

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**LA COBERTURA NIVAL FRACCIONAL COMO PREDICTOR DE VOLUMEN
ESTACIONAL DE DESHIELO**

MIGUEL LAGOS ZÚÑIGA¹
EDWARD CORNWELL VARELA²
JAMES MCPHEE TORRES³
XIMENA VARGAS MESA⁴

RESUMEN

La disponibilidad del recurso hídrico en cuencas influenciadas por la componente nival ha sido un problema abordado en Chile a partir de predictores basados en observaciones *in-situ* de variables tales como precipitación, equivalente en agua de nieve, caudales observados en invierno, entre otros. En este estudio, se estudia la contribución de información de la cobertura nival fraccional estimada a partir de imágenes satelitales para la generación de pronósticos estacionales de deshielo. Se comparan enfoques de modelación tradicionales en cinco cuencas comprendidas entre Mapocho en Los Almendros y Maule en Bocatoma Central Pehuenche. Los resultados muestran que en general la cobertura nival fraccional puede disminuir el error del pronóstico en hasta un 9% en la cuenca Mapocho en los Almendros, siendo el aporte de este predictor menos importante en las cuencas del río Maule. Sin embargo, es imposible estimar a partir de enfoques estadísticos cuál será la incertidumbre asociada a un pronóstico dado antes de que comience la temporada.

¹Investigador profesional, AMTC – Depto. de Ingeniería Civil, U de Chile. – miguel.lagos@amtc.cl

²Investigador profesional, Advanced Mining Technology Center, U de Chile – e.cornwell.varela@gmail.com

³Profesor Asociado, Depto. de Ingeniería Civil, U. de Chile – jmcphee@u.uchile.cl

⁴Profesor Asociado, Depto. de Ingeniería Civil, U. de Chile – xvargas@ing.uchile.cl

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del uso del agua, se aprecia que en Chile muchos sectores productivos, tales como el agrícola e hidroeléctrico, concentran su mayor demanda en temporada de primavera-verano (septiembre a marzo). Además, en las principales cuencas hidrográficas de Chile el régimen hidrológico está dominado por el derretimiento de nieve estacional. De este modo conocer con anterioridad el volumen de deshielo que se tendrá para la temporada siguiente resulta de vital importancia para una eficiente gestión del recurso hídrico.

Los pronósticos de caudales de deshielo emitidos en la actualidad por la autoridad hídrica de Chile (la Dirección General de Aguas), se basan principalmente en predictores con la forma de índices meteorológicos de precipitación y temperatura, además de acumulación de nieve al final del invierno en estaciones de medición. Estos pronósticos generan buenas estimaciones para años hidrológicamente “normales”, pero en años secos se han observado sobreestimaciones de hasta un 60%¹, lo que se traduce en importantes pérdidas sociales y económicas. La base de un buen pronóstico de deshielo es conocer con la mayor exactitud posible la nieve almacenada en la cuenca a modelar, para luego con algún modelo matemático determinar la tasa de derretimiento que se tendrá durante la temporada. En Chile, estas estimaciones se hacen a escala mensual, no considerando la variabilidad semanal o diaria que tienen los caudales, lo que hace estas estimaciones poco óptimas para algunas aplicaciones, en particular aquellas que involucran embalses de regulación.

El problema de la incertidumbre del pronóstico hidrológico estacional dentro del país sigue vigente. En efecto, se aprecia que el clima de Chile central continúa cambiando en cuanto a sus patrones de precipitación y temperatura, incluyendo una sequía persistente durante los últimos 6 años en algunas zonas (Figura 1). En esas condiciones, relaciones estadísticas de pronóstico hidrológico desarrolladas con datos de períodos en años previos, van perdiendo validez aceleradamente.

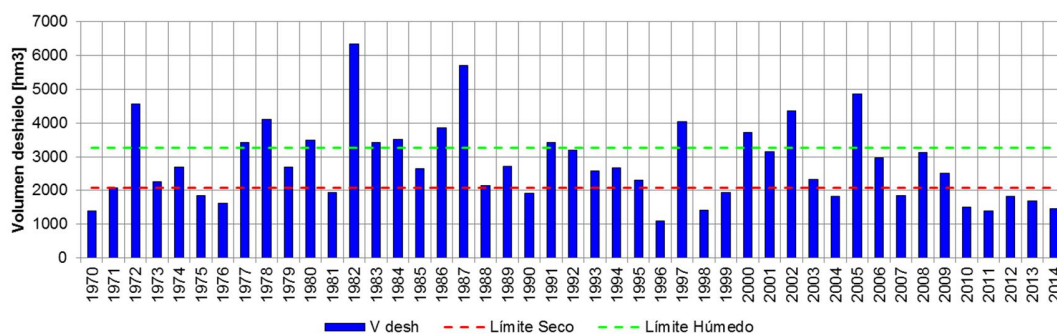


Figura 1. Volumen de deshielo escurrido en la cuenca Maipo en el Manzano entre 1970/71 y 2014/15.

¹ Pronósticos hidrológicos disponibles anualmente durante el mes de septiembre en la página <http://pronostico.dga.cl/>

En la Figura 1 se muestra el volumen de deshielo en la cuenca del río Maipo en el Manzano donde se constata que desde 1970, el 60% de los años no cuenta con una condición de normalidad, situación que tiende a presentar mayores desafíos a la hora de pronosticar (Dewalle and Rango, 2008). La temporada 2014/2015, recientemente terminada, también resultó ser un año seco por lo que la problemática de correctas estimaciones de estos volúmenes continúa vigente.

El objetivo principal de este artículo consiste en determinar, para cinco cuencas del país, si la cobertura nival satelital mejora el comportamiento de métodos tradicionales de pronóstico de volúmenes de deshielo, utilizando predictores típicos, comparando además con pronósticos realizados tanto por la DGA como para el CDEC-SIC.

Pronósticos de deshielo estacionales

En Chile, los pronósticos de caudales de deshielo en Chile, en general se han abordado considerando relaciones generales como las sugeridas por Espildora et al. (1975) descritas por la Ecuación (1).

$$V_{ED} = a \cdot I_p + b \cdot I_{CI} + c \quad (1)$$

Donde I_p corresponde a un índice de precipitaciones; I_{CI} índice de condiciones iniciales de la cuenca. Los coeficientes a , b y c son parámetros a calibrar. El índice de precipitaciones se puede componer de registros de lluvia y rutas de nieve.

En la práctica profesional, las condiciones iniciales suelen tomar como condiciones antecedentes la escorrentía en periodo de invierno y equivalente en agua de nieve máximo (EAmáx) en el año a pronosticar, este modo, estos predictores junto con la precipitación son los más usuales en el pronóstico de caudales de deshielo.

En la memoria de título de Ahumada (1977) incorporó por primera vez en Chile el uso de análisis de componentes principales (PCA) para la cuenca del río Elqui. Además estudios recientes como el de Mendoza et al. (2014), consideraron predictores de re análisis climatológicos y predictores del tipo meteorológico, como altura geostrofica, vientos zonales, temperatura del aire, para pronosticar el comportamiento del componente principal de las cuencas entre el río Hurtado en San Agustín, y Maipo en el Manzano, utilizando también PCA. En el estudio de Mendoza et al. (2014) sólo se incluyeron el equivalente en agua máximo como variable observada *in-situ* obteniendo para años secos modelaciones estocásticas que siempre envolvieron las observaciones, como se muestra en la Figura 2, pero aun así obteniendo un amplio rango de posibles volúmenes esperados, lo que genera un nivel de incertidumbre que podría no ser aceptable desde una perspectiva operacional.

El estudio UChile-DGA (2014), desarrolló un enfoque similar pero considerando análisis de clústeres zonales, adoptando predictores observados y combinaciones entre ellos, mediante análisis de componentes principales. Este estudio consideró predictores basados en caudales, índices de precipitación, EA y un índice de oscilación de temperatura (SOI²).

² <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>

La Figura 3, muestra para las cuencas de Maipo en el Manzano, Mapocho en Los Almendros y Maule en Armerillo el error obtenido al realizar una validación cruzada entre los años 1990-2012, comparando además con los errores obtenidos por la DGA en las mismas cuencas.

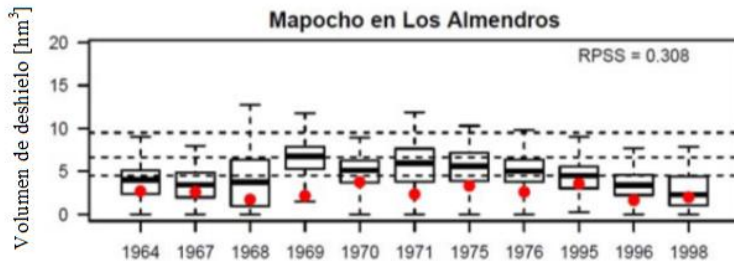


Figura 2. Pronóstico de caudales de deshielo en años secos para Mapocho en Los Almendros, considerando modelos de PCA y datos de equivalente en agua de nieve (donde la mediana de los pronósticos se representa como una línea gruesa, primer y tercer cuartil en una caja, y los valores extremos en líneas horizontales). Los Puntos rojos corresponden a los volúmenes observados. Fuente: Adaptado de Mendoza et al. 2014.

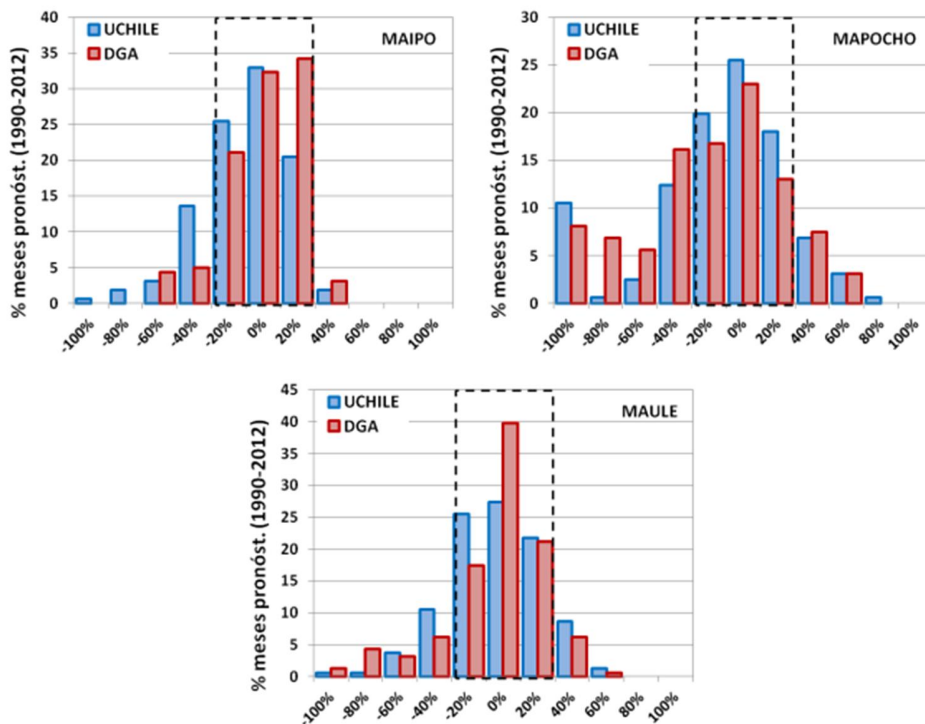


Figura 3. Errores de las metodologías de pronóstico planteadas mediante la metodología de PCA y clústeres hidrológicos y su comparación con la metodología desarrollada por la DGA. Fuente: Adaptado de DGA-UChile (2014).

Se desprende de las Figuras 2 y 3, que si bien estas metodologías pueden tener un excelente desempeño considerando el promedio de los volúmenes pronosticados, aún se cuenta con una gran incertidumbre reflejada en la amplitud del rango de los volúmenes posibles.

Otros estudios como el de Piechota et al. (1998) también han encontrado pronósticos de buena calidad utilizando predictores climatológicos globales como ENSO, teniendo implicancias reales y significativas en los pronósticos, así como de la influencia de temperatura del océano para ciertas latitudes.

La cobertura nival fraccional como predictor.

El estudio de Tripodi y Fernández (2000), incorporó para la cuenca del río Maule pronósticos mediante el análisis de funciones de transferencia, componentes de caudales auto-regresivos y regresión múltiple, considerando predictores de caudales, precipitaciones, rutas de nieve, ENOS y área cubierta de nieve (obtenida mediante LANDSAT TM); pronosticando para las temporadas 1996/97 y 1997/98, encontrando los menores errores volumétricos mediante la técnica tradicional de regresión múltiple, teniendo para estos años errores inferiores al 5%.

Del estudio de Tripodi y Fernandez (2000), se tiene que la cobertura nival contribuye a comprender el nivel de almacenamiento/agotamiento de la cuenca, sin embargo parece no ser un buen predictor en la cuenca analizada.

2. ZONA DE ESTUDIO

Se analizan cinco cuencas entre las regiones Metropolitana y del Maule: Mapocho en los Almendros, Maipo en el Manzano, Pangal en Pangal, Maule en Armerillo y Maule en bocatoma Central Pehuenche (Figura 4). Para fines operativos se utilizaron aquellas estaciones hidro-meteorológicas, ubicadas en la Figura 4, cuyo contenido se encuentra disponible en línea (<http://dgasatel.mop.cl/>). Estas estaciones codificadas en la Figura 4, junto con las mediciones utilizadas para pronosticar se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones hidro-meteorológicas consideradas en este estudio. Pp: Precipitación, T: Temperatura, EA: Equivalente en agua de nieve.

Código Figura 4	Nombre estación	Variable considerada
M1	Río Mapocho en Los Almendros	Pp, T
M2	Cerro Calán	Pp, T
M3	Terrazas Oficinas DGA	Pp
M4	Río Cachapoal 5km bajo Junta Cortaderal	Pp
M5	Río Pangal en Pangal	Pp
M6	Canal Sauzal en Puente Termas	Pp
M7	Río Palos en Junta Colorado	Pp
M8	Río Melado en El Salto	Pp
M9	Armerillo	Pp
M10	Río Maule en Armerillo	Pp
M11	Río Ancoa en el Morro	Pp
M12	Río Loncomilla en Las Brisas	Pp
M13	Talca U.C.	T
P1	Laguna Negra	EA máximo
P2	Lo Aguirre	EA máximo

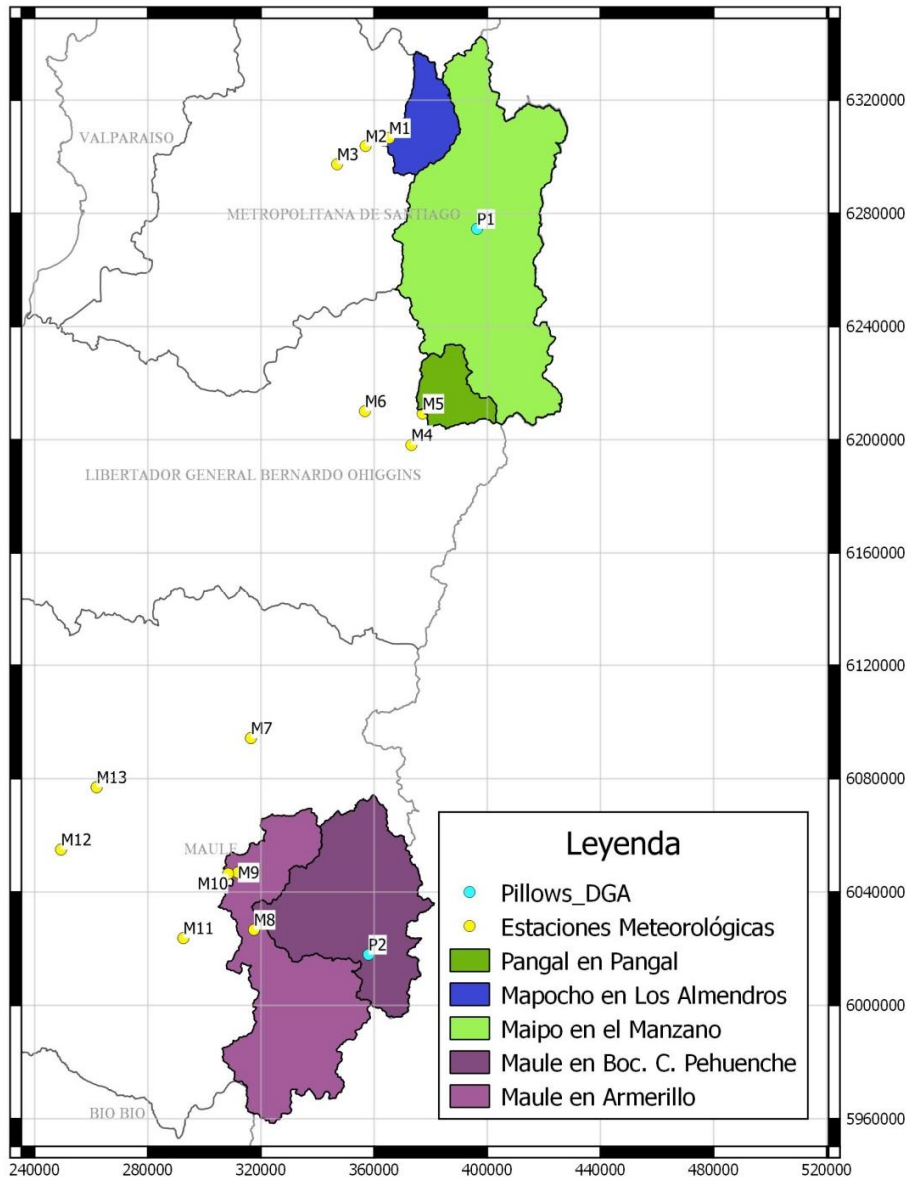


Figura 4. Ubicación de las cuencas de estudio y estaciones meteorológicas utilizadas para la generación del pronóstico.

3. METODOLOGÍA

Metodología para pronóstico volumétrico

Con todos los predictores, se establecieron regresiones múltiples para el volumen de deshielo esperado en las temporadas con esta información histórica (2001/02 a 2013/14), para todas las combinaciones posibles de tres a cinco predictores. Se adoptó un criterio de parsimonia, evaluado por el criterio *Akaike Information Content*, evitando el sobre-ajuste de los modelos; dichos modelos toman la forma de la Ecuación (1).

$$V_{desh} = \sum_{i=1}^{3 \leq n \leq 5} a_i X_i + a_0 + \varepsilon \quad (2)$$

Donde V_{desh} es el volumen de deshielo entre septiembre y marzo de cada temporada [hm^3]; a_i son los ponderadores para los predictores X_i , a_0 es una constante en la modelación característica para cada cuenca y cada modelo y ε es el error estándar asociado a dicha estimación. Las distintas combinaciones de predictores dan origen a más de 100 modelos de pronóstico para cada cuenca.

Para cada cuenca de estudio, dependiendo de la disponibilidad de la información se consideraron los predictores listados en la Tabla 2.

Tabla 2. Predictores considerados para pronosticar caudales.

Abreviatura	Nombre completo
P1	Caudales medios mensuales de entre junio y agosto
P2	Precipitaciones mensuales o acumuladas en el periodo febrero a agosto
P3	Cobertura de nieve fraccional en cada cuenca de estudio en función de imágenes satelitales a escala mensual en periodo enero a agosto.
P4	Temperatura media mensual en periodo abril a agosto.
P5	Equivalente en agua máximo en estación nivométrica existente (SWE _{max}).
Cn	Combinaciones lineales y no lineales entre los predictores anteriores.

Evaluación y selección de modelos de pronóstico

De todos los modelos generados en cada cuenca de estudio, considerando o no predictores que incluyan información de FSCA, se evalúan los indicadores de coeficiente de determinación, error cuadrático medio y *Akaike Information Content* (AIC), estableciendo ciertos umbrales a partir del cual, cualquiera de los modelos ajustados es igualmente adecuado (Principio de Equifinalidad). Una vez seleccionados estos modelos estadísticamente semejantes en eficiencia, se realizó una validación cruzada para la información histórica de aquellos modelos que mejor pronosticaron la temporada 2014/15.

Metodología de procesamiento de imágenes

Debido a que el pronóstico de caudales de deshielo que se desea testear incluye información de cobertura nival fraccional, y que estas imágenes están afectadas por la cobertura de nubes, se ha implementado un mejoramiento de la corrección de nubes para imágenes MODIS similar al propuesto por Lagos et al. (2013) que incluye un análisis por el proceso de lluvia además de la corrección espacial y temporal. El procedimiento de tratamiento de imágenes se resume en la Figura 5.

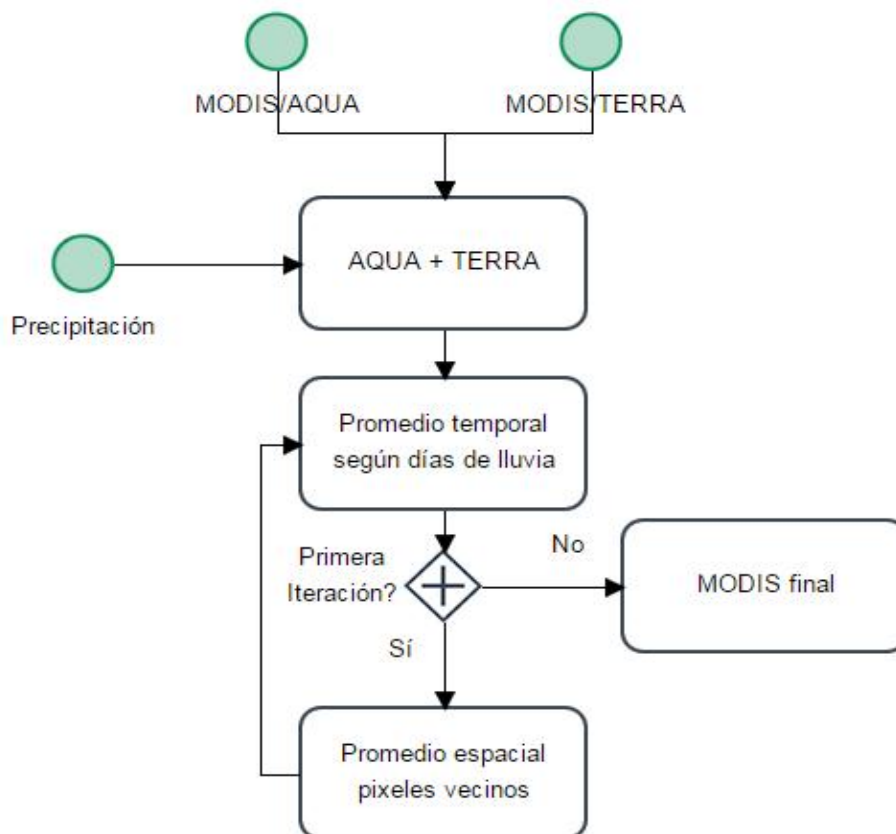


Figura 5. Procedimiento de corrección de nubes de los satélites AQUA y TERRA.

4. RESULTADOS

Pronóstico temporada 2014/15

La Figura 6 muestra los distintos pronósticos realizados para todas las cuencas analizadas en este estudio en la temporada 2014-2015, considerando o no la cobertura nival fraccional para el desarrollo del pronóstico. Los resultados se muestran en boxplot, donde la mediana de los pronósticos se representa como una línea roja, los volúmenes entre el 25% inferior y 75% superior en una caja, y los valores extremos se presentan en forma de líneas horizontales por fuera de los cuartiles antes mencionados.

En la Figura 6 se muestran además los pronósticos realizados por la Dirección General de Aguas (DGA) cuando corresponda, y el pronóstico promedio realizado para el CDEC-SIC en la cuenca del río Maule en Bocatoma Central Pehuenche (Régimen Natural).

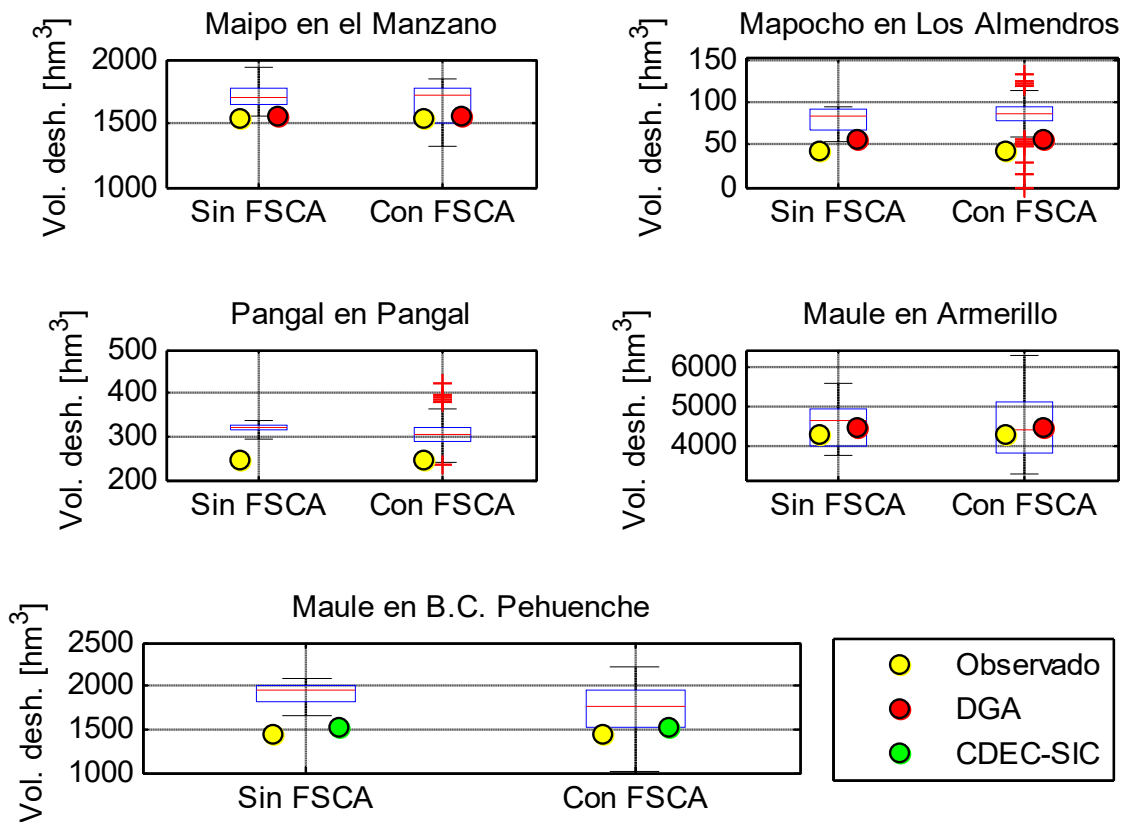


Figura 6. Pronósticos realizados en las cuencas estudiadas en la temporada de deshielo 2014/2015, considerando predictores que incluyen o no la cobertura nival. Se comparan los pronósticos realizados el 1° de septiembre con: observaciones, pronósticos de la DGA (20 Sep) y el CDEC-SIC (1 Sep.) para Maule en BC Pehuenche.

Validación cruzada del mejor modelo que pronosticó la temporada 2014/15

Las Figuras 7 y 8 muestran los errores obtenidos en la validación cruzada del modelo que para cada cuenca pronosticó con menor error el volumen de la temporada 2014/15 (Que consiste en pronosticar un año, utilizando la información de los restantes años de información). Se muestra en el panel izquierdo los errores de los pronósticos de modelos que no consideran la variable de la cobertura nival fraccional mientras que en el panel derecho se muestran los errores asociados al mejor modelo que si considera cobertura nival fraccional. Se muestra además en las Figuras, los errores relativos a los pronósticos de la DGA³ y los desarrollados para el CDEC-SIC cuando corresponde.

³ En el caso de la cuenca Pangal en Pangal, se muestra el error asociado al utilizar una técnica de transposición de área del pronóstico realizado en la cuenca Cachapoal en Puente Termas.

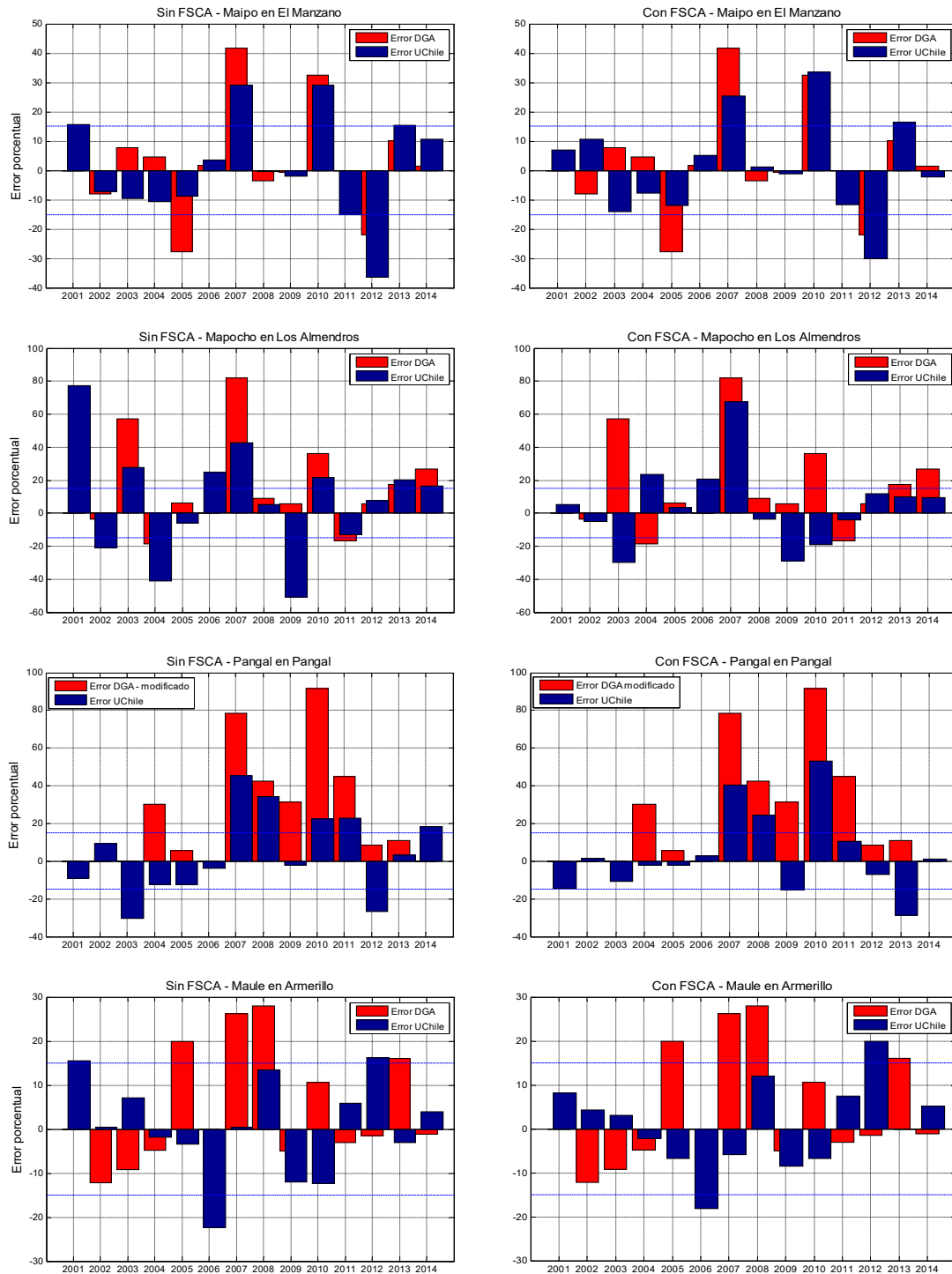


Figura 7. Errores de validación cruzada para modelos sin predictores FSCA (panel izquierdo), con predictores FSCA (panel derecho) en las cuencas (de panel superior a panel inferior) Maipo en el Manzano, Mapocho en los Almendros, Pangal en Pangal y Maule en Armerillo.

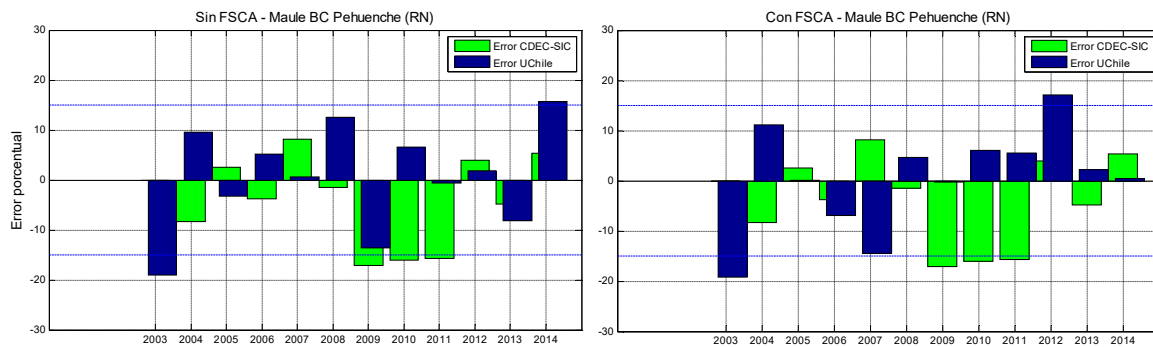


Figura 8. Errores de validación cruzada modelos sin predictores FSCA (panel izquierdo), con predictores FSCA (panel derecho) en la cuenca Maule en BC Pehuenche régimen natural (panel inferior) y Pangal en Pangal (panel inferior).

En la Figura 9 se comparan los pronósticos estacionales realizados en los primeros días de septiembre, con los pronósticos realizados por la DGA y para el CDEC-SIC en un histograma de errores. Se compara además el error que se obtendría al utilizar el método de transposición de áreas para interpolar el pronóstico de la cuenca Cachapoal en Puente Termas a la cuenca Pangal en Pangal.

Los resultados alcanzados pueden incluso mejorar el buen comportamiento desarrollado por la modelación de componentes principales desarrollado por DGA-UChile (2014), donde para una cantidad mayor de años se tenía un pronóstico estadísticamente similar al desarrollado anualmente por la DGA, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de promedio (Prom.) de error absoluto y su desviación (Desv.) en el periodo 2001/02-2014/15 para los mejores modelos validados sin FSCA y con FSCA junto con los asociados al pronóstico DGA y CDEC-SIC

Cuenca	Sin FSCA		Con FSCA		DGA		CDEC-SIC	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
Maipo en el Manzano	14%	11%	13%	10%	12%	13%	-	-
Mapocho en los Almendros	26%	20%	17%	17%	25%	23%	-	-
Pangal en Pangal ⁴	18%	13%	15%	16%	38%	30%	-	-
Maule en Armerillo	8%	7%	8%	6%	15%	16%	-	-
Maule en BC Pehuenche	9%	6%	5%	6%	-	-	10%	8%
Promedio	15%	11%	12%	11%	18%	17%	10%	6%

De la Tabla 3 se desprende además que los pronósticos generados con FSCA tienen un error absoluto de un 4% inferior a modelar sin esta variable, y con una desviación estándar del pronóstico un 6% inferior a los generados históricamente por la DGA. Un resultado levemente mejor se tiene al comparar el pronóstico realizado por el CDEC-SIC en la cuenca Maule en Bocatoma Central Pehuenche. Para el caso de Pangal en Pangal, se ve que

⁴ Pangal en Pangal se muestra como el error asociado al hacer transposición de área al pronóstico desarrollado en Cachapoal en Puente Termas.

los errores asociados al realizar transposición de caudales son mayores que 30% por lo que la metodología de transposición de áreas parece no aplicable en este caso.

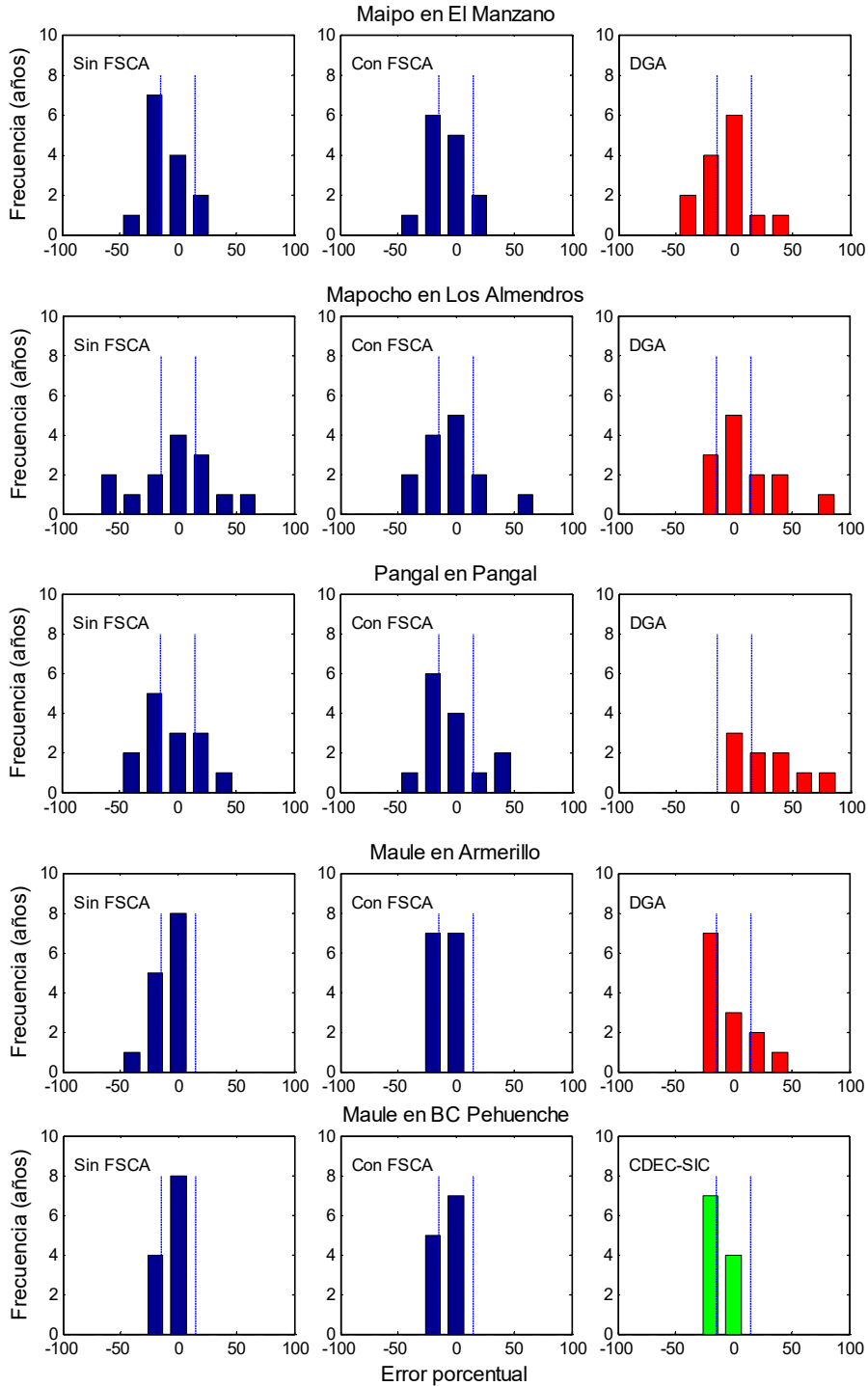


Figura 9. Histograma de errores de modelos validados, DGA y CDEC-CIC.

5. DISCUSIÓN

De los resultados expuestos, se observa que para la temporada 2014/15, en cuatro de las cinco cuencas analizadas la cobertura nival fraccional mejora el pronóstico estacional aunque tiende a incrementar la dispersión entre todos los modelos generados, producto del incremento de predictores. Sin embargo al seleccionar el modelo que tuvo menos error volumétrico y realizar una validación cruzada, se tiene que en todas las cuencas analizadas el predictor FSCA mejora los pronósticos para los años entre el 2001/02 y 2014/15. Esto puede atribuirse a la importancia física de la cobertura nival como predictor que permite distribuir en el espacio mediciones puntuales como precipitación o equivalente en agua de nieve máximo.

Como se presenta en la Figura 9, para las cuencas Mapocho, Maipo y Pangal, el error del pronóstico con FSCA disminuye, mientras que para Maule en Armerillo, el promedio se acerca más a 0% de error que una modelación sin FSCA, pero en desmedro de la frecuencia de eventos en el intervalo 15%. Solo para el caso de la cuenca de Maule en BC Pehuenche, la condición de predictor sin FSCA es mejor que el modelo que sí considera esta variable. De todos modos para todas las cuencas, los errores modelados tienden a ser tan buenos o mejores que los pronósticos realizados por DGA y para el CDEC-SIC en toda la ventana temporal analizada, aunque en la temporada recién pasada los modelos escogidos presentan un error mayor al realizado por estas instituciones, salvo del caso Maule en BC Pehuenche donde el modelo con FSCA tuvo un error de 1%.

El estudio de Shi et al. (2008) muestra que es posible minorar la incertidumbre asociada en el pronóstico estacional, utilizando una medida de la fracción de la varianza explicada por el modelo para pronosticar, resultando en errores casi tan buenos como los resultados de la calibración de un modelo hidrológico.

La actualización del pronóstico no se abordó en el presente estudio, sin embargo el enfoque de asimilación de datos se hace cada vez más necesaria (DeChant and Moradkhani, 2014) en desmedro de una re-distribución del volumen estacional pronosticado en función de las observaciones, como se ha estado realizando hasta ahora.

En la actualidad, los autores de este artículo están trabajando en un acoplamiento de pronósticos meteorológicos a meso-escala con un modelo físico distribuido para generar escenarios de escorrentía a escalas temporales menores, y que sea actualizable al menos semanalmente, generando escenarios de pronóstico que puedan incorporar fenómenos como olas de calor, precipitaciones primaverales, entre otros; escalando respecto al estudio de Conejo et al. (2014) donde se continúa con supuestos tradicionales de considerar climatología histórica como forzante para simulaciones futuras, llevando el proceso de pronósticos a una modelación más adecuada tanto de procesos físicos de la atmósfera como de la hidrología superficial y subterránea.

6. CONCLUSIONES

Contar con la cobertura nival fraccional como predictor incrementa significativamente el número de modelos que se pueden desarrollar para el pronóstico de volumen de deshielo

estacional, generando para cuatro de las cinco cuencas estudiadas, errores menores en la estimación del volumen de la temporada 2014/15.

Los pronósticos generados en uno de los modelos validados, igualan o mejoran el comportamiento alcanzando por pronósticos estacionales realizados en base a predictores estándar, desarrollados tanto por los autores de este artículo como por los desarrollados por instituciones públicas y privadas, con lo que se concluye que el FSCA puede disminuir significativamente el error en la predicción del volumen estacional, (promedio 4%) sin embargo es imposible saber desde enfoques estadísticos cuál será el error asociado a un pronóstico antes de que comience la temporada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento entregado por CONY-CIT a través del proyecto FONDEF CA13I-10277: "Pronóstico de caudales de deshielo utilizando técnicas de percepción remota y asimilación de datos hidro meteorológicos", que ha permitido el desarrollo de este estudio. Se agradece además la colaboración de la Dirección General de Aguas en las personas Brahim Nazarala y Javier Narbona y de ENDESA Chile por el interés prestado en el desarrollo del proyecto FONDEF CA13I-10277.

Se agradece además la colaboración del Ingeniero Claudio Baeza en el apoyo al desarrollo de la automatización de descarga y pre-procesamiento de las imágenes MODIS, a través del Centro Avanzado de Tecnología para la Minería (AMTC).

REFERENCIAS

- Ahumada, G. 1977. Modelo de pronóstico de caudales de deshielo en la cuenca del río Elqui. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, FCFM, Departamento de Obras Civiles, Santiago.
- Dewalle, D. R., & Rango, A. 2008. Principles of snow hydrology. Second edition. Cambridge University Press.
- Conejo, J.; Bettancourt, D. y G. Cobos. 2014. Implantación de un modelo hidrológico distribuido nival para la gestión de cuenca. Río Elqui Chile. XXVI Congreso latinoamericano de hidráulica. Santiago, Chile, Agosto 2014.
- DeChant, C.M., Moradkhani, H., Toward a Reliable Prediction of Seasonal Forecast Uncertainty: Addressing Model and Initial Condition Uncertainty with Ensemble Data Assimilation and Sequential Bayesian Combination, *Journal of Hydrology* (2014), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.045>
- Dirección General de Aguas – Universidad de Chile. 2014. Análisis de la red nival necesaria para cuantificar los recursos hídricos, etapa II. Realizado para la dirección general de aguas por la Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, División Recursos Hídricos y Medio Ambiente.
- Espildora B., Brown, E., Cabrera, G. y P. Isensee. 1975. Elementos de hidrología. Universidad de Chile, Centro de recursos Hídricos.
- Lagos, M.; Cornwell, E. y J. McPhee. 2013. Metodología para estimar la línea de nieves en tiempo real y su validación con imágenes MODIS. XXI Congreso chileno de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Concepción.
- Mendoza, P. A., B. Rajagopalan, M. P. Clark, G. Cortés, and J. McPhee. 2014. A robust multimodel framework for ensemble seasonal hydroclimatic forecasts, *Water Resour. Res.*, 50, 6030–6052, doi:10.1002/2014WR015426.
- Piechota, T. C., Chiew, F. H., Dracup, J. A., & McMahon, T. A. 1998. Seasonal streamflow forecasting in eastern Australia and the El Niño–Southern Oscillation. *Water Resources Research*, 34(11), 3035–3044.
- Tripodi, D. y B. Fernández. 2000. Cobertura nival y ENOS en el pronóstico de caudales en cuencas de montaña. *Revista Ingeniería del agua* Vol. 7, Nº 2. pp.117-127.
- Shi, Xiaogang; Andrew W. Wood, and Dennis P. Lettenmaier. 2008: How essential is hydrologic model calibration to seasonal streamflow forecasting?. *J. Hydrometeorol*, 9, 1350–1363. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1001.1>