

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO: IMPLICANCIAS EN EL USO
PLENO DE LOS DERECHOS DE AGUA**

LENÍN HENRÍQUEZ-DOLE¹
SEBASTIAN VICUÑA^{1,2}
JORGE GIRONÁS^{1,2,3}

RESUMEN

La cuenca del Río Maipo en Chile central alberga una población aproximada de 7 millones de habitantes y alrededor de 145.000 Ha de cultivos. La alta demanda de agua para satisfacer las necesidades poblacionales y agrícolas ha hecho que esta cuenca sea una de las más intervenidas en Chile, creando una complicada red de canales y un sistema de uso del agua basado en derechos de aprovechamiento. El río Maipo está dividido en tres secciones, cada una con una organización encargada de administrar el agua que se otorga a sus asociados quienes utilizan el agua principalmente para riego. Se ha elaborado un modelo hidrológico y de gestión a escala semanal utilizando la herramienta Water Evaluation and Planning (WEAP) para simular la distribución del agua en la Primera Sección del Río Maipo. Datos meteorológicos y fluviométricos históricos (1990-2014) han sido considerados en la construcción del modelo. Los resultados demuestran que utilizar solamente los derechos plenos de aprovechamiento en la simulación sobrestima la asignación de agua y que la dotación que reciben las asociaciones de canalistas está ligada a un proceso continuo de toma de decisiones entre oferta y demanda. Otros factores, como restricciones por ley o condiciones de sequía, condicionan el uso pleno de los derechos y deben ser considerados al momento de simular el sistema.

¹ Depto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile - lehenriquez@uc.cl

² Centro Interdisciplinario de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile

³ Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Pontificia Universidad Católica de Chile

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de los recursos hídricos, el término “integración” ha sido extensamente utilizado, existiendo más de 35 definiciones de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) (García, 2008). Una definición comúnmente citada es la del Global Water Partnership (2000) que define GIRH como un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinados del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

De acuerdo a Savenije (2000) existen cuatro dimensiones que la GIRH debe considerar: las diferentes fuentes de agua, los usuarios del agua, la escala espacial y la escala temporal. Para poder integrar todas las dimensiones de la GIRH, y visualizar los posibles escenarios producto de las complejas interacciones entre todos los aspectos y escalas involucradas, se han desarrollado modelos hidrológicos y modelos de gestión (Arnold et al., 2012; Labadie et al., 2000; Yates et al., 2005). Los primeros se han centrado en reproducir el ciclo natural del agua, usualmente para determinar la oferta del recurso; y los segundos vinculados a la interacción entre las demandas y ofertas. Debido a su concepción, es evidente que los modelos de gestión son una herramienta en la implementación de la GIRH, sin embargo uno de los desafíos actuales es poder plasmar dentro de un modelo la complejidad de las decisiones humanas o políticas públicas que intervienen en un sistema, cuya caracterización va más allá del ciclo del agua y necesita una visión interdisciplinaria.

La diversidad de usuarios del agua ha llevado a la Dirección General de Aguas (DGA) a la implementación de diversos modelos para caracterizar las aguas subterráneas (MOS-Modelo Operacional del Sistema), las interacción entre aguas superficiales y subterráneas (MAGIC-Modelación analítica, genérica e integrada de cuencas), finalizando en la materialización de un plan director de la cuenca del Río Maipo (DGA-MOP, 2008) que ayude en la GIRH, incorporando proyecciones de demandas aisladas por sector (industrial, agrícola, rural y urbano).

El objetivo de este estudio es simular la distribución del agua en la Primera Sección del Maipo, cuantificar el efecto que tienen diversas medidas de gestión en el uso pleno de los derechos adquiridos por las asociaciones de canalistas y verificar si es posible simular la complejidad de las decisiones humanas que intervienen en un sistema a través de índices o factores que ayuden a comprender la dinámica del sistema. Para lograr el anterior objetivo se ha planeado un modelo hidrológico y de gestión que incorpore reglas de operación simples que ayuden a comprender la asignación de agua. Apoyados en relaciones empíricas entre caudales observados y simulados se crearán índices que muestren la influencia de las decisiones humanas y expliquen la forma en que funciona el sistema. Al final del análisis se plantearán relaciones de causa y efecto que ayuden a comprender el comportamiento de dichos factores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

La simulación de la distribución histórica del agua en la zona de la Primera Sección del Maipo ha sido estimada utilizando un modelo de gestión hídrica. Especial interés se ha dado al uso de

los derechos de aprovechamiento para verificar si se utiliza el agua de acuerdo a sus derechos todo el tiempo o existe variación en la aplicación de los mismos. Una serie de reuniones y entrevistas con los gerentes de las asociaciones de canalistas se realizaron con el fin de obtener y verificar datos durante todo el proceso.

La metodología que se ha seguido consta de 2 etapas principales: i) Caracterización de las unidades de análisis a través del análisis de diferentes fuentes estadísticas y sistemas de información geográfica; ii) Simulación de la oferta hídrica en la zona y en cada unidad de análisis utilizando los datos de las estaciones meteorológicas y fluviométricas.

Área de Estudio: Primera Sección del Maipo (PSM)

La cuenca Hidrográfica del Río Maipo, con una superficie de 15.304 Km², es una de las cuencas más importantes e intervenidas en Chile. El clima de la zona está caracterizado por veranos secos y cálidos e inviernos fríos que concentran la lluvia anual (200-500 mm) en un período de 3 meses (McPhee, Cortes, Rojas, & Garcia, 2014). De acuerdo a la clasificación de Koppen, el clima es oceánico mediterráneo (Csb), sin embargo tendencias en los últimos 30 años indican un incremento en la temperatura y una disminución en los montos de precipitación (Cortés et al., 2011) lo que está haciendo migrar la clasificación del clima a Semiárido (Bs).

De acuerdo al actual Código de Aguas (1981), el Río Maipo se encuentra dividido en tres secciones legales para su explotación. La Primera se sitúa entre San José de Maipo y el puente del ferrocarril de Paine a Talagante, la Segunda desde allí hasta la confluencia con el Río Mapocho y la última desde la confluencia hasta el mar. Este estudio se centra en el área de influencia de la Primera Sección del Maipo (ver Figura 1) que está integrada por siete Asociaciones de Canalistas y 1 Empresa de Agua Potable (ver Tabla 2) y cuya superficie equivale a 173.402 Ha de las cuales 56.640 Ha son destinadas al riego.

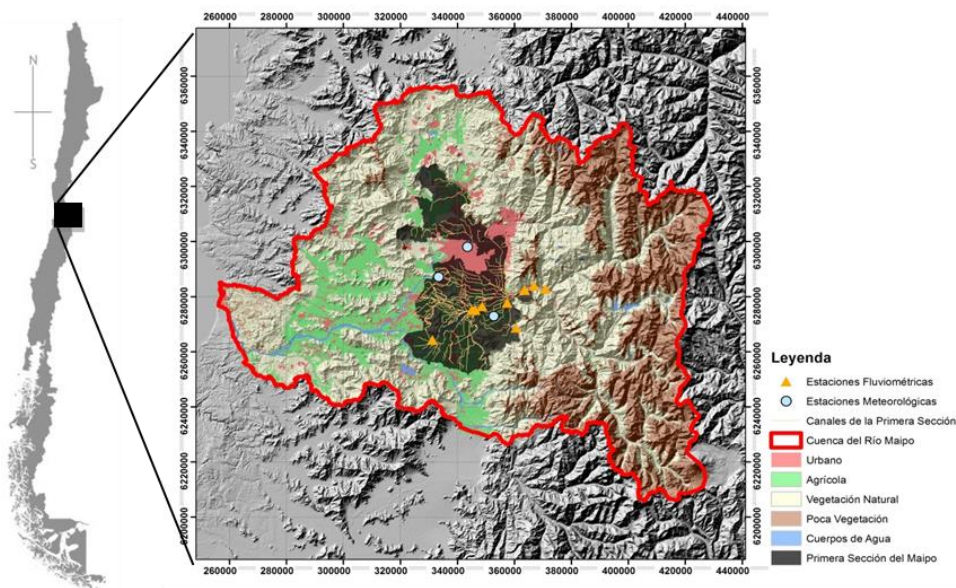


Figura 1. Ubicación de la cuenca y de la 1ra. Sección del Maipo

Sistema de Derechos de Uso del Agua en la Primera Sección del Maipo

El Chile, el actual Código de Aguas define un régimen de propiedad sobre los recursos hídricos basado en derechos de aprovechamiento que se pueden expresar en términos de caudal variable (lts/seg), o acciones constantes. La Primera Sección del Maipo posee 8133 acciones que equivalen a derechos de aprovechamiento según la disponibilidad de agua en el Río Maipo (ver Tabla 1). La distribución del agua dentro de la PSM se hace proporcionalmente de acuerdo a las acciones que le corresponden a las Asociaciones de Canalistas (ver Tabla 2).

Tabla 1. Caudal Máximo Extraíble en el Río Maipo

Mes	Caudal ¹ (m ³ /s)	Caudal ajustado ² (m ³ /s)	Mes	Caudal ¹ (m ³ /s)	Caudal ajustado ² (m ³ /s)
Enero	144.6	155.4	Julio	66.1	71.0
Febrero	140.5	151.0	Agosto	64.9	69.7
Marzo	108.8	116.9	Septiembre	82.7	88.9
Abril	83.9	90.2	Octubre	120.5	129.5
Mayo	70.4	75.7	Noviembre	149.0	160.1
Junio	65.9	70.8	Diciembre	149.0	160.1

¹Fuente: IPLA (1974)

²Máximo caudal extraíble ajustado de 7568 a 8133 acciones

Tabla 2. Acciones por Asociación en la Primera Sección del Maipo

Asociación	Acciones
Asociación de Canalistas de Canal del Pirque	653.2
Aguas Andinas (AA)	1517 ¹
Asociación de Canalistas Sociedad Canla de Maipo (SCM)	2564.3
Asociación Canal Huidobro	650.4
Asociación Canales Unidos de Buin (ACUB)	1046.5
Asociación Canales de Maipo (ACM)	1617.3
Asociación de Canalistas de Lo Herrera	53.9
Asociación de Canalistas Lonquén – La Isla	30.4

¹Aguas Andinas = Toma Independiente (1175) + Planta La Florida (317.7) + Canal Peral (24.3)

Canales y Bocatomas

La red de canales y sus respectivas bocatomas han sido facilitadas por la Comisión Nacional de Riego (CNR), quienes han delineado los principales canales de todo Chile. De esta red nacional de canales se han extraído los localizados dentro del área de influencia de la PSM los cuales pueden observarse en la Figura 1 y cuyas capacidades máximas se muestran en la

Tabla 3.

Datos Meteorológicos y Fluviométricos

Para caracterizar el clima del lugar se han utilizado tres estaciones meteorológicas: Pirque, perteneciente a la DGA; Pudahuel y Quinta Normal, pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (ver ubicación en Figura 1). Una base de datos con la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima a escala diaria fue creada para el período de 1990 al 2014. Los datos de humedad relativa máxima y mínima diaria fueron estimados en base a relaciones con la temperatura (FAO, 2006). Finalmente, los datos de velocidad del viento y radiación solar a

escala diaria fueron obtenidos de los exploradores de energía eólica y solar del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Tabla 3. Capacidades máximas de canales matrices en la Primera Sección del Maipo

Canal	Capacidad Máxima ¹ (m ³ /s)
Canal Sirena	31.0
Canal Pirque	13.5
Toma Independiente (Aguas Andinas)	14.5
Canal San Carlos	53.5
Canal Huidobro	15.0
Canal Buin	14.5
Canal ACM	32.5
Canal Lo Herrera	4.0
Canal Lonquen – La Isla	3.0 ²
Canal Clarillo	5.0 ²

¹ Estimada en base a los registros de caudal reportados por la Junta de Vigilancia

²Fuente: Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos Cuenca del Maipo

La base de datos fluviométricos se creó utilizando la información de caudales medios diarios de 10 estaciones: una perteneciente a la DGA (Maipo en el Manzano) y nueve pertenecientes a la Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Maipo, de las cuales siete están ubicadas en las bocatomas de los canales que abastecen a las diferentes asociaciones de canalistas (ver Figura 1). El período de datos recopilado es el mismo que para las estaciones meteorológicas con un vacío en el período 2007-2010.

Modelo WEAP

La plataforma Water Evaluation and Planning (WEAP) es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos. WEAP integra la oferta hídrica a través de procesos hidrológicos a escala de cuenca con un modelo de manejo de los recursos hídricos caracterizado por demandas y requerimientos ambientales, siguiendo las redes físicas delimitadas por la topografía de la cuenca, los lagos, los cauces y los canales (Yates et al., 2005).

3. MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA EN LA PRIMERA SECCIÓN DEL RÍO MAIPO

La Primera Sección del Río Maipo está constituida por siete asociaciones de canalistas y una empresa de agua potable y sanitaria. El esquema representa la conceptualización del modelo (Figura 2). Cabe destacar que, aunque las centrales hidroeléctricas están representadas en el sistema y poseen derechos de aprovechamiento, estas no son condicionantes al momento de hacer la repartición de los caudales en el sistema y por tanto se han omitido en el presente análisis.

El sistema comienza con la medición de los caudales en la estación Río Maipo en el Manzano a partir de donde se determina el caudal extraíble del río en base a los derechos de aprovechamiento. Luego el caudal extraíble es repartido a cada una de las asociaciones

de acuerdo al número de acciones correspondientes y limitado por la capacidad máxima de conducción del canal (ver Tabla 2 y

Tabla 3). Se ha asumido una pérdida del sistema (infiltraciones en el lecho) del orden del 2% por tramo analizado y una pérdida del orden del 15% en cada canal.

Se ha optado por utilizar el coeficiente de Nash Sutcliffe (NS) como índice de la bondad de ajuste del modelo a los datos observados.

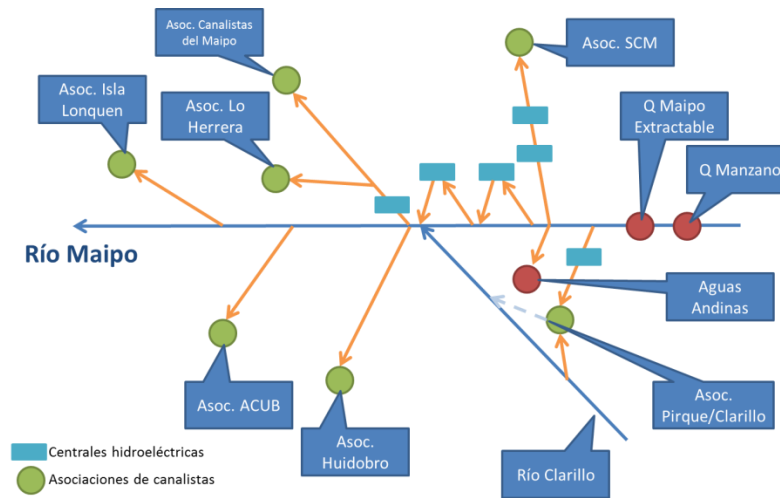


Figura 2. Esquema del sistema de la 1ra sección del Maipo

Caracterización de la Oferta Hídrica

La oferta hídrica en la Primera Sección del Maipo está determinada por los aportes registrados en la estación fluviométrica Río Maipo en el Manzano, los aportes del Río Clarillo y los aportes de dos pequeñas microcuencas (no representadas en el esquema por simplicidad). El modelo se ha planteado a escala semanal. Los principales aportes corresponden a los registrados en el Río Maipo y de donde se extraen los derechos de aprovechamiento. Los aportes del Río Clarillo son utilizados por predios aledaños a la Asociación de Canalistas de Canal de Pirque y los retornos del riego luego utilizados por la Asociación Canal Huidobro. Los aportes de las 2 pequeñas microcuencas se han estimado siguiendo el procedimiento definido en la Guía Metodológica para Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP (CCG, 2009). Los aportes de estas 2 microcuencas son del orden de 1-2 m³/s por lo que se han despreciado en los análisis posteriores.

La distribución de los recursos hídricos del Río Maipo en la Primera Sección es regulada por la Junta de Vigilancia mediante un proceso de ajuste continuo según los caudales que se registran en cada una de sus bocatomas principales: Canal La Sirena, Canal San Carlos y Toma Independiente. A la suma de este registro se le denomina Río Maipo en La Obra y define el agua a repartir entre todas las asociaciones. Adicionalmente, la DGA ha impuesto un caudal límite que puede ser extraído cada mes del Río Maipo para su aprovechamiento (ver Tabla 1). Para simular la cantidad de agua extraída en el Río Maipo por la PSM se ha utilizado la siguiente expresión:

$$Q_{extracción\ j} = \text{Min}(Q_{Max\ i}, Q_j) \quad \forall i(1,12), j(1,52) \quad (1)$$

En donde Q_{max} corresponde al caudal máximo extraíble, Q al caudal promedio semanal en el río Maipo, i al número del mes del año y j al número de la semana correspondiente.

La distribución del agua en cada canal se ha hecho en base a las acciones que le corresponden a cada asociación siguiendo la siguiente fórmula:

$$Q_{canal\ m,j} = Min (C_m, (F_{m,j}) \left(\frac{x_m}{a}\right) (Q_{extracción\ j}) \quad \forall j(1,52) \quad (2)$$

En donde Q_{canal} es el caudal asignado al canal de la asociación m , C es la capacidad máxima del canal, F_j un factor de ajuste semanal por canal, x las acciones que le corresponden a la asociación y a el número total de acciones.

La ecuación 2 muestra la manera de determinar los caudales máximos que se pueden otorgar a cada canal, sin embargo para asegurar que no se distribuya menos de lo que le corresponde a las asociaciones también se debe incluir una condición mínima de flujo igual a la ecuación 2 y así asegurar que cada asociación recibe lo que le corresponde por derechos.

Los caudales de las estaciones fluviométricas ubicadas en las bocatomas han sido utilizadas como datos para la calibración y validación del modelo. Se definió el período de 1990-1992 como período para el calentamiento del modelo, 1993-2006 como período de calibración y 2010-2014 como período de validación. Los períodos finalmente adoptados para cada asociación se pueden observar en la Tabla 4. La asociación Lonquen-La Isla no ha sido parte de ninguna calibración por no contarse con datos fluviométricos para la misma.

Río Clarillo es de régimen pluvio-nival por lo que se crearon 9 bandas de elevación, a cada 250 metros, las cuales fueron caracterizadas por su superficie, uso de suelo, clima y parámetros de generación de escorrentía. Se utilizó la estación clarillo como estación de calibración, que mide los aportes del Río Clarillo no utilizados para el riego y los caudales de retorno del mismo en la zona.

El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS) se ha utilizado como criterio para evaluar la bondad de ajuste entre los valores de caudales semanales simulados y los observados (tanto para el período de calibración y validación) en todas las estaciones fluviométricas. A través de la calibración y validación parcial de cada estación se ha asegurado la variabilidad espacial y temporal del sistema (y de sus partes).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución del Agua en Canales

La simulación de los caudales en Maipo en La Obra (Figura 3) muestra un buen ajuste del modelo a los valores observados. La serie de caudales observados en Maipo en la Obra ha sido truncada al valor de caudal máximo extraíble para hacer la comparación. Esta relación permite tener una mayor certidumbre respecto a la distribución de caudales en los diferentes canales,

resumiendo en una ecuación las operaciones diarias que se efectúan monitoreando las compuertas de los diferentes canales principales.

Al realizar la distribución del agua en los diferentes canales utilizando la ecuación 2 con el factor de ajuste igual a 1, es decir sólo con la proporción de derechos que le corresponde a la asociación de acuerdo al caudal extraíble del río se obtiene el gráfico de la izquierda en la Figura 4. A simple vista esta propuesta no simula los valores observados y por eso se ha introducido un factor de ajuste semanal (Figura 5) por asociación que permita simular los caudales observados en los diferentes canales. En el gráfico de la derecha en la Figura 4 se observa un mejor ajuste utilizando el factor propuesto.

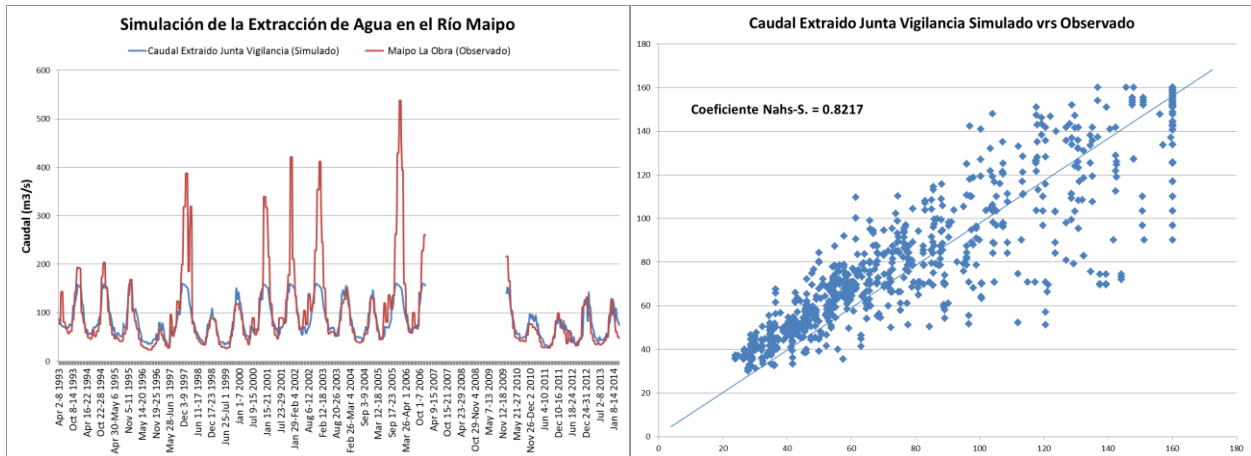


Figura 3. Caudales Extraíbles (Maipo en la Obra)

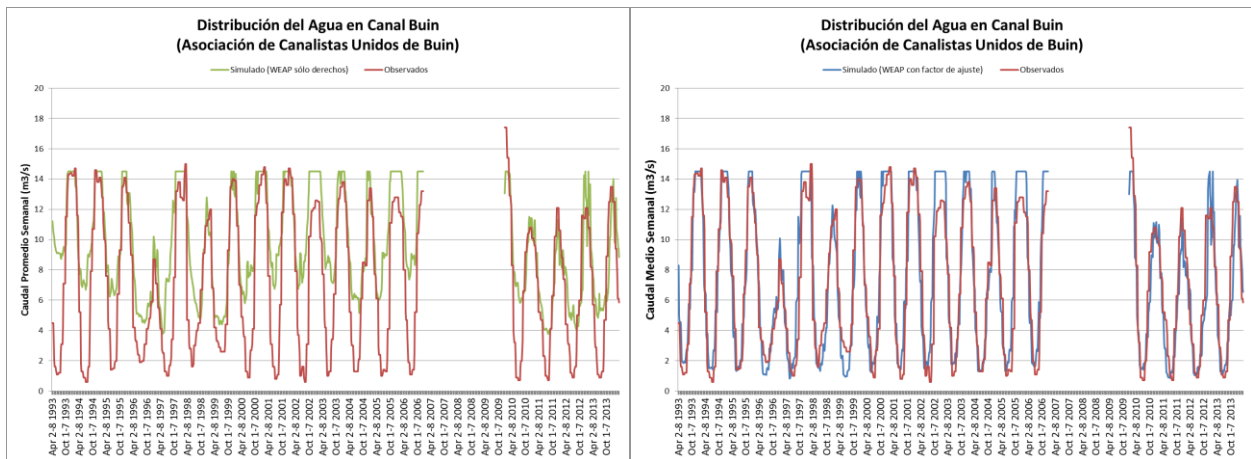


Figura 4. Hidrograma sin factor de ajuste y con factor de ajuste

El factor de ajuste propone una manera de incluir la toma de decisiones que día a día se realizan al momento de distribuir el agua en la Primera Sección del Maipo. Un análisis más profundo de este factor permite observar la alta variabilidad que tiene a lo largo del período de estudio para todos los casos (Figura 5), lo que indica que las decisiones respecto a la distribución del agua son tomadas de acuerdo a una serie de factores que no dependen sólo de la oferta hídrica y sus derechos de aprovechamiento, sino que también de la demanda (cultivos, industrias, población), el mercado del agua y las condiciones climáticas. Un análisis más profundo de las condiciones

locales ayudará a determinar la naturaleza de este factor y su variabilidad interanual. Más aún, si evaluamos el significado de la magnitud del factor nos permite evaluar si se está haciendo uso pleno de los derechos de aprovechamiento, es decir se puede considerar como un índice de eficiencia en el uso del agua. Si el factor es igual a 1 los derechos de aprovechamiento están siendo utilizados a plenitud, sin embargo si este factor es menor a 1 significa que no se está utilizando toda el agua a la cual se tiene acceso y si es mayor a 1 que se está utilizando más agua de la pactada legalmente. En los gráficos de la Figura 5 se han colocado los valores de los percentiles 15, 50 y 85 del factor observado, proponiendo el percentil 50 como valor a ser utilizado en la simulación de los caudales en cada canal.

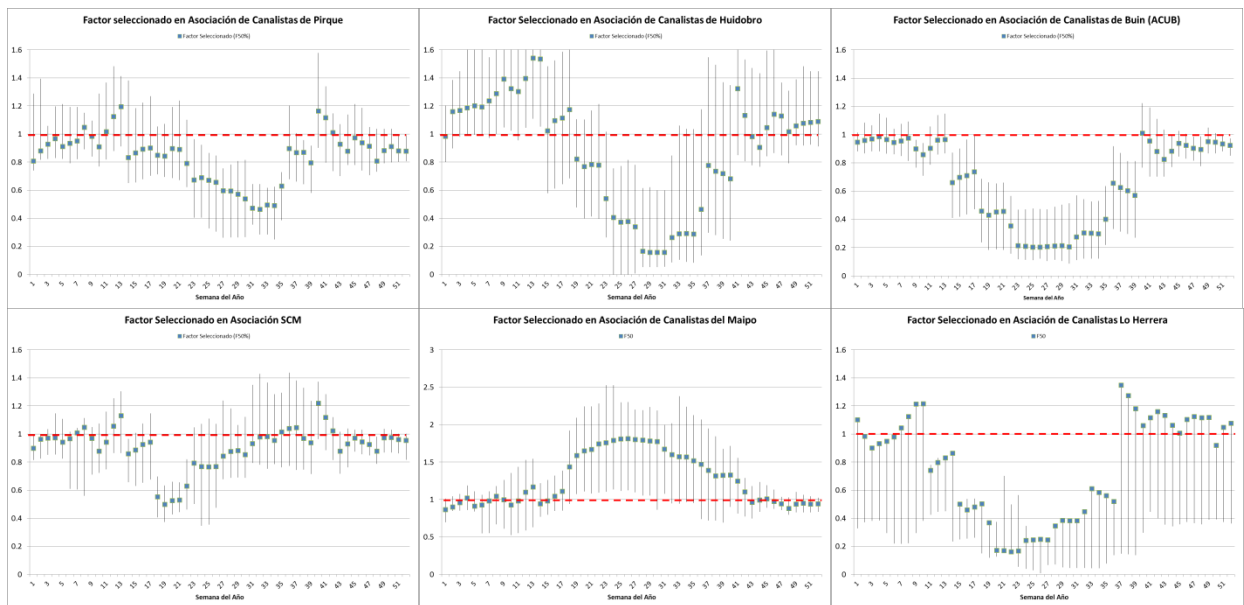


Figura 5. Factores de ajuste por asociación

El análisis de los gráficos de la Figura 5 muestra que el factor de ajuste no es constante a lo largo del año en ninguna de las asociaciones y refleja las operaciones que la Junta de Vigilancia realiza año a año para satisfacer las demandas de sus asociados. Llama la atención que en la mayoría de las asociaciones el factor es menor que 1 casi la mitad del tiempo y cercano a 1 el resto. Se consultó a los gerentes de las asociaciones las razones por las cuales las asociaciones querrían menos agua de la cual tienen derechos y respondieron que existen períodos de limpia de los canales y otros períodos regulados por ley en los cuales deben cerrar sus compuertas para permitir que los canales funcionen como drenajes de aguas lluvias. Además el uso de sus derechos está ligado a las demandas agrícolas que varían a lo largo del año, desde septiembre cuando es la siembra hasta febrero/marzo que suele ser el período de cosecha para muchos cultivos. Considerando todo lo anterior se hace evidente que el uso pleno de los derechos a lo largo del año no es real y que debe existir una gestión del agua para satisfacer las múltiples demandas hídricas.

Tabla 4. Períodos de calibración y validación, y Coeficiente Nash-Sutcliffe en asociaciones

Canal/Asociación	Periodo de Calibración	Coef. De Nash-S.	Periodo de Validación	Coef. De Nash S.
------------------	------------------------	------------------	-----------------------	------------------

Canal Pirque	1996-2006	0.85	2010-2014	0.78
Canal Huidobro	1996-2006	0.82	2010-2014	0.58
Canal Buin	1993-2006	0.84	2010-2014	0.83
Canal San Carlos	1994-2006	0.79	2010-2014	0.75
Canal ACM	1993-2006	0.79	2010-2014	0.75
Canal Lo Herrera	1998-2006	0.70	2010-2014	0.60

Utilizando el factor de ajuste propuesto se realizó la simulación de la distribución del agua en cada uno de los canales de la Primera Sección. Los resultados de la calibración y validación se pueden observar en la Tabla 4. Debe notarse que con un solo factor promedio para todos los años se llegan a resultados satisfactorios que describen muy bien la asignación de agua en cada uno de los canales de las asociaciones.

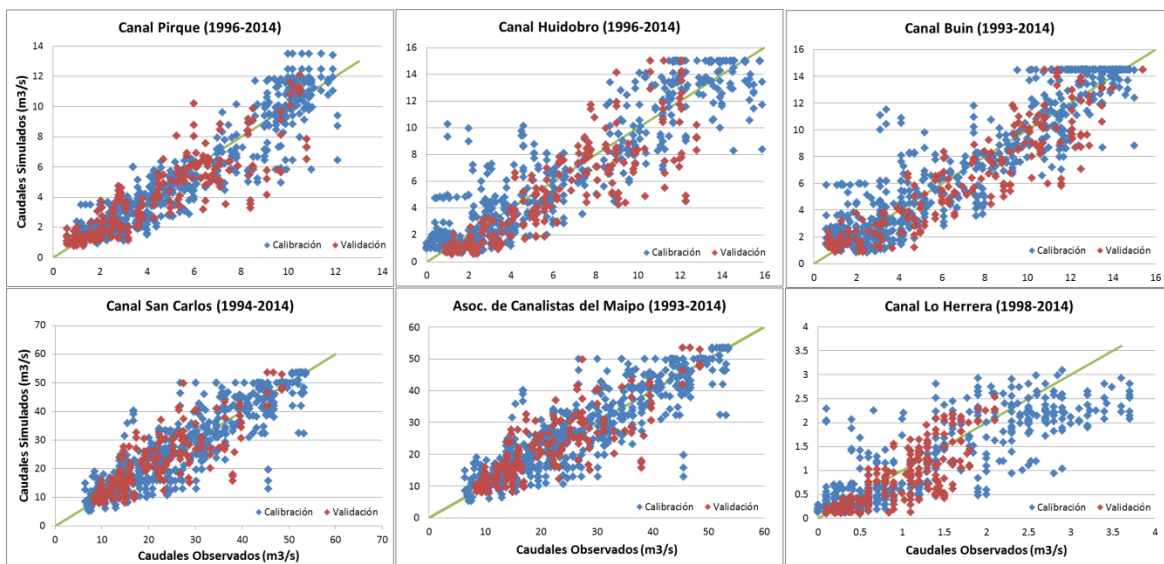


Figura 6. Comparación de los valores simulados y observados en el periodo de calibración (puntos azules) y de validación (puntos rojos), con respecto a la línea de 45°

De la Tabla 4 y la Figura 6 se deduce que el mejor ajuste se ha obtenido para los canales Buin y Huidobro, los que están más ligados al sector agrícola y al margen Sur del Río Maipo; mientras que los peores ajustes han sido para las asociaciones que se encuentran más aguas abajo y al margen Norte, indicando posiblemente que la regulación de los caudales en estas asociaciones no depende estrictamente del ciclo de los cultivos o las imposiciones por ley, sino que también dependen de las demandas de las múltiples industrias existentes en la zona y que requieren agua a lo largo de todo el año, como por ejemplo las centrales hidroeléctricas.

5. CONCLUSIÓN

Se ha demostrado que la simple simulación de los derechos de aprovechamiento del Río Maipo no es suficiente para representar la realidad que gobierna el sistema de asignación de agua en la Primera Sección del Maipo. La regulación de los caudales asignados a las diferentes asociaciones es evidente y se ha propuesto un índice-factor que representa la variabilidad interanual en la

compleja tarea de toma de decisiones que se hace por parte de la Junta de Vigilancia al momento de repartir el agua entre sus asociados. Un mayor análisis se requiere para caracterizar este índice con otros componentes del sistema y permita crear reglas de operación del sistema que tomen en cuenta factores agrícolas, sociales, políticos o económicos y que simulen las decisiones que se toman a diario en la asignación del agua.

La Primera sección del Maipo cuenta con una alta disponibilidad de agua para las diferentes demandas en su área de influencia. Esto se ve reflejado en los análisis porque pueden prescindir de sus derechos de aprovechamiento durante algunos meses hasta que la demanda crezca de nuevo y utilizarlos a plenitud. El análisis de los volúmenes no utilizados por la Primera Sección del Maipo podría indicar más disponibilidad de agua para otros usos o la apertura de nuevos derechos de agua.

El modelo de asignación de agua en los diferentes canales representa satisfactoriamente la distribución del agua en la Primera Sección del Maipo a nivel semanal. El menor coeficiente de eficiencia ha sido de 0.58, siendo la mayoría de los valores mayores a 0.75. La mayor dispersión se ha obtenido en los caudales altos implicando que se debe poner mayor atención en la simulación de esta parte del hidrograma.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por el Proyecto MAPA (IDRC 107081-001) Vulnerabilidad y Adaptación a la Variabilidad y al Cambio Climático en la Cuenca del Río Maipo en Chile Central en la preparación de este artículo y Lenín Henríquez-Dole extiende también su agradecimiento al Programa de Becas de CONICYT.

REFERENCIAS

- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R., Griesven, A. van, Vanliew, M., Kannan, N., Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *ASABE*, 55(4), 1491–1508.
- Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP
- Cortés, G., Vargas, X., & McPhee, J. (2011). Climatic sensitivity of streamflow timing in the extratropical western Andes Cordillera. *Journal of Hydrology*, 405(1-2), 93–109.
- Decreto con Fuerza de Ley No. 1122. Código de Aguas. Ministerio de Justicia, Santiago, Chile, Agosto de 1981.
- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas (2008). Plan Director del río Maipo. Vol. 1-7.

- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- García, L. E. (2008). Integrated Water Resources Management: A “small” step for conceptualists, a giant step for practitioners. *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 23-36..
- Global Water Partnership. (2000). *Integrated water resources management, report*, Stockholm.
- IPLA (1974). *Estudio de Recionalización de la Primera Sección del Maipo*. Santiago, Chile.
- McPhee, J., Cortes, G., Rojas, M., & Garcia, L. (2014). *Climate Adaptation Santiago*. (K. Krellenberg & B. Hansjurgens, Eds.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Melo, Jara y Recabarren, José (2005). *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y algunas experiencias de organizaciones de usuarios del agua*. Concepción, Chile: Editorial IME.
- Savenije, H. H. G. (2000). Water scarcity indicators; the deception of the numbers. In *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* (Vol. 25, pp. 199–204).
- Yates, D. N., Sieber, J., Purkey, D. R., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21 – A Demand- , Priority- , and Preference-Driven Water Planning Model Part 1 : Model Characteristics. *Water International*, 30(4), 487–500.