar desfases en los balances.
 - Este modelo simplificado no es capaz de representar procesos muy finos como lo que podría ser la recarga puntual de un acuífero. Sin datos que demuestren claramente la existencia de un proceso medible, y sin antecedentes cuantitativos que sean sensibles para el modelo, no es posible modelarlos.
 - Este modelo tampoco es capaz de distinguir ni representar procesos que duran días, sino que está planteado a escala mensual, escala que es suficientemente precisa para los objetivos de planificación.
- l) En todas las cuencas se observa que, salvo excepciones, los nuevos embalses no serían rentables. Esto se debe a uno o a ambos de los siguientes factores: el primero, es que las hectáreas beneficiadas por el embalse son pocas, e insuficientes como para rentabilizarlo, y segundo, que, al ser incorporados estos embalses en los sectores superiores de cuencas donde ya hay embalses en operación, el aumento de hectáreas beneficiadas no es neto, sino que se produce, en parte, a costa de las hectáreas beneficiadas por otro embalse. Esto hace que el aporte neto de un nuevo embalse sea limitado.
- m) Se observa la importancia de las medidas de menor costo, como pozos, tecnificación de riego y revestimiento de canales. Si bien estas acciones pueden tener efectos no deseados sobre los acuíferos, en especial durante épocas de sequía en que la recarga disminuye, son acciones que aportan cantidades significativas de hectáreas beneficiadas. En cada caso es necesario evaluar los efectos locales sobre acuíferos y derrames.
- n) El modelo permite apreciar la importancia de ejecutar acciones coherentes, con fuerte base técnica, de modo que las acciones sean para beneficio de toda la cuenca, y no solo para una parte, o a costa de otra. Si hay costos, ellos deben ser conocidos y mitigados antes de cada acción.
- o) Cuando se selecciona un modelo para representar una cuenca, se sugiere tener en cuenta los siguientes criterios:
- Que exista claridad acerca de lo que se desea que el modelo resuelva
 - Que el modelo tenga respaldo: manual de uso y foro de usuarios
 - Que el modelo sea de código abierto, lo que permite seguir trabajando sobre él
 - Que esté escrito en un lenguaje moderno, de modo que más personas tengan acceso y puedan operarlo
 - Que sea topológicamente adaptable a la naturaleza de la cuenca
 - Usar una plataforma de intervención controlada del código, para que pueda ser intervenido por diversas personas, manteniendo la trazabilidad
- p) No es necesario contar con un modelo para cada cuenca de Chile, para avanzar con el Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas. En primer lugar, no todas las cuencas presentan iniciativas en el PIIH. En segundo lugar, muchas veces es evidente y directa la solución óptima a los problemas hídricos. Por ello, solo se requiere un modelo cuando se dan ciertas condiciones de incertidumbre en la

evaluación, como, por ejemplo, una cantidad de iniciativas alternativas, para las que no existe otra forma de evaluación que una modelación integral.

- q) El estudio realizado contó con información de inversión en los diferentes proyectos, muy dispar en cuanto al grado de avance de cada uno de ellos, esto es, algunos valores corresponden a ingeniería conceptual, otros al nivel de prefactibilidad, otros a factibilidad, etc. Este hecho explica que no se haya buscado priorizar entre las diferentes iniciativas o configuraciones, sino que solo entregar una visión de su impacto sobre el sistema hídrico, complementado con una mirada económica, que aunque preliminar, es la mirada que es posible dar con la información disponible a la fecha. El objetivo de esta mirada fue saber con qué tipo de iniciativas avanzar en cada cuenca, y eso sí fue posible desprenderlo del análisis realizado. De todas formas, los valores de inversión no disminuyen sino que aumentan a medida que un proyecto avanza, de modo que un valor VAN negativo a nivel de concepto probablemente no mejorará en los niveles de prefactibilidad o factibilidad.
- r) Los modelos desarrollados son herramientas de fácil uso, que quedan disponibles para su futura aplicación, así como para la actualización o mejora la información de entrada, y también para la revisión y mejora del código propiamente tal.

8.2 Recomendaciones

El estudio ha permitido desprender las siguientes recomendaciones acerca de cómo avanzar con el PIIH en las tres cuencas analizadas:

a) Cuenca del Aconcagua

Esta cuenca cuenta con dos embalses menores, Los Aromos de 35 Hm³, cuya operación data de 1987, y Chacrillas de 27 Hm³, de reciente construcción (2015).

Para esta cuenca se aprecia que la iniciativa del embalse de cabecera Pocuro, de 100 Hm³, no resultaría rentable, y tampoco generaría un aporte significativo al PIB, por lo cual no es posible desprender una recomendación positiva sobre su materialización.

Acerca del embalse Juncal, se simularon 3 tamaños, 30, 100 y 150 Hm³, sin resultados concluyentes. Para este embalse no hay estudios avanzados que permitan definirlo adecuadamente, por lo que se recomienda revisar el modelo en este sentido, cuando exista la información.

La ampliación del embalse Aromos, después de que ha sido implementada la tubería reversible de Esval, no resulta rentable desde el punto de vista del apoyo que presta a la actividad del riego agrícola. La tubería reversible tiene las siguientes características:

- o conducción reversible de 12 km que se separa en dos tramos (Embalse Los Aromos - Conducción Colmo y Conducción Colmo - Planta Concón). Su primer tramo permite reducir las pérdidas en el estero Limache.
- o captación directamente desde el río Aconcagua, en Concón.
- o capacidad de 1,95 m³/s, opera con un caudal mínimo de 300 l/s.
- o opera entre julio y octubre, cuando hay espacio en el embalse Aromos para recibir el agua.
- o opera cuando hay más que 300 l/s de caudal pasante en Concón.

Esta tubería mejora la situación base del embalse Aromos, en relación con la situación anterior sin tubería, por lo que el aporte que una ampliación generaría sobre esa situación resultaría insuficiente. La cantidad de hectáreas nuevas que podría desarrollarse en base a la ampliación no sería capaz de rentabilizar la inversión.

Para todos los escenarios climáticos se aprecia que la iniciativa que supera una TIR del 6% es la de incorporación de pozos, ya sea en todo el valle, o en algunos acuíferos seleccionados. Sin embargo, no se recomienda la incorporación de más pozos en los acuíferos de San Felipe, Putaendo, Nogales, Limache ni Desembocadura, donde los caudales de explotación actualmente serían de 2.890, 0.500, 1.160, 0.630 y 0.140 m³/s, salvo que esto se realizara en forma muy controlada. Estos acuíferos ya aparecen afectados por las extracciones actuales, en la situación de reducción de recarga que genera la sequía, en especial el acuífero de Putaendo, que aparece insustentable en esta situación.

Se simuló un aumento de caudales, de 0.90 m³/s en el acuífero de San Felipe, 0,52 m³/s en Nogales, 0.27 m³/s en Limache y 0.070 m³/s en desembocadura, caudales que resultarían insustentables para los acuíferos San Felipe y Limache, mientras se prolonga la sequía.

También se aplicó un aumento al caudal extraído desde los demás acuíferos, Panquehue, Catemu, Llay Llay y Quillota. Estos acuíferos admitirían algún incremento en su explotación, al revelarse que un aumento de extracción prácticamente no afectaría los niveles propios ni los acuíferos aledaños. Los aumentos de caudal simulados son de 0.17 m³/s en Panquehue, 0,30 m³/s en Catemu, 0,27 m³/s en Llay Llay y 0,5 m³/s en el acuífero de Quillota. Para Quillota, se llegó a un aumento de hasta 0.83 m³/s, sin efectos adversos. Por lo señalado, estos aumentos de caudal, que totalizan 1.57 m³/s, serían sustentables y podrían ser extraídos desde unos 52 pozos. Se impone, de todas maneras, la necesidad de monitoreo permanente de los acuíferos.

Por otro lado, se perfilan como rentables las iniciativas de aumento de eficiencia como unificación de bocatomas y tecnificación del riego. La tecnificación del riego por si sola resulta rentable, no así la unificación de bocatomas sin tecnificación del riego, debido a que por sí sola no genera aporte significativo en hectáreas regadas.

No obstante lo señalado, el aumento de tecnificación tiene un límite físico en el efecto que la reducción de la recarga genera sobre los acuíferos, particularmente cuando se trata de los sectores de riego con ubicación en los acuíferos ya señalados. La tecnificación genera un efecto de descenso sostenido, tanto en período de sequía, como en escenario de cambio climático. Un nivel de 20% de tecnificación en estos sectores resulta aceptable en cuanto a los efectos sobre la napa, no así un aumento de 60%. De todas maneras, se impone la necesidad de monitoreo permanente de los acuíferos.

También se perfila como un proyecto que podría llegar a resultar recomendable el Embalse Catemu de 30 Hm³, especialmente en escenario de sequía prolongada. Si bien no se rentabiliza en base a las hectáreas que aporta al riego, podría proponerse como un embalse multiuso (turismo, agua potable, etc.), para aumentar su rentabilidad.

El embalse Catemu de 180 Hm³, por otro lado, aunque impacta en forma más importante el PIB, no parece un proyecto que pueda resultar rentable, debido a la insuficiente cantidad de hectáreas que aporta al riego.

Ambos proyectos de embalse en Catemu no poseen aún estudios avanzados como para afinar las conclusiones a este respecto.

En resumen, para la cuenca del Aconcagua se puede decir lo siguiente:

- En primer lugar, aparece como iniciativa viable y recomendable el aumento controlado de extracciones de agua subterránea, especialmente en los acuíferos no mayormente afectados por la sequía, que son Panquehue, Catemu, Llay Llay y Quillota. El aumento simulado fue de hasta 1,57 m³/s, que podrían extraerse desde unos 52 pozos, sujeto al monitoreo del estado del acuífero. Los acuíferos se recargan con facilidad cada vez que vuelve a haber recurso disponible.
- En segundo lugar, resultan recomendables las medidas de eficiencia como tecnificación del riego y unificación de bocatomas, especialmente en las secciones 1ª y 2ª, con la limitación de que la tecnificación excesiva afectaría negativamente los acuíferos San Felipe, Putaendo, Nogales, Limache y desembocadura, en épocas de sequía y en escenario de cambio climático. Avanzar tecnificando hasta el 20% del área que queda por tecnificar, constituiría una situación sustentable.
- En tercer lugar, se puede pensar en recomendar profundizar los estudios del embalse Catemu de 30 Hm³, el cual, si bien no alcanza una TIR del 6% en las condiciones simuladas de operación para el riego, se podría llegar a rentabilizar en base al multiuso, con actividades adicionales como turismo, uso para agua potable y otros.
- No resulta recomendable la ampliación del embalse Aromos, en la situación de reciente implementación, en que será alimentado por la tubería reversible de ESVAL.
- Bajo los criterios actuales de evaluación por parte de MIDESO, que no incluyen consideraciones acerca del PIB, no resulta rentable, ni, por lo tanto, recomendable, la iniciativa del embalse Catemu de 180 Hm³.

b) Cuenca del Choapa

En esta cuenca, los escenarios base incluyen dos embalses de reciente construcción, que son Corrales de 50 Hm³ (2001) y El Bato de 26 Hm³ (2012).

Para esta cuenca se aprecia que las iniciativas de embalses de cabecera (Choapa y Chalinga) no resultan rentables, ni tampoco aportan significativamente al PIB, por lo que no se puede desprender una recomendación positiva acerca de su implementación. El embalse de cabecera en el río Choapa no es una iniciativa del MOP, sino que de la mesa público-privada llamada Mesa del Agua de Salamanca.

El único embalse viable resulta ser el embalse Canelillo, que desarrolla un sector de riego completamente nuevo, llamado ZR-29 en el modelo, que se ubica en el litoral. El embalse es muy rentable, entre otros aspectos porque la nueva zona regada se concibe altamente tecnificada. El embalse es sustentable en general, sin embargo, podría afectar la recarga del acuífero de Huentelauquén, por lo que posiblemente habría que tomar medidas específicas de caudales ecológicos para proteger ese acuífero.

Una forma viable de sustentar el riego resulta ser el aumento de la explotación de algunos acuíferos. En estos casos, lo más eficiente es entregar el agua directamente al

riego, y no al río, debido a las ineficiencias que ocurren en este último caso, las que prácticamente anulan el efecto de la iniciativa.

Es necesario manifestar que los acuíferos del Choapa Alto (3 al 10, salvo 4 y 5) se ven fuertemente afectados por la sequía, como también los acuíferos de Illapel Bajo, los que descienden sostenidamente su nivel mientras dura esta condición. También se recargan y se recuperan muy rápidamente cuando vuelve a haber agua disponible, pero no se puede saber en cuánto tiempo eso ocurrirá, por lo cual la recomendación es intensificar el monitoreo de los niveles para evitar sobreexplotar estas fuentes mientras perdure la condición de sequía. Contar con un sistema de monitoreo permitirá, además, hacer una gestión de los acuíferos en el futuro, de modo de integrar el recurso superficial y subterráneo.

Los acuíferos del valle de Illapel son pequeños, y no se puede recomendar hacer un uso más intensivo de ellos, en especial en vista de que los acuíferos bajos de ese valle (25 y 26) están ya muy explotados, y en condiciones de sequía, sobreexplotados.

Los acuíferos del valle de Chalinga también son pequeños, y no se recomienda aumentar su explotación.

Los acuíferos que aún tienen un margen para aumentar su explotación son los que se ubican en el Choapa Medio (14, 15, 16 y 17), con 0.8, 0.1, 0.1 y 0.1 m³/s respectivamente. Especialmente el acuífero El Tambo (14) podría ser fuente de pozos de emergencia, dado que la DGA ha declarado prohibido el acceso a los acuíferos.

En cuanto a la tecnificación, esta iniciativa generaría descensos de los niveles subterráneos, por falta de recarga de los acuíferos donde la alimentación por riego es importante, y donde la recarga merma en época de sequía. En esta cuenca, los acuíferos son precarios y vulnerables, y hay algunos cuyos niveles dependen en forma importante de las recargas de riego, como son los acuíferos 3, 7, 8, 9, 10 del Choapa Alto, 24, 25 y 26 del Illapel y 28 del Choapa Bajo. Estos niveles se ven afectados por la tecnificación del riego, especialmente en tiempos de sequía.

En resumen, para esta cuenca se puede recomendar lo siguiente:

- Se desprende como recomendable avanzar con el proyecto Canelillo, único embalse rentable para la cuenca. Sin ser necesario desde un punto de vista económico, desde un punto de vista social este embalse podría plantearse como de multiuso (turismo, agua potable para Illapel y SSR cercanos, etc.)
- Si se requieren pozos de emergencia para la sequía, avanzar con la explotación subterránea del Choapa Medio, especialmente del acuífero 14 El Tambo, bajo monitoreo permanente de los acuíferos involucrados.
- Se puede avanzar con la tecnificación del riego, aunque con precaución en los sectores de riego correspondientes a los acuíferos más vulnerables. La tecnificación reduce las recargas, por lo que afecta los acuíferos en tiempos de sequía o de cambio climático.
- Si se construyen pozos de restitución, el agua debería ser entregada lo más cerca posible a un sector de riego o canal, para evitar la ineficiencia que genera el devolverla al río.
- No resultarían recomendables los embalses Choapa ni Chalinga. No serían socialmente rentables, ni generarían un aporte significativo al PIB.

c) Cuenca del Huasco

En esta cuenca se cuenta con dos embalses naturales mejorados en el río El Tránsito, Laguna Grande y Laguna Chica, de 7 Hm³ y 3,5 Hm³, respectivamente, el primero de ellos incluido en la modelación. Además, se cuenta con el embalse Santa Juana de 170 Hm³, en operación desde el año 1995.

Para esta cuenca se aprecia que las áreas beneficiadas por las iniciativas de embalses, tanto El Carmen como el Huasco Bajo, serían pequeñas y no alcanzarían a dar rentabilidad a estas obras, y tampoco generarían una cantidad importante de aporte al PIB, por lo que no parecería recomendable su materialización.

Una forma viable de apoyar el riego, pareciera ser el aumento sustentable de la explotación de los acuíferos 4B, 5, 6, 7 y 8, ubicados desde Vallenar hacia aguas abajo, debido a que estos acuíferos se siguen recargando con las ineficiencias de riego y de conducción. Mientras tengan recarga, estos acuíferos responden bien a las extracciones. Ante la falta de recarga, se deprimen rápidamente. El límite sustentable para la explotación de estos acuíferos sería de 131, 65, 69, 37 y 28 l/s, respectivamente.

Frente a medidas de aumento de eficiencia, es necesario tener en cuenta que los acuíferos más vulnerables, especialmente en escenario de cambio climático y durante épocas de sequía, son los acuíferos 02 El Tránsito, 04A aguas abajo del embalse Santa Juana, 06 Freirina Alto, 07 Freirina Bajo y 08 Desembocadura.

La tecnificación del riego no aparece como rentable, aunque genera una importante cantidad de hectáreas beneficiadas, y por lo tanto, un significativo aporte al PIB. Por otro lado, frente a esta iniciativa es necesario cautelar la sustentabilidad del acuífero aguas abajo del embalse Santa Juana, que es vulnerable frente a cualquier merma de recarga.

Por otro lado, si se efectúa el revestimiento de canales de manera selectiva y optimizada hasta alcanzar el 10% de la longitud total y, además, se logra el aumento de eficiencia propuesto, esta inversión resultaría rentable, además de ser hídricamente sustentable.

En resumen, para la cuenca del Huasco se puede recomendar lo siguiente:

- Avanzar con la explotación hasta el límite sustentable, de los acuíferos 4B, 5, 6, 7 y 8, ubicados desde Vallenar hacia aguas abajo, debido a que estos acuíferos se siguen recargando con las ineficiencias de riego y de conducción.
- Los acuíferos más vulnerables frente a reducciones de la recarga por aumento de eficiencia son 02 El Tránsito, 04A aguas abajo del embalse Santa Juana, 06 Freirina Alto, 07 Freirina Bajo y 08 Desembocadura, especialmente en tiempos de sequía y cambio climático.
- No resultaría rentable la tecnificación del riego, aunque generaría una cantidad significativa de hectáreas regadas, y con ello, aporte al PIB.
- Por otro lado, si se efectuara el revestimiento de canales de manera selectiva y optimizada hasta alcanzar el 10% de la longitud total y, además, se lograra el aumento de eficiencia propuesto, esta inversión resultaría rentable, además de ser hídricamente sustentable.
- No resultarían recomendables los embalses El Carmen y el Huasco Bajo. No serían socialmente rentables ni generarían un aporte significativo al PIB.

9. REFERENCIAS

DOH-Ingendesa-AC (1998). Modelo de simulación hidrogeológico valle del río Aconcagua. Capitulo D. Modelo de Operación del Sistema. Ingendesa con la asesoría de AC Ingenieros Consultores Ltda. para Dirección de Obras Hidráulicas.

DGA-AC, (1998). Elaboración de los Modelos Matemáticos de Simulación para los valles Quilimarí y Pan de Azúcar para el estudio "Control y evaluación de recursos hídricos subterráneos IV Región".

DGA - AC (2000). "Modelo de simulación hidrológico operacional de cuencas de los ríos Maipo y Mapocho". Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. para Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

DGA (2002). "Evaluación de los recursos hídricos, cuenca del río Ligua, V región: informe técnico". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

DGA (2002). "Análisis del desarrollo de los recursos hídricos cuenca del río Aconcagua: informe técnico". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

DOH-Isensee P. (2004). Modelación Integral de Los Recursos Hídricos de los Valles de los ríos La Ligua y Petorca. Pablo Isensee Martínez, Ingeniero Civil, para Dirección de Obras Hidráulicas.

DGA – GCF (2007). "Análisis de información hidrogeológica del valle del río Aconcagua para la actualización del modelo de operación del sistema: informe final". GCF Ingenieros Consultores para Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

DOH-DICTUC (2009). Modificación Modelos DGA Visual Modflow - MOS Y MOS-PS para Determinación Disponibilidad Real de Aguas Subterráneas en el Valle del Aconcagua, Segunda Etapa Informe Final – Tomo IV Modelo de Operación del Sistema, MOS ACN 2008. División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental DICTUC S.A. para DOH.

MIDESO (2013) Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de embalses y obras hidráulicas anexas con fines múltiples. División de Evaluación Social de Inversiones, Ministerio de Desarrollo Social.

GORE – CONIC BF/RODHOS, 2013. Diagnóstico Plan Maestro para la Gestión de Recursos Hídricos, Región de Coquimbo. CAZALAC con la asesoría de RODHOS para GORE Coquimbo.

DGA – DARH (2015). "Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración y Recursos Hídricos. Sectores Llay Llay, Nogales-Hijuelas, Quillota, Aconcagua en Desembocadura y Limache.

Orphanópoulos, D. y Dumoulin P. (2015). "Metodología para exploración y explotación de resultados en modelos hidrológicos integrados". XXII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

DGA – DARH (2016). "Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el Valle de Aconcagua: sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos.

DGA – RODHOS, 2017. Análisis para el desarrollo de un plan de GIRH en la cuenca del Choapa. RODHOS para DGA. SIT N° 420.

Singh, V. P., 2018. Hydrologic modeling: progress and future directions. Geoscience letters, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>

DGA – WSP (2019). "Proyecto actualización de la modelación hidrológica integrada del Aconcagua". Resumen Ejecutivo. WSP Consulting Chile Ltda. para Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

DGA – UTP Hídrica-Eridanus (2020). "Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Huasco". SIT N° 462.

DGA - UTP Hídrica-Eridanus (2020). "Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Choapa". SIT N° 463.

DGA – UTP Hídrica-Eridanus (2020). "Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Aconcagua". SIT N° 464.

DGA – UTP Hídrica-Eridanus (2020). "Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Huasco". SIT N° 462.

MOP-MINAGRI-SISS-INH-RODHOS (2020). "Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050, versión 2020"

Banco Central de Chile, "Matriz de Insumo – Producto 2017 de 111 x 111"

Banco Central de Chile, "Cuentas Nacionales Regionales", varios números

Ciren, "Superficie Frutal regada en 2018", 2019

Comisión Nacional de Riego, "Estudio Diagnóstico Obras de Acumulación Agua Riego: Los Ríos", Cuenca Ingenieros Consultores, Diciembre de 2012

Comisión Nacional de Riego, "Estudio Diagnóstico Obras de Acumulación Agua Riego: Los Lagos", Cuenca Ingenieros Consultores, Diciembre de 2012

Dirección General de Aguas, "Estudio de Demanda", 2017

Arnold Harberger, "Project Evaluation", 1976, University of Chicago Press

Instituto Nacional de Estadísticas, "Censo Agropecuario 2007"

Instituto Nacional de Estadísticas, "Censo de Población 2017"

Wasily Leontieff, "Análisis Económico Input-Output", 1973, Editorial Ariel

Superintendencia de Servicios Sanitarios, "Consumo de Agua Potable Urbana", 2017.

Vallejos T. (2021). Migración sistema MOS a PyMOS. Departamento de Ciencias de la Computación Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. CC5901-1 Práctica Profesional II.