

INFORME TÉCNICO

Marque con una X

Avance N°	
Final	X

PROYECTO

Metodología de pronóstico de caudales de deshielo basada en la observación y modelamiento de la cubierta nival para cuencas hidrográficas de la Región del Maule.

ENTIDAD EJECUTORA

Universidad de Chile

Fecha: 21/01/2021

Código IDI:	30.481.958-0
Nombre de la iniciativa:	Metodología de pronóstico de caudales de deshielo basada en la observación y modelamiento de la cubierta nival para cuencas hidrográficas de la Región del Maule.
Entidad responsable:	Universidad de Chile
Director del Proyecto:	James McPhee
Firma Director Proyecto:	
Montos Asignados (M\$):	\$92.116.800
Montos ejecutados (M\$):	\$90.326.450
Fecha del informe:	21/01/2021
Porcentaje de avance:	100%

1. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto inicio su ejecución en septiembre de 2017, año en el cual se realizó un seminario de lanzamiento (Ver Anexo 10.1.1) y un terreno de reconocimiento terrestre en la zona cordillerana de la región del Maule (Ver Anexo 10.6.1). Posteriormente, el año 2018 se realizó un terreno de reconocimiento aéreo para la posterior instalación de las primeras 7 estaciones meteorológicas, las cuales quedaron operativas para la medición de profundidad de nieve, temperatura y humedad (Ver Anexo 10.1.2 y Anexo 10.1.3).

Durante agosto del año 2018 se generó una primera estimación estacional de caudales de deshielo, según probabilidad de excedencia, para las cuencas de: Maule en Armerillo (Reconstruido), Longaví en Castillo (Reconstruido con Achibueno) y Achibueno en la Recova (Ver Anexo 10.4.1). Con dichos datos se proyectó un año seco, con alrededor de 90% de excedencia, lo cual se comunicó en el Seminario de “Perspectivas hídricas preliminares”, donde participaron 35 representantes de las juntas de vigilancia, organismos públicos y privados de la región (Ver Anexo 10.6.2). Posteriormente, en diciembre 2018, se realizó una actualización del pronóstico presentado en agosto, el cual no estaba siendo certero por cambios en las condiciones meteorológicas observadas en torno a la zona de estudio, las cuales fueron más favorables que los dos años anteriores. Lo anterior se explica por los eventos de precipitación registrados desde mediados de septiembre, que explican cerca del 30% de la lluvia acumulada en el 2018. Con esta información se generó una minuta de resumen la cual fue difundida a los usuarios de aguas (Ver Anexo 10.4.2).

A posteriori, se realizó una evaluación de los pronósticos emitidos en agosto y diciembre de 2018. Tanto en Maule en Armerillo como en Longaví se pronosticó una temporada más seca que el promedio, lo que se cumple considerando los volúmenes observados, sin embargo, se tienen errores del orden del 20% para ambas cuencas generando una subestimación del volumen. Achibueno en la Recova y Longaví en el Castillo son cuencas que poseen una componente pluvial relevante, por lo tanto el caudal de dichas cuencas

no puede ser pronosticado completamente con la información de la acumulación de nieve (Ver Anexo 10.4.3).

El equipo también participó en la 2° Feria de Innovación y Emprendimiento del Maule (FINEM) donde se montó una estación meteorológica de exposición y se expusieron videos con información de la acumulación media de nieve y el equivalente en agua de nieve (SWE, por sus siglas en inglés) en distintos periodos (Ver Anexo 10.6.3).

El año 2019 comenzó con un nuevo terreno de mantención e instalación de estaciones meteorológicas, completando las 12 comprometidas en el proyecto (Ver Anexo 10.1.4). A su vez, se complementó la información hídrica de la zona con imágenes satelitales. Para esto se realizó el cálculo del Porcentaje de área cubierta por nieve (fSCA, por sus siglas en inglés) para las cuencas Achibueno en la Recova, Maule en Armerillo y Longaví en el Castillo (Ver Anexo 10.2). Además, se desarrolló una modelación numérica utilizando VIC, que corresponde a un modelo hidrológico de macroescala que resuelve los balances de agua y energía. Este modelo fue calibrado para 3 cuencas: Longaví en el Castillo, Achibueno en la Recova y Maule en Armerillo (Ver Anexo 10.3). En mayo de 2019 se llevó a cabo una reunión informativa en la Asociación Canal del Melado en Linares respecto al estado de avance del proyecto (Ver Anexo 10.6.4).

La segunda mitad del año 2019 se emitió un pronóstico de volumen estacional 2019/2020 y caudales medios mensuales de las cuencas Achibueno en la Recova, Ancoa en el Morro, Longaví en Castillo, Maule en Armerillo y Melado en el Salto, el cual fue comunicado mediante un seminario de difusión a principios de septiembre (Ver Anexo 10.6.5) y un boletín informativo (Ver Anexo 10.6.6). La estimación de los volúmenes se realizó con un método estadístico de regresión por mínimos cuadrados parciales basado en los caudales mensuales medidos, el área cubierta de nieve de imágenes satelitales, el equivalente de agua nieves de la estación Lo Aguirre y las precipitaciones de estaciones DGA considerando el periodo desde el 1 de abril del 2001 al 31 de octubre del 2019. Mientras que el pronóstico de los caudales medios mensuales se realizó considerando los años vecinos más cercanos (kNN) relacionados a las condiciones meteorológicas e hidrológicas observadas en años anteriores. De acuerdo a los resultados obtenidos, se pronosticó que las condiciones de noviembre a marzo corresponderían a un año de probabilidad de excedencia entre un 85 % y un 92 % para las cuencas en estudio (Ver Anexo 10.4.4).

En octubre de 2019 se realizó un terreno de mantención de estaciones meteorológicas, donde se visitaron seis estaciones que presentaban anomalías en la medición. A cinco de estas, se le realizaron extensiones de brazo, otra sufrió una falla estructural por lo que se hizo un re-anclaje y también una estación fue cambiada de ubicación (Ver Anexo 10.1.4).

A principios de noviembre 2019 se actualizó el pronóstico de caudales de deshielo, el cual fue comunicado a los regantes mediante una minuta (Ver Anexo 10.4.5). Esta actualización incorporó un enfoque de predicción mediante conjuntos o "Ensemble Forecast", cuyo objetivo es la cuantificación de la incertidumbre asociada al pronóstico. El pronóstico de noviembre proyectó que los volúmenes de deshielo de la temporada serían

entre los más secos del periodo 2001 al 2018, lo cual se asocia principalmente a la escasez de precipitación acumulada en los meses de julio a septiembre 2019.

En abril de 2020 se realizó la evaluación de los pronósticos anteriormente emitidos, que fue comunicada mediante una minuta técnica (Ver Anexo 10.4.6) y un segundo boletín informativo (Ver Anexo 10.6.6). En dicha evaluación se observó que se preveían mayores caudales que los observados para el periodo septiembre-marzo. El caudal observado rondó los mínimos caudales pronosticados en la banda de incertidumbre y presentó una variación estacional similar al año 2016/17 para todas las cuencas. Similarmente, el pronóstico de la DGA y el pronóstico FIC proyectaban un aumento significativo de los caudales hacia el trimestre sep-oct-nov, lo que suele suceder en un año promedio en las cuencas nivo-pluviales, especialmente para la cuenca del río Maule y Melado, lo no ocurrió debido a una baja tasa de precipitación en los meses de septiembre y octubre, además de una acumulación históricamente baja de nieve en la zona. Sin embargo, la actualización del pronóstico para el periodo noviembre-marzo muestra una mayor congruencia con las mediciones.

Desde el 2020 se ha avanzado en la inclusión de más años en el periodo de entrenamiento de los volúmenes estacionales, pasando desde el periodo 2001-2019 al periodo 1988-2019 (Ver Anexo 10.4.7). Esto se ha logrado a partir de la utilización de productos meteorológicos de re-análisis grillados utilizados para estimar la precipitación acumulada diariamente y la temperatura media en todas las cuencas. Esto ha permitido la independencia de las mediciones en estaciones meteorológicas, generalmente ubicadas en las zonas más bajas de las cuencas de estudio. Por lo otro lado, se ha aumentado la frecuencia de emisión de los pronósticos para presentarlos mensualmente a los usuarios, de ese modo, los cambios en las condiciones meteorológicas alteran el pronóstico anterior mes a mes, junto con una reducción de la incertidumbre.

Una de las principales limitaciones para el desarrollo de los modelos de pronóstico consistió en la disponibilidad de datos de caudales en la plataforma de la Dirección General de Aguas (DGA), los cuales en el caso de Longaví en el Castillo dependen de una descarga manual por lo que son actualizados aproximadamente entre dos a cuatro meses. Este desfase en la información disponible, condujo a la adquisición de una estación fluviométrica la cual fue instalada en el río Longaví. Esta estación transmite información diariamente de manera satelital (Ver Anexo 10.1.5).

A su vez, se realizaron actividades de difusión con los regantes y administradores de las Juntas de Vigilancia, cuyo objetivo fue rescatar necesidades de información y presentar la plataforma web. Se realizó un taller participativo, que comenzó por recoger las necesidades de información de los regantes, para analizar si éstas se estaban cumpliendo con los resultados del proyecto, luego se mostró la plataforma web y se enseñó su modo de uso (Ver Anexo 10.6.7).

En junio del año 2020, se realizó un seminario online debido a la situación sanitaria, donde se comunicó el estado de las estaciones meteorológicas y las profundidades de nieve registradas durante los años 2018, 2019 y 2020, así como la evaluación de

pronóstico 2019-20 y cierre del proyecto FIC Maule (Ver Anexo 10.6.8), así como un segundo boletín de resumen de resultados (Ver Anexo 10.6.9). Finalmente, los días 2, 3 y 4 de diciembre 2020 se participó nuevamente de una Feria de Innovación y Emprendimiento del Maule (FINEM), la cual se desarrolló de manera virtual (Ver Anexo 10.6.10).

2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

Se busca responder a las siguientes líneas de acción:

1. Instrumentación de cuencas con estaciones meteorológicas de bajo costo y que estén disponibles en la nube, con mediciones de profundidad de nieve, temperatura y humedad relativa.
2. Modelación de la profundidad del manto nival, que incorpore las mediciones realizadas por instrumentación existente y nueva, así como mediciones satelitales de cobertura de nieve y meteorología.
3. Modelación hidrológica de las cuencas hidrográficas donde las juntas de vigilancia requieran pronóstico.
4. Generar pronósticos de volúmenes estacionales en base a condiciones invernales observadas en la cuenca, y pronósticos semanales basados en pronósticos meteorológicos de corto rango para cada sistema hidrológico.
5. Integrar resultados en una plataforma Web donde las instituciones beneficiadas puedan visualizar tanto las mediciones en terreno, como los productos desarrollados en el proyecto.

3. PRODUCTOS

Producto Ofrecido (según proyecto aprobado)	Productos Obtenidos	Justificación de diferencias (si las hay)	Fecha de obtención
Equipos de medición de variables hidrometeorológicas	Instalación y mantenimiento de equipos de medición de variables hidrometeorológicas		Octubre 2019
Modelamiento del manto nival	Análisis de mediciones de nieve e incorporación de imágenes satelitales de cobertura de nieve		Agosto 2019
Modelamiento hidrológico de las cuencas en estudio	Modelo hidrológico VIC		Agosto 2019
Plataforma de pronósticos	Plataforma operativa y difundida		Noviembre 2019

Describe cada uno de los productos obtenidos con la ejecución del proyecto, incluyendo si corresponde los productos obtenidos y no programados inicialmente.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Resultado esperando (según proyecto aprobado)	Resultado Obtenido	Justificación de diferencias (si las hay)	Fecha de obtención
Mejoramiento de la información disponible	Se cuenta con pronósticos de caudales de deshielo para cinco cuencas de la región, mejorando la situación anterior donde debían recurrir adaptaciones para tener mediciones indirectas.		Noviembre 2019
Mejora de la capacidad de gestión de las juntas de vigilancia	Presencia de pronósticos en zonas que antes no contaban con tal herramienta.		Septiembre 2019
Mayor capacidad de programación de los usuarios del agua	Pronósticos más precisos les permitirán a los usuarios de los recursos hídricos programar de mejor forma sus recursos.		Septiembre 2019
Aumento de la competitividad del sector agrícola de la región	Al tenerse pronósticos de caudales en cuencas donde antes no contaban con ellos, va a ser posible programar de mejor forma las actividades agrícolas, de forma tal que se minimicen las pérdidas por falta de recursos o por desaprovechamiento de recursos hídricos.		Noviembre 2019
Mayor información sobre el sistema cordillerano en la región del Maule	Mejora en información sobre manto nival, mediante imágenes satelitales y mediciones directas.		Septiembre 2019

Describe cada uno de los resultados obtenidos con la ejecución del proyecto, incluyendo si corresponde los resultados obtenidos y no programados inicialmente.

5. INNOVACIONES O IMPACTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS LOGRADOS

Innovación o impacto contemplado (según proyecto aprobado)	Innovación o impacto obtenido	Justificación de diferencias (si las hay)	Fecha de obtención

Describe cada uno de los resultados obtenidos con la ejecución del proyecto, incluyendo si corresponde los resultados obtenidos y no programados inicialmente.

6. EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES

N°	Actividad	Estado (no iniciada/proceso/ Concluida)	Justificación de Diferencias	Fecha de ejecución
1	Lanzamiento del proyecto	Lanzamiento del proyecto	No hubo diferencias a lo planificado	06/12/2017
2	Terreno de reconocimiento terrestre	Terreno de reconocimiento por tierra	Dadas las condiciones meteorológicas no se pudo desarrollar el terreno de reconocimiento aéreo, pero sí se recorrió por tierra gran parte de la cuenca del Río Longaví	06/12/2017
3	Terreno de reconocimiento aéreo	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	26/01/2018
4	Terreno de instalación de estaciones	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	25/04/2018



	meteorológicas			
5	Asistencia a jornada de capacitación GORE	Concluida	No estaba planificado	Agosto 2018
6	Seminario de perspectivas hídricas preliminares	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	Agosto 2018
7	Asistencia a FINEM	Concluida	No estaba planificado	Octubre 2018
8	Seminario de avances y metas	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	Noviembre 2018
9	Terreno aéreo de instalación de estaciones meteorológicas	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	07/02/2019
10	Terreno terrestre de instalación de estaciones meteorológicas	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	15/04/2019
11	Reunión OUA	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	14/05/2019
12	Seminario Comunicación Pronóstico 2019	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	06/09/2019
13	Terreno de mantención de estaciones meteorológicas	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	04/10/2019
14	Taller regantes OUA	Concluida	No hubo diferencias a lo planificado	01/11/2019
15	Seminario online Evaluación de pronósticos de caudales de deshielo y cierre del proyecto	Concluida	Dada la situación sanitaria, el seminario debió realizarse de manera online en vez de presencial.	25/06/2020

Describa cada uno de las actividades realizadas. Además, para cada una de las actividades ejecutadas, debe respaldarse en anexos documentos u otros medios de verificación de su ejecución,

7. CARTA GANTT

Incluya la carta gantt original del proyecto, con una comparativa donde se establezca la fecha de ejecución efectiva.

CARTA GANTT	PROGRAMADA	OBTENCIÓN	% AVANCE
INSTALACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS	jun-18	abr-19	100%
ACTIVIDADES DE MODELAMIENTO			
Preparación información para el modelo	jun-18	Jul-19	100%
Modelación del manto nival a priori	dic-18	Ago-19	100%
Procesamiento de imágenes Satelitales	dic-18	Jul-19	100%
Asimilación de datos y modelación a posteriori	dic-18	Nov-19	100%
Modelación hidrológica	dic-19	Jul-19	100%
Generación de pronósticos	dic-19	Sep-19	100%
ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN			
Lanzamiento proyecto	nov-17	nov-17	100%
Seminarios temáticos	dic-19	Jun-20	100%
Desarrollo plataforma WEB	dic-18	Nov-19	100%
Boletines	dic-19	May-20	100%
Seminario regional	dic-19	Jun-20	100%
ACTIVIDADES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO			
Elaboración informe ejecutivo mensual	dic-19	dic-20	100%
Elaboración informe de seguimiento técnico semestral	dic-19	dic-20	100%

8. BENEFICIARIOS

Indique beneficiarios directos e indirectos del proyecto, indicando nombre, rut, dirección, teléfono y mail de ellos para su posterior seguimiento.

Nombre	RUT	Dirección	Teléfono	Correo
Lisandro Farías	12.857.921-4	Calle 18 N° 580, Parral	+56966876910	lifarias@gmail.com
Junta de	70.474.300	Calle 18	+5673246267	secretaria@juntariolongavi.cl



Vigilancia Río Longaví	-9	N° 580, Parral	6	
Carlos Fernando Diez Jugovic	9.888.732-6	O'Higgins N° 875, Linares	+56996393074	cdiezjugovic@hotmail.com
Asociación Canal del Melado	70.268.200-2	O'Higgins N° 875, Linares	+56732633430	secretariadirectorio@canalmelado.cl
Junta de Vigilancia del Río Maule	71.624.900-K	9 ½ Norte, 32 ½ Oriente N° 3535, Talca	+56712224522	info@jvriomaule.cl
José Manuel Silva Hurtado	9.359.360-K	9 ½ Norte, 32 ½ Oriente N° 3535, Talca	+56993243181	jmsilvah@sclm.cl

9. RESUMEN DE GASTOS A LA FECHA

ITEM	GASTOS APROBADOS	GASTOS EJECUTADOS	SALDOS
Recursos Humanos	\$27.584.800	\$27.584.800	\$0
Subcontratos	-	-	-
Gastos de Operación	\$29.432.000	\$28.390.903	\$1.041.097
Gastos de Difusión	\$10.600.000	\$9.850.747	\$749.253
Gastos de Inversión	\$20.000.000	\$20.000.000	\$0
Giras tecnológicas	-	-	-
Gastos de administración	\$4.500.000	\$4.500.000	\$0
TOTAL	\$92.116.800	\$90.326.450	\$1.790.350

10. ANEXOS

Se deben respaldar cada uno de los ítems descritos anteriormente, con documentación, registro gráfico u otro que permita verificar su veracidad y/o ejecución.

10.1. Instrumentación en cuencas con estaciones meteorológicas

10.1.1. Reconocimiento terrestre 2017

El día 6 de diciembre de 2017 se realizó un terreo de reconocimiento terrestre, donde se recorrió la cuenca del río Longaví en compañía del administrador de la junta. En la Figura 1 se puede observar la inspección del río y suelo de la zona.



Figura 1. Fotos de la inspección inicial

10.1.2. Reconocimiento aéreo 2018

El día 26 de enero de 2018 se realizó un terreno de reconocimiento aéreo de las cuencas del río Maule, Longaví, Melado, Achibueno y Ancoa, identificando potenciales lugares de instalación de las estaciones meteorológicas. Como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Fotos del reconocimiento aéreo

10.1.3. Instalación estaciones 2018

Como primer hito, se realizó una caracterización de la zona de estudio y un análisis de persistencia de nieve, que sirvió para identificar potenciales sitios de instalación de estaciones meteorológicas. En un principio, el área de trabajo abarcó únicamente la cuenca del río Longaví, sin embargo, tras la incorporación de otras cuatro Organizaciones

de Usuarios de Agua (OUA) (Melado, Maule, Achibueno y Ancoa) el área aumentó considerablemente, como se muestra en la Figura 3 y Tabla 1.

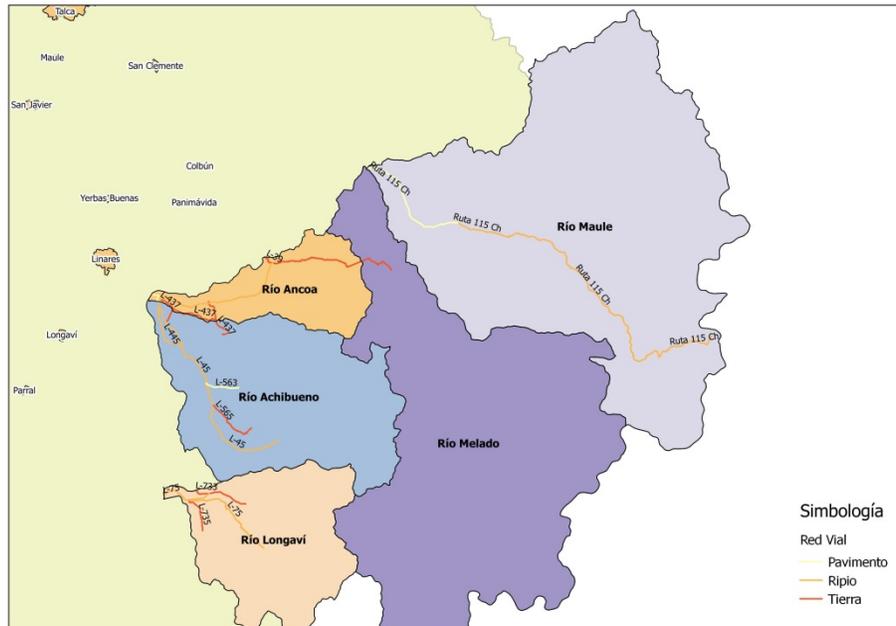


Figura 3. Área de trabajo

Tabla 1: Cuencas y superficies beneficiadas con el proyecto en ejecución

Cuenca OUA	Área [km ²]
Río Melado	2.297,88
Río Achibueno	2.023,73
Río Ancoa	376,96
Río Maule	2.710,76
Río Longaví	676,01
Total	8.085,34

Con esta información como base, se evaluó posibles sitios de instalación de las estaciones meteorológicas, los que fueron ajustados en un vuelo de reconocimiento aéreo realizado en enero del año 2018. Producto de este primer vuelo se optó por instalar estaciones en siete sectores: Longaví Alpino, Longaví Bosque, Divisoria Achibueno, Laguna Ancoa, Laguna Quiriquina, Terraza Laguna Dial y Casa Melado, las que fueron instaladas en abril del año 2018.

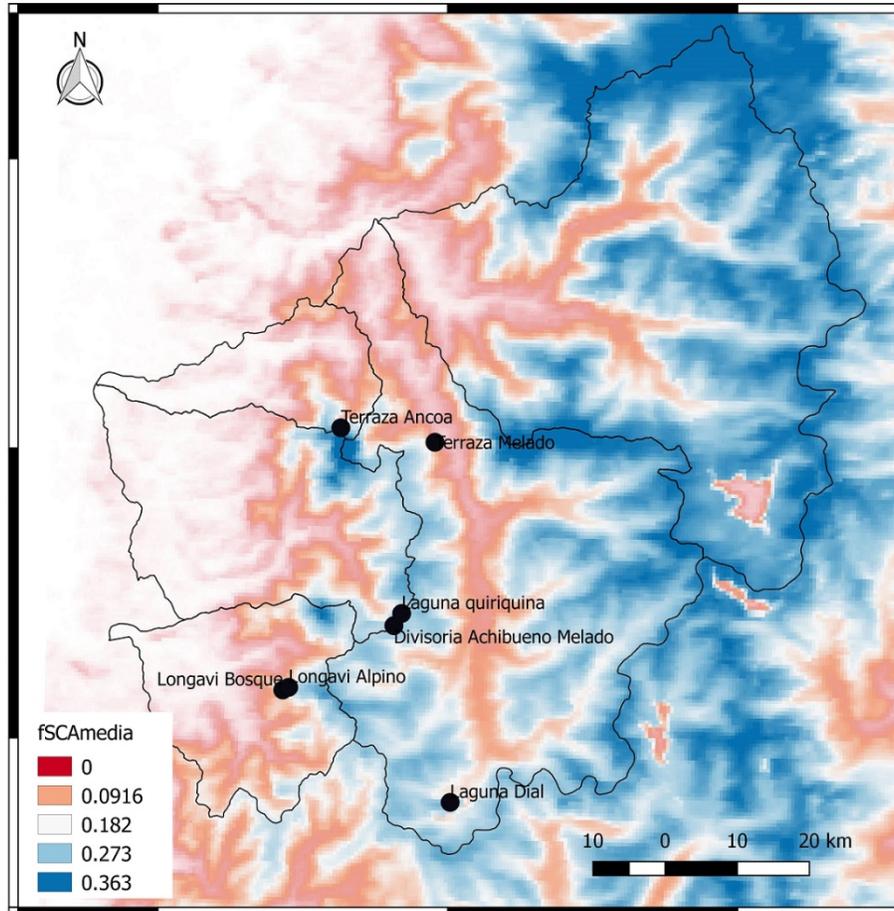


Figura 4. Sitios de instalación de estaciones

La Figura 4 muestra la ubicación de las estaciones instaladas, observándose como capa de fondo el Fractional Snow Covered Area (fSCA), que corresponde a la fracción de la superficie cubierta por nieve en relación a la superficie total de la cuenca, donde se puede ver en colores azules las zonas con mayor persistencia de nieve. La instalación de las estaciones priorizó encontrarse en dichas zonas, pero que además consideró la importancia contar con buena accesibilidad y cercanía en la ruta de vuelo para su mantenimiento.

Las estaciones mencionadas, miden las siguientes variables

- Medición de profundidad de nieve
- Transmisión satelital.
- Toma de datos
- Temperatura y Humedad: 30 minutos
- Profundidad de Nieve: 1 hora.
- Transmisión de datos entre 3 y 6 horas

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la longitud, latitud y elevación en que se encuentran instaladas.

Tabla 2. Ubicación de estaciones

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
1	Longavi Bosque	71° 13' 21" W	36° 17' 52" S	1576
2	Longavi Alpino	71° 12' 50" W	36° 17' 34" S	1802
3	Laguna Dial	70° 57' 48" W	36° 26' 17" S	2199
4	Divisoria Achibueno-Melado	71° 3' 2" W	36° 13' 3"S	1968
5	Laguna Quiriquina	71° 2' 16" W	36° 12' 9" S	2103
6	Casa/Terraza Melado	70° 59' 12" W	35° 59' 16" S	1653
7	Terraza Ancoa	71° 7' 56" W	35° 58' 12" S	2322

Estos sitios se encuentran distantes entre sí por hasta 55.57 km a lo largo de la divisoria de aguas, pero que dependiendo de la ruta de senderos adoptada, podría alcanzar más de 400 km de ruta recorrida (Ver Figura 5). Esta ruta cuenta con elevaciones entre 1313 [msnm] y 2883 [msnm], situación que nos obligó a programar la instalación de estaciones mediante vuelo de helicóptero.

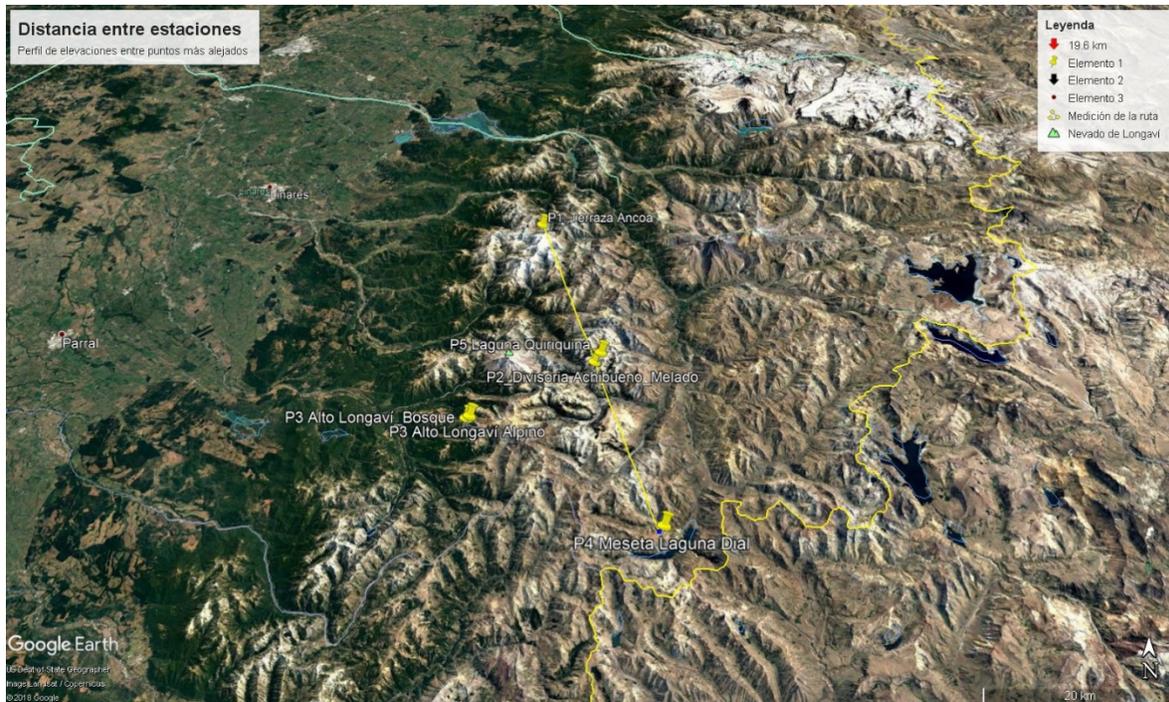




Figura 5. Perfil de elevaciones y medición de ruta entre nodos instalados más distantes

Si bien, algunas de estas estaciones dejaron de transmitir datos por diversas razones que deberán revisarse en terreno (caída producto de animales, caída por peso de la nieve, falla en sensor de temperatura, etc), su instalación ha permitido contar con datos desde abril 2018. Estos datos se han usado como insumos para caracterizar la cuenca, avanzar en la modelación hidrológica y generar pronósticos mediante trabajo de gabinete.

En la Figura 6 se presenta un gráfico con la altura de nieve registrada en las estaciones durante todo el año 2018, comparándose mediante coeficientes de correlación con la profundidad de nieve medida en la estación DGA Lo Aguirre. A su vez, la Figura 7 muestra la precipitación acumulada en 3 estaciones para ese mismo año.

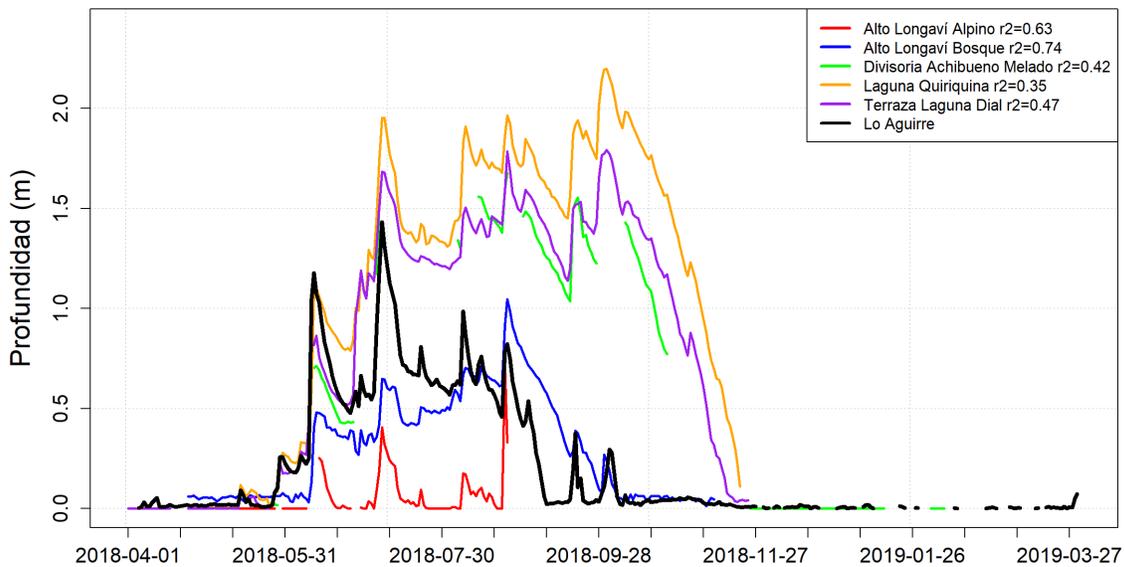


Figura 6. Temporada 2018 observada en red nueva

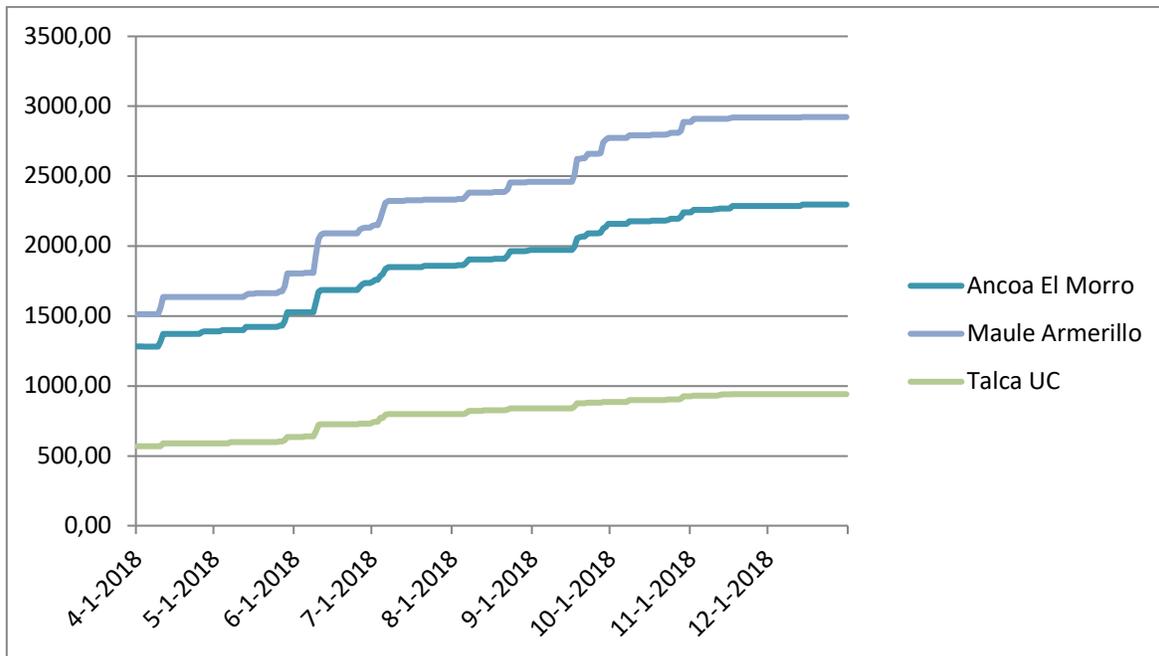


Figura 7. Precipitación acumulada año 2018

10.1.4. Instalación estaciones 2019

En abril del año 2019 se completó la instalación de las 12 estaciones meteorológicas comprometidas en el proyecto, cuya ubicación se muestra en la Figura 8 y Tabla 3. Estas estaciones poseen sensores que registran: temperatura y humedad relativa del aire, y distancia a la superficie del terreno. La diferencia entre el valor de la distancia instrumental con suelo desnudo y el valor con cubierta de nieve permite estimar la profundidad del manto de nieve en cualquier instante del tiempo.

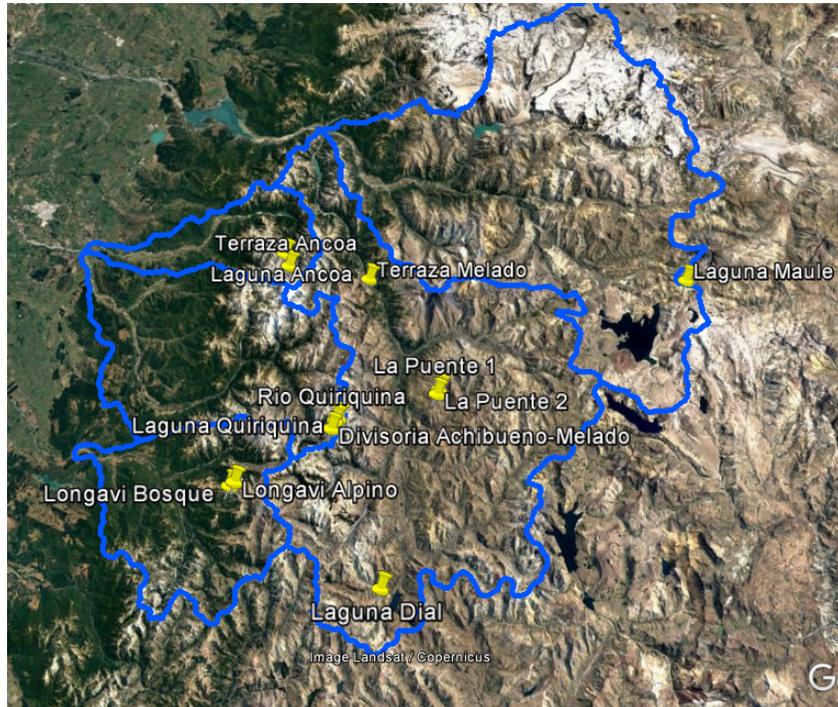


Figura 8. Sitio de instalación 12 estaciones meteorológicas

Tabla 3. Ubicación de estaciones

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
1	Longavi Bosque	71° 13' 21" W	36° 17' 52" S	1576
2	Longavi Alpino	71° 12' 50" W	36° 17' 34" S	1802
3	Laguna Dial	70° 57' 48" W	36° 26' 17" S	2199
4	Divisoria Achibueno-Melado	71° 3' 2" W	36° 13' 3"S	1968
5	Laguna Quiriquina	71° 2' 16" W	36° 12' 9" S	2103
6	Rio Quiriquina	71° 2' 36" W	36° 12' 21" S	1941
7	Terraza Melado	70° 59' 12" W	35° 59' 16" S	1653
8	La Puente 1	70° 51' 44" W	36° 9' 39" S	2092
9	La Puente 2	70° 51' 59" W	36° 10' 3" S	2034
10	Terraza Ancoa	71° 7' 56" W	35° 58' 12" S	2322
11	Laguna Ancoa	71° 8' 28" W	35° 56' 58" S	1970
12	Laguna Maule	70° 24' 54" W	36° 0' 25" S	2495

En octubre del año 2019 se realizó una mantención a dichas estaciones, cuyas labores incluyeron alargue de brazo portador del sensor para evitar que influya la presencia de rocas y re-anclaje de una estación. La Figura 9 muestra 2 fotos de la misma estación en distintas temporadas del año.



Figura 9. Estación antes y después de temporada de nieve

Información de las variables medidas

Las estaciones instaladas presentan sensores que registran distancia, temperatura y humedad. En la Tabla 4 se muestran los sensores utilizados. En particular, para registrar la distancia se utiliza un sensor sónico, el cual emite un sonido de alta frecuencia para detectar y luego recibir la señal reflejada y así localizar objetos en un entorno. El sensor mide el tiempo desde que se transmite el sonido y es reflejado por el objeto, en este caso la superficie del suelo o nieve.

Tabla 4. Sensores instalados

Variable	Sensor	Rango	Precisión
Distancia	MB7574	0.5 m a 5 m *de 0 a 0.5 m no son 100% confiables	1 mm
Temperatura del aire	SHT21	- 40°C a 125°C	0.3°C
Humedad relativa	SHT21	0 a 100%	2%

La información registrada por los sensores se encuentra almacenada en la plataforma del proyecto, provista por Latina UC, de donde cada semana se descarga la información de las estaciones para ser procesada en Python y obtener valores cada 3 horas de las siguientes variables:

- a. Temperatura del aire
- b. Humedad relativa
- c. Distancia no corregida (NC): esta distancia corresponde a la distancia que se mide desde el sensor al suelo (es lo que entrega el sensor) y es proporcional al tiempo de

propagación de la onda de eco ultrasónica. Por lo que esta distancia depende de la altura a la que fue instalada la estación la que puede variar entre 2 y 4 metros.

- d. Distancia corregida (D): la distancia NC debe ser corregida por la temperatura debido a que el sensor es tipo sónico y la velocidad del sonido depende de la temperatura ambiente. Por lo que esta distancia se obtiene a partir de la temperatura en grados Celsius (T) y la distancia no corregida (D_{nc}), mediante la ecuación 1.

$$D = D_{nc} \cdot \sqrt{\frac{T + 273.15}{298.15}} \quad (1)$$

- e. Profundidad: esta variable se obtiene al restar a la altura de instalación la distancia corregida, obteniendo la altura del manto de nieve

En la Figura 10 se presenta, como ejemplo, la estación “Alto Longaví Bosque”, con las variables obtenidas sin un procesamiento previo.

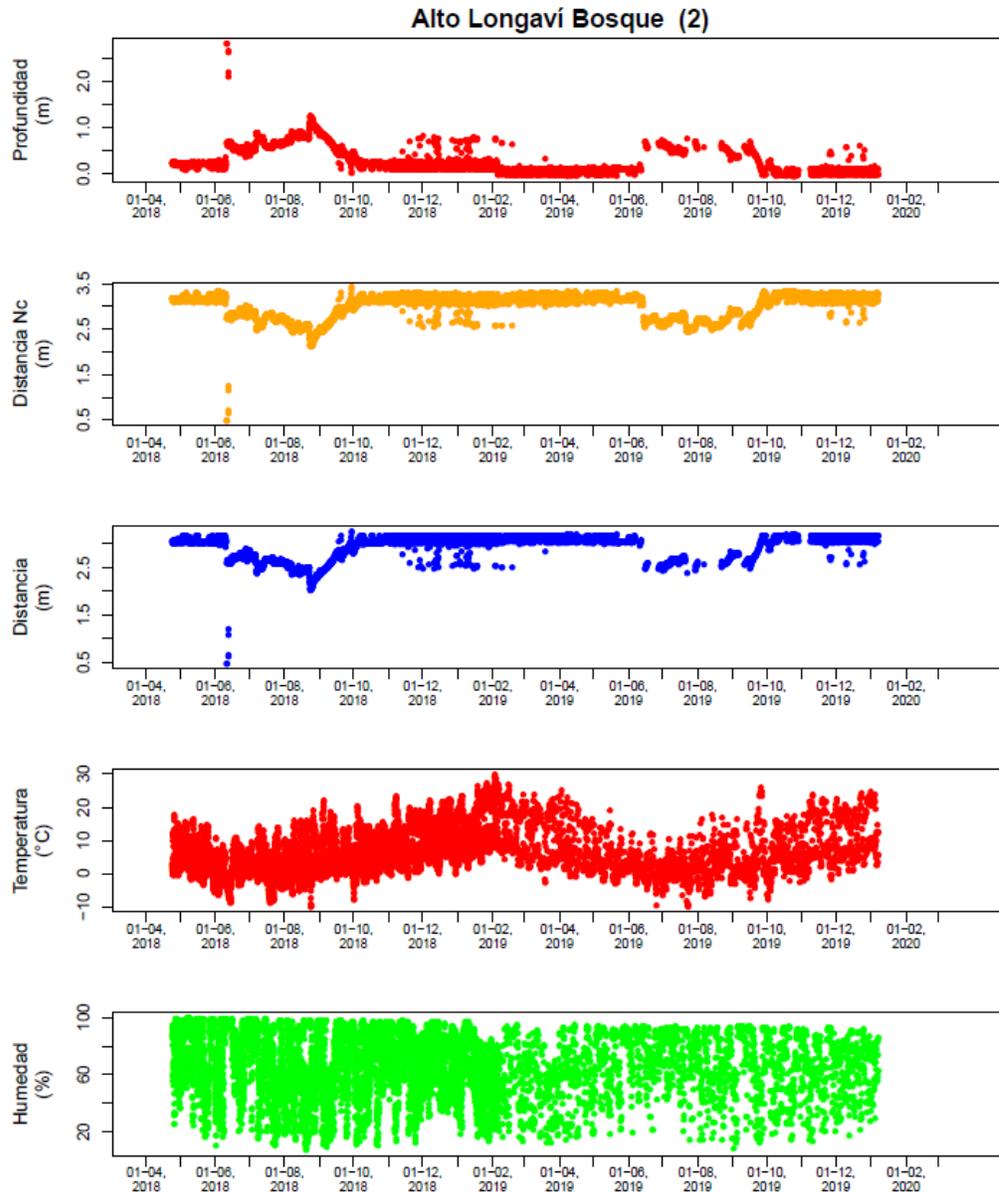


Figura 10. Estación Alto Longaví Bosque

Procesamiento de la información

A partir de la información registrada se obtuvieron promedios diarios para la temperatura y la distancia no corregida. Dado que solo algunas estaciones registraron temperatura, se realizaron correlaciones lineales para estimar la temperatura en las estaciones que no contaban con información, mediante un relleno de datos. A partir de esto se pudo obtener la distancia corregida para todas las estaciones.

Para la temporada 2018, la estación Terraza Laguna Dial se utilizó para realizar el relleno de temperatura de las otras estaciones ya que es la que presenta una mayor extensión de

datos y un coeficiente de correlación mayor. En la Figura 11 se presentan las correlaciones entre las estaciones y en la Figura 12 se muestran en verde los valores generados a partir de la relación lineal.

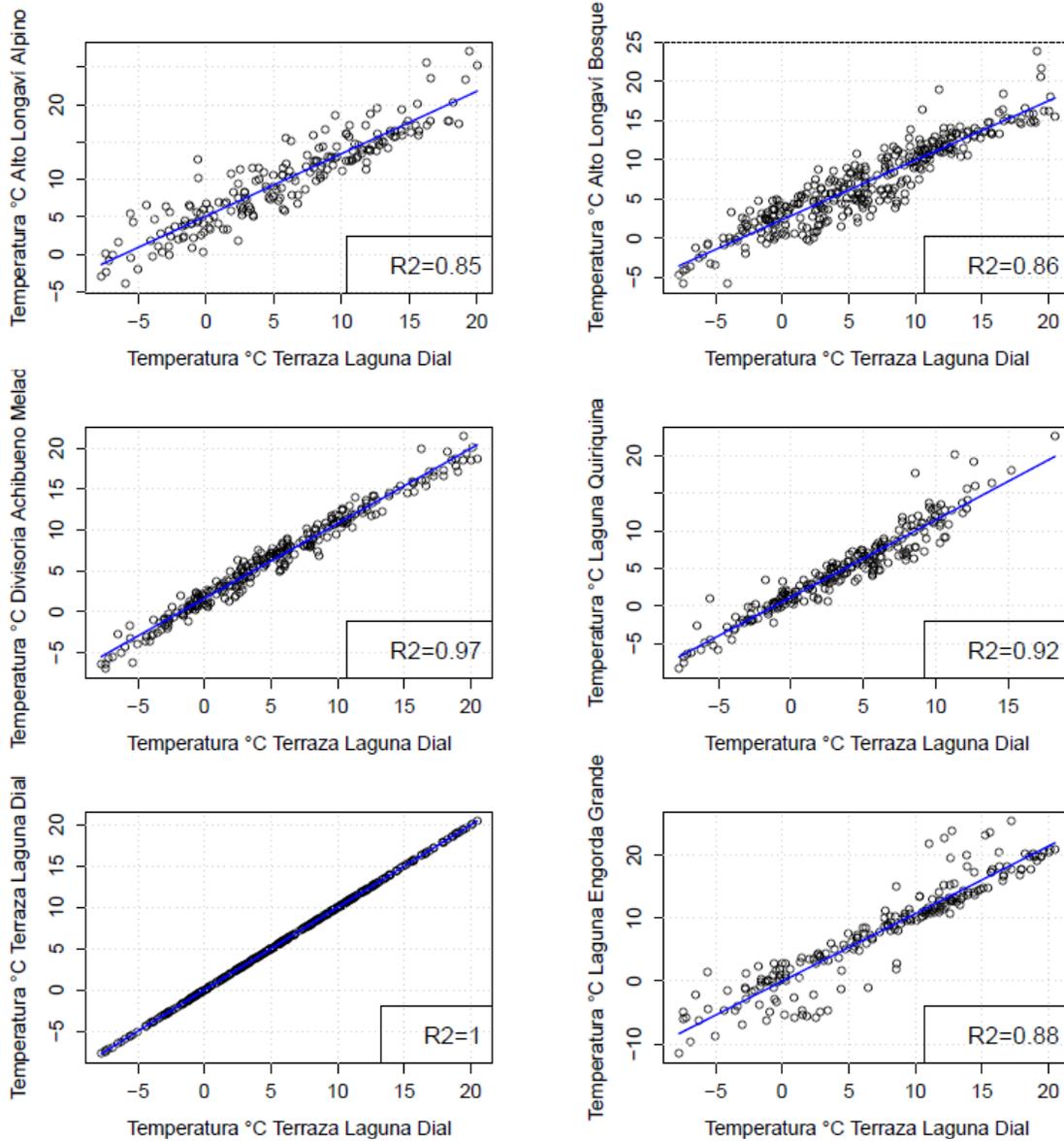


Figura 11. Correlación entre temperaturas, temporada 2018

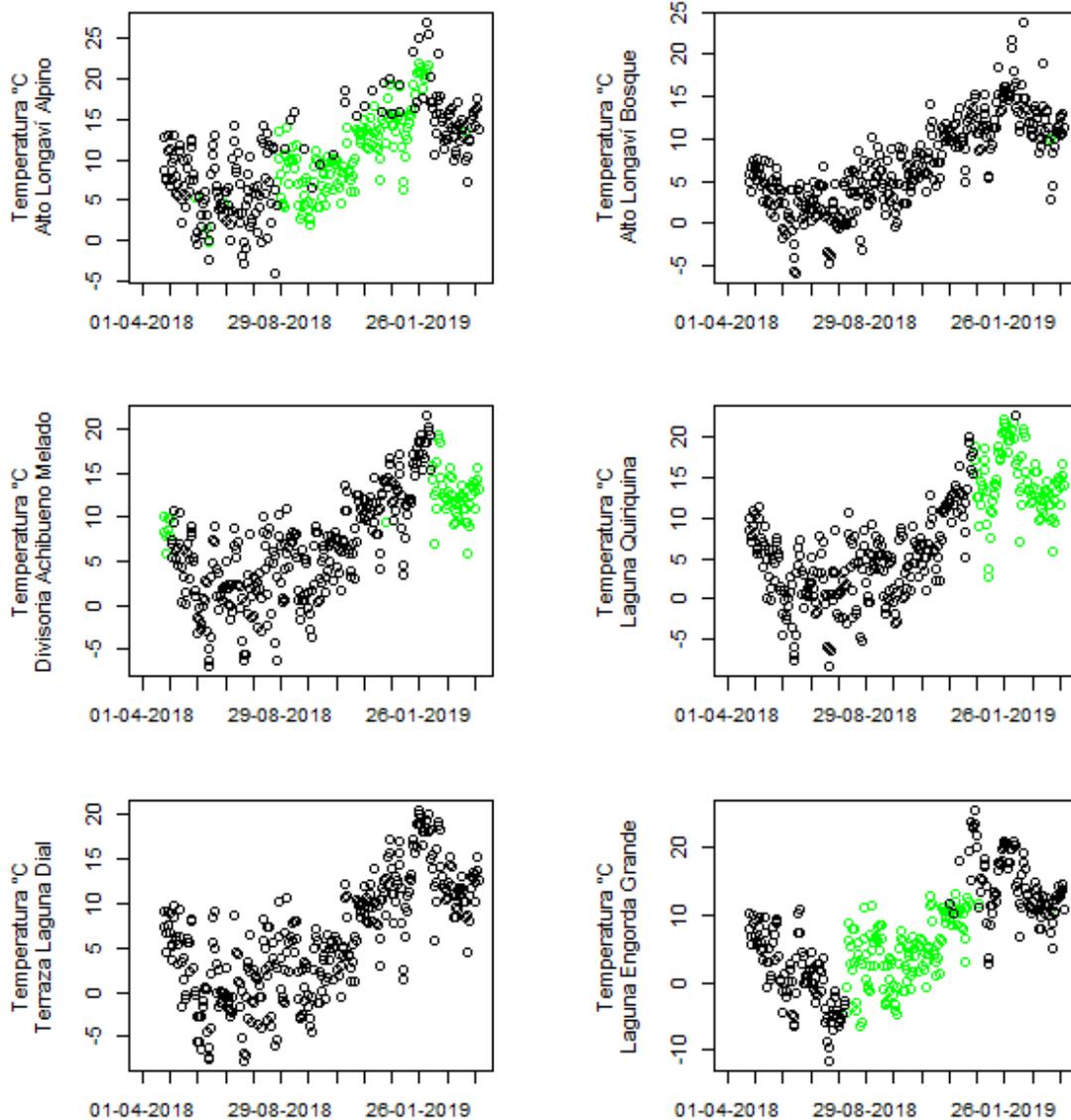


Figura 12. Temperaturas rellenadas, temporada 2018

Con la temperatura rellenada y mediante la ecuación 1 es posible determinar la distancia corregida para todas las estaciones instaladas.

Para determinar la profundidad de nieve se debe conocer la altura a la que está instalado el sensor, ya que la distancia se mide desde este hasta la superficie. En la Tabla 5 se presenta la altura para la temporada 2018 y 2019.

Tabla 5. Altura de los sensores.

Estaciones	Altura [m]	
	2018	2019
Alto Longavi Alpino	3.70	3.40
Alto Longavi Bosque	3.05	3.10
Casa Melado	-	-
Divisoria Achibueno Melado	3.63	3.70
Laguna Ancoa	-	2.85
Laguna Maule FIC	-	3.20
Laguna Quiriquina	3.75	3.70
La Puente 1	-	4.00
La Puente 2	-	2.80
Rio Quiriquina	-	4.20
Terraza Laguna Dial	3.68	2.10
Laguna Engorda Grande	3.70	3.88

La profundidad de nieve (PfN) se obtiene mediante la siguiente formula:

$$PfN = Altura - D \quad (2)$$

Obtenida la profundidad de nieve se generan gráficos para ver la distribución de ésta en las temporadas, luego mediante un análisis visual se eliminan aquellas que presentan saltos en la línea de tiempo, es decir, que presentan un nivel distinto a lo registrado durante valores consecutivos. Lo mismo sucede con aquellos valores aislados que presentan un aumento cuando la tendencia de la profundidad va disminuyendo, o una disminución cuando la tendencia de la profundidad aumenta.

En particular, para las estaciones La Puente 1, La Puente 2 y Laguna Engorda Grande se registran 2 niveles de profundidad de nieve. El día 4 de octubre de 2019, se realizan calicatas en el lugar donde se ubican las estaciones con los sensores. En la estación La Puente 1 se obtiene una altura de 0.63m además de zonas que ya no presentan nieve, por esto se opta por cambiar la estación de lugar dado que existía una roca que interfería con la dinámica del derretimiento de la nieve, siendo no representativa esta medición.

Para la estación La Puente 2 se obtiene una altura de 0, por lo que los valores medidos por el sensor se consideran válidos. Los registros que se encontraban en el nivel mayor, que solo seguían una tendencia constante fueron eliminados, esto se aprecia en la Figura 13.

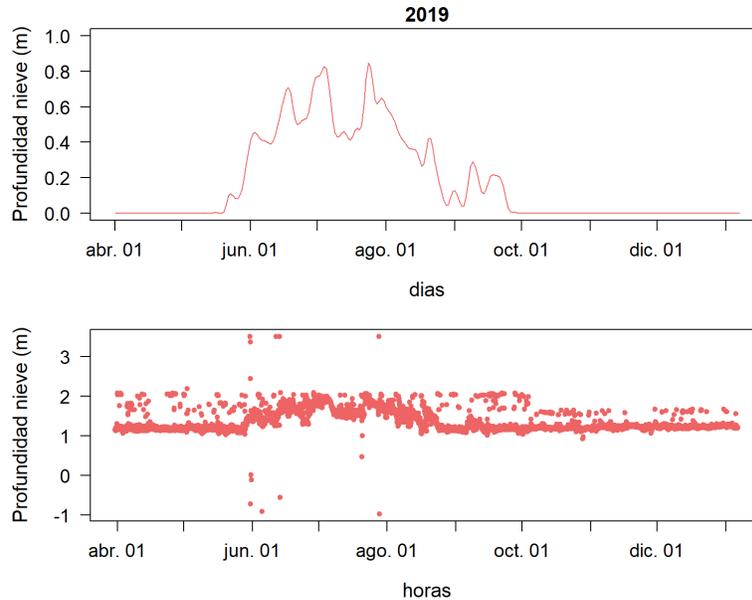


Figura 13. Estación La Puente 2

La Laguna Engorda Grande, presenta 2 niveles al inicio de la temporada 2019, al realizar la calicata se obtiene una profundidad mayor a 2m por lo que se consideran validos los valores registrados por el sensor. El nivel mayor a 0 y constante al inicio de la temporada se elimina, en la Figura 14 se presenta la profundidad de nieve.

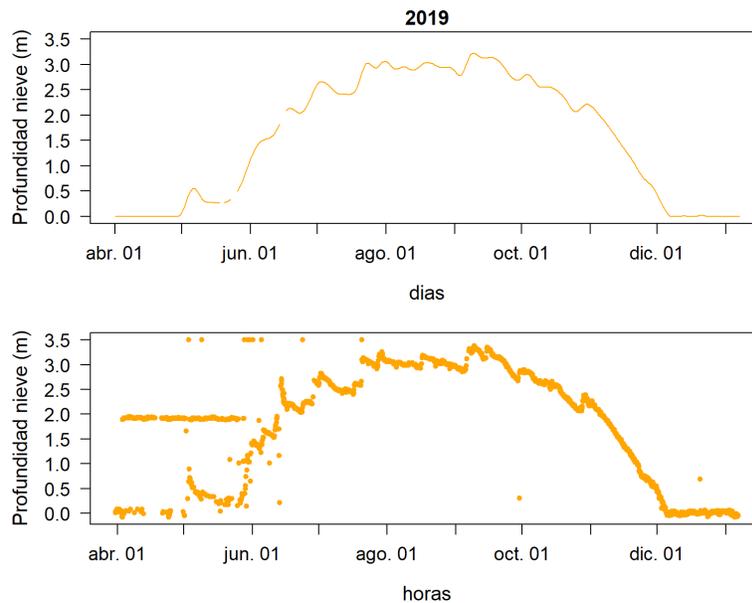


Figura 14. Estación Laguna Engorda Grande

Al procesar la información, durante el periodo octubre - diciembre la nieve ya se está derritiendo por lo que su altura es mínima, debido a esto los sensores registran el terreno

(arbustos y piedras) que se encuentra alrededor, generando un registro que oscila entre 0 y 0.3 m para la mayoría de las estaciones, ver Figura 15.

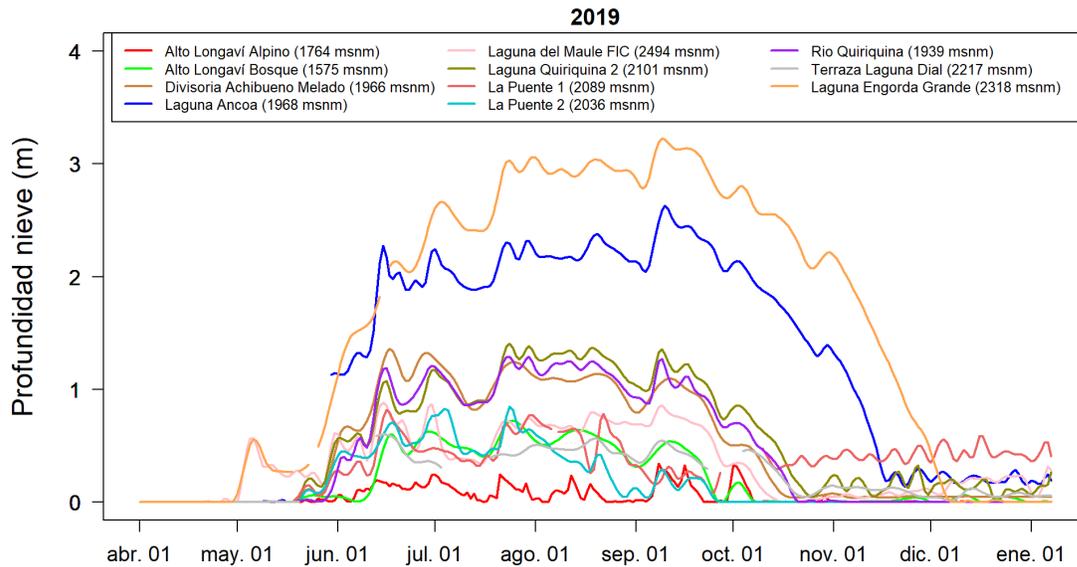


Figura 15. Temporada 2019

Para determinar si existe nieve, se utiliza el producto satelital LANDSAT 8 cuya resolución espacial es de 30 metros y una resolución temporal de 16 días. En específico se trabaja con el día 22 de octubre del 2019.

Para determinar el área de cobertura de nieves se utiliza el índice de diferenciación de nieve normalizado (NDSI), el cual se obtiene mediante un algebra de bandas como se indica en la siguiente ecuación:

$$NDSI = \frac{B_3 - B_6}{B_3 + B_6}$$

Donde B_3 y B_6 corresponde a la banda 3 y 6 respectivamente. Luego si el valor del pixel es menor 0.2 se considera que no existe nieve, si es mayor a 0.4 corresponde a nieve.

En la Tabla 6 se presenta la estación y el valor del pixel que contiene a la estación, además se indica si la estación registra nieve.

Tabla 6. Índice NDSI e información del sensor

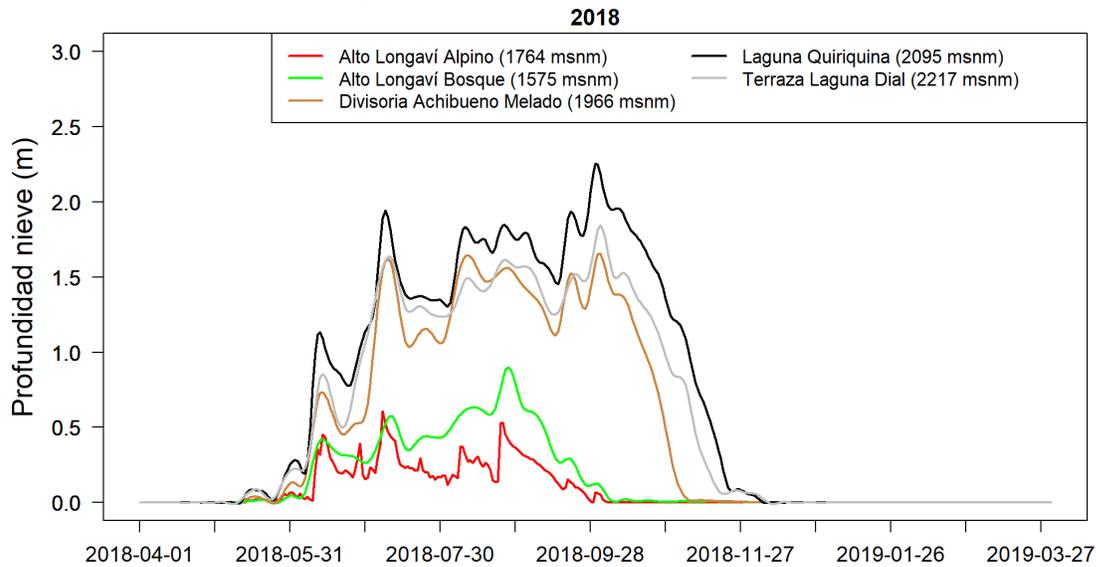
Estación	NDSI [-]	Sensor
Alto Longaví Alpino	-0,09	Sin nieve
Alto Longaví Bosque	-0,7	Sin nieve
Disvisoria Achibueno Melado	0,49	Nieve
Laguna Ancoa	0,38	Nieve
Laguna Maule FIC	-0,14	Sin nieve
Laguna Quiriquina 2	0,55	Sin nieve

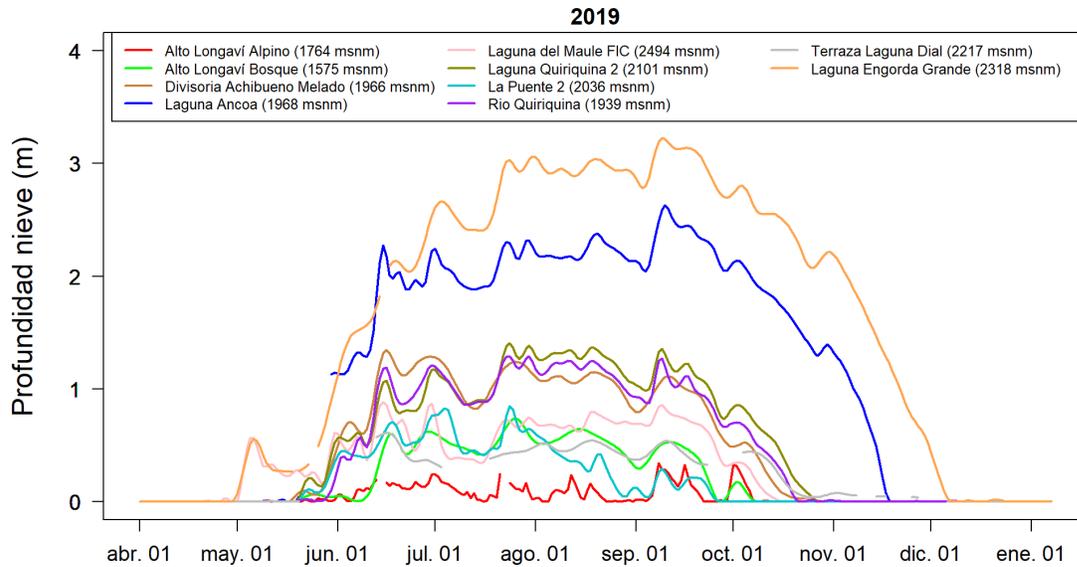
La Puente 2	-0,55	Sin nieve
Río Quiriquina	0,64	Sin nieve
Terraza Laguna Dial	0,72	Nieve
Laguna Engorda Grande	0,63	Nieve

De esta forma, para aquellas estaciones en que el NDSI es menor a 0.2 efectivamente el sensor no registra nieve. A pesar de esto, la estación Río Quiriquina presenta un índice mayor a 0.4 pero el sensor no registra nieve, esto se debe a la resolución del pixel ya que al ser un área de 30x30 m² contiene mayor información que la estación puntual. Finalmente se tiene que, si el sensor comienza a oscilar en torno a un cierto valor luego de que la nieve al derretirse alcanzara un valor mínimo, dichos valores se considera igual a 0.

Resultados de profundidad de nieve

A continuación, en la Figura 16 se presenta la profundidad de nieve para las estaciones durante la temporada 2018 y 2019.





En la Figura 17 se aprecia que 2 de las nuevas estaciones instaladas (Laguna Ancoa y Laguna Engorda Grande) registran una profundidad de nieve elevada, la cual sobrepasa los 2 metros, sin embargo, esto se debe a que están instaladas en zonas de alta acumulación, lo cual fue verificado en terreno. En cambio, si se comparan las estaciones que se encuentran operativas en ambas temporadas, alcanzan una profundidad de nieve máxima aproximada de 1.5m el año 2019, siendo menor a la obtenida en la temporada 2018 (1.9-2 metros aproximadamente).

10.1.5. Instalación estación fluviométrica Longaví 2020

El 25 de septiembre de 2020 se instaló una estación fluviométrica en el río Longaví en el Castillo, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Estación fluviométrica instalada en Longaví en el Castillo

10.2. Procesamiento de imágenes satelitales

Se realizó el cálculo de fractional Snow Cover Area (fSCA) para las cuencas Achibueno en la Recova, Maule en Armerillo y Longaví en el Castillo. El fSCA es obtenido a partir de imágenes MODIS de los satélites AQUA (MYD10) y TERRA (MOD10), las cuales son procesadas para realizar una corrección por nubes utilizando el procedimiento propuesto por Lagos et al. (2015) mostrado en la Figura 19.

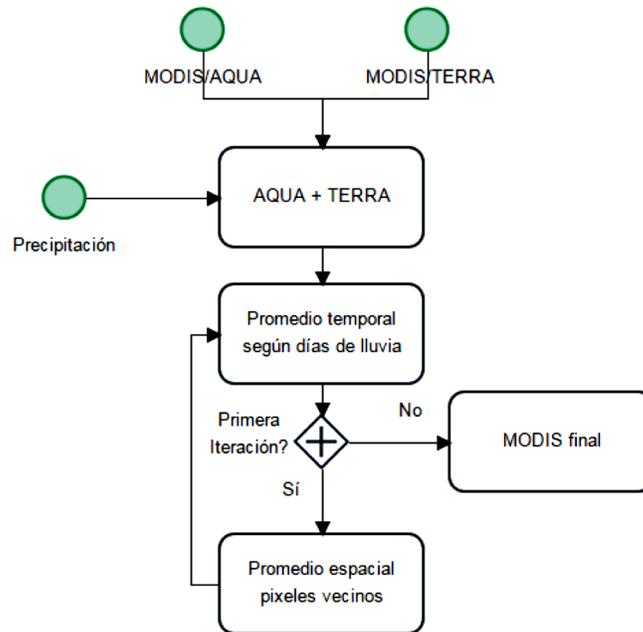


Figura 19. Procedimiento de corrección de nubes de los satélites AQUA y TERRA. Fuente: Lagos et al. (2015).

El periodo disponible de imágenes satelitales es desde 2001 hasta 2019. En la Tabla 7 se muestran los valores obtenidos de fSCA para el 31 de agosto y el máximo de la temporada para los años disponibles.

Tabla 7. fSCA desde 2001 a 2018

Año	Maule en Armerillo		Longaví en el Castillo		Achibueno en la Recova	
	31-ago	Máximo	31-ago	Máximo	31-ago	Máximo
2001	0.88	0.92	0.74	0.85	0.47	0.53
2002	0.81	0.93	0.52	0.86	0.34	0.55
2003	0.43	0.89	0.14	0.74	0.13	0.45
2004	0.60	0.90	0.37	0.74	0.25	0.51
2005	0.96	0.96	0.86	0.89	0.56	0.60
2006	0.85	0.95	0.69	0.92	0.43	0.68
2007	0.77	0.79	0.60	0.75	0.37	0.53
2008	0.57	0.73	-	0.63	0.41	0.40
2009	0.74	0.90	0.39	0.79	0.29	0.51
2010	0.82	0.96	0.63	0.93	0.38	0.86
2011	0.93	0.96	0.84	0.93	0.49	0.78
2012	0.64	0.93	0.33	0.82	0.20	0.55
2013	0.73	0.93	0.40	0.79	0.27	0.49
2014	0.63	0.89	0.37	0.82	0.23	0.54
2015	0.73	0.89	0.35	0.78	0.26	0.46
2016	0.47	0.68	0.18	0.52	0.15	0.31
2017	0.65	0.76	0.48	0.66	0.31	0.50

	Maule en Armerillo		Longaví en el Castillo		Achibueno en la Recova	
2018	0.53	0.84	0.26	0.68	0.20	0.46

Como primer acercamiento al pronóstico se ejecuta el modelo de regresión lineal múltiple (MLR) generado para realizar el pronóstico 2018, esta vez agregando fSCA (31-ago) como predictor. En el modelo se incluyen como predictores: precipitación acumulada entre los meses de junio y agosto, caudal medio entre junio y agosto y equivalente en agua de nieve (EA) máximo de la temporada. El modelo tiene la forma:

$$V_{desh} = \sum_{i=0}^n a_i X_i + a_0 + \varepsilon$$

Donde V_{desh} corresponde al volumen de deshielo entre septiembre y marzo, a_i es son ponderadores de los predictores X_i , a_0 es una constante que depende de la cuenca y el modelo utilizado y ε es el error estándar asociado a la estimación.

Se ejecuta el modelo para la cuenca Maule en Armerillo, en la Tabla 8 se muestra un resumen de la información de las estaciones y las variables utilizadas para realizar el pronóstico.

Tabla 8 Estaciones hidro-meteorológicas consideradas en este estudio. Pp: Precipitación, EA: Equivalente en agua de nieve.

Estación	Código BNA	UTM N	UTM E	Variable utilizada
Río Maule en Armerillo	07321002-K	6046528	308442	Q y Pp
Lo Aguirre	07301000-4	6018203	358258	EA Máximo

El modelo preliminar desarrollado para Maule en Armerillo puede apreciarse en la Figura 20, donde se obtuvo que los errores máximos no superan el 30% y en promedio son cercanos al 13%. No se observa una tendencia clara de sobreestimar o subestimar sistemáticamente volúmenes de deshielo con valores extremos, por lo que se evaluarán modelos no lineales. Se desea probar el desempeño de tres metodologías con el objetivo de disminuir el error: i) Regresión lineal múltiple utilizando Forward Selection para la selección de predictores, ii) Principal Components Regression (PCR) y iii) Partial Least Square Regression (PLSR).

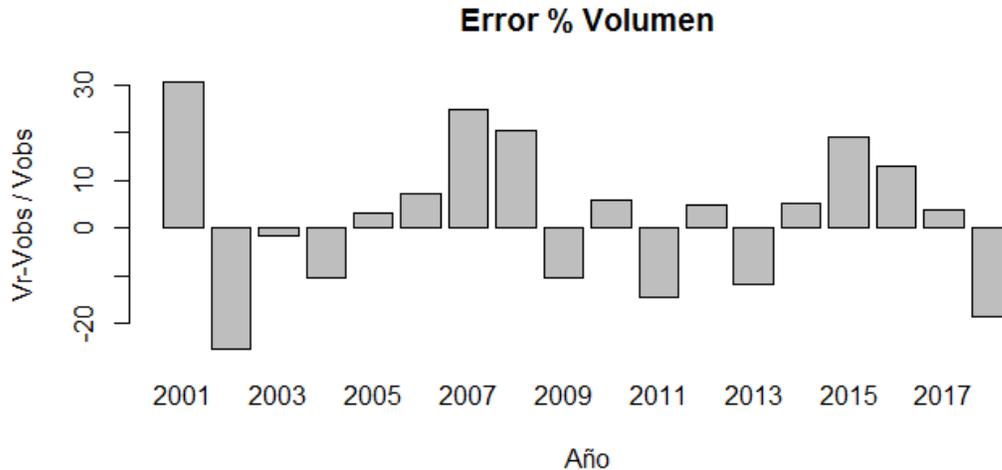


Figura 20. Porcentaje de error volumétrico para la cuenca Maule en Armerillo, reconstruida en régimen natural, para un modelo de regresión lineal múltiple.

10.3. Modelo hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity)

El modelo VIC (Liang et al., 1994) es un modelo hidrológico de macroescala que resuelve los balances de masa y energía. Este modelo nació de la necesidad de representar la superficie terrestre en los modelos de circulación general utilizados para la simulación climática y la predicción numérica del tiempo y corresponde a una generalización del modelo de capacidad de infiltración variable descrito por Wood et al (1992) (Liang et al., 1994).

Los modelos de las cuencas de interés (al igual que las forzantes) fueron facilitados por el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile. Estos modelos fueron realizados como parte de la Actualización del Balance Hídrico Nacional.

Algunas características del modelo son:

1. La superficie terrestre se modela como una cuadrícula de celdas grandes, planas y uniformes. En este caso las URH (unidades de respuesta hidrológica) corresponden a pixeles de $0,05^\circ$ (latitud – longitud, equivalente a aproximadamente 5 km) de resolución espacial, que a su vez son divididos en 3 capas de suelo (DGA, 2017).
2. Las entradas son series de tiempo de forzantes meteorológicas a escala subdiaria (cada 3 hrs) y distribuidas. Los inputs que recibe el modelo son: precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativas. Las forzantes se encuentran disponibles desde el año 1979 al 2015.

Este modelo fue calibrado para 3 cuencas: Longaví en el Castillo, Achibueno en la Recova y Maule en Armerillo.

La metodología de pronóstico utilizada corresponde a “ESP” (Ensemble streamflow prediction). Esta es una forma de presentar pronósticos estacionales, produciendo un conjunto (o “ensemble” en inglés) de posibles caudales al forzar el modelo con series meteorológicas históricas.

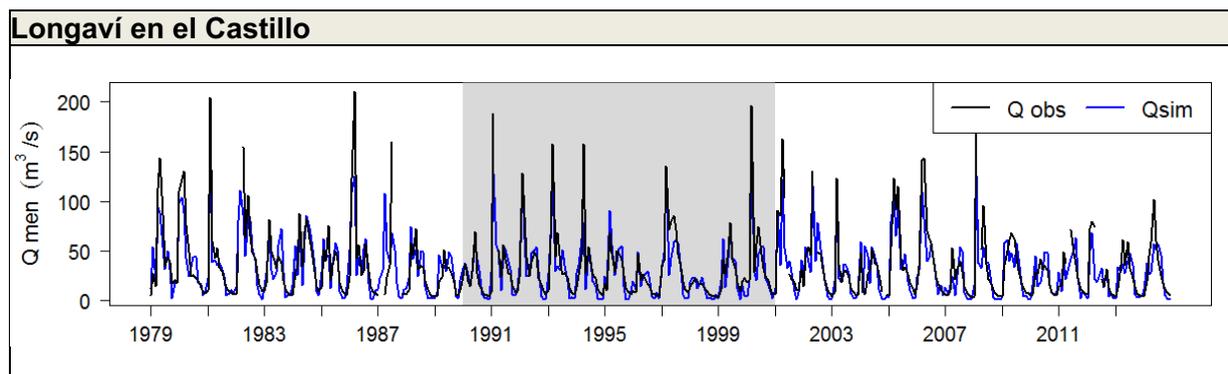
Calibración y desempeño del modelo

La Tabla 9 muestra las métricas y/o índices obtenidos de la calibración de las tres cuencas.

Tabla 9. Métricas y/o índices de rendimiento de la calibración.

Índice/métrica	Longaví		Achibueno		Maule	
	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.
KGE	0.54	0.57	0.79	0.79	0.76	0.83
α	0.63	0.62	1.02	0.90	0.99	0.97
β	0.88	0.87	1.00	0.91	1.04	0.95
rPearson	0.75	0.84	0.89	0.84	0.76	0.84
NSE	0.54	0.66	0.72	0.78	0.52	0.68
KGE (sep-mar)	0.84	0.77	0.88	0.79	0.81	0.90
α (sep-mar)	0.99	1.01	0.86	0.82	1.06	0.99
β (sep-mar)	0.93	1.00	1.05	0.98	1.04	0.97
rPearson (sep-mar)	0.86	0.77	0.85	0.89	0.83	0.91
NSE (sep-mar)	0.71	0.53	0.77	0.69	0.63	0.81

La Figura 21 y Figura 22, presentan algunos resultados de la calibración en las tres cuencas. Cada una de las siguientes figuras muestra la simulación del caudal medio mensual y el volumen en el periodo de deshielo (sep-marzo). El periodo de calibración se encuentra sombreado.



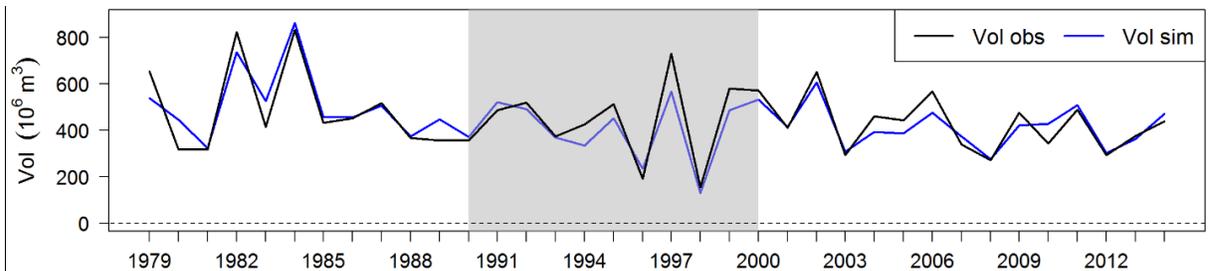


Figura 21. Caudales medios mensuales y volumen septiembre-marzo. Cuenca: Longaví en el Castillo.

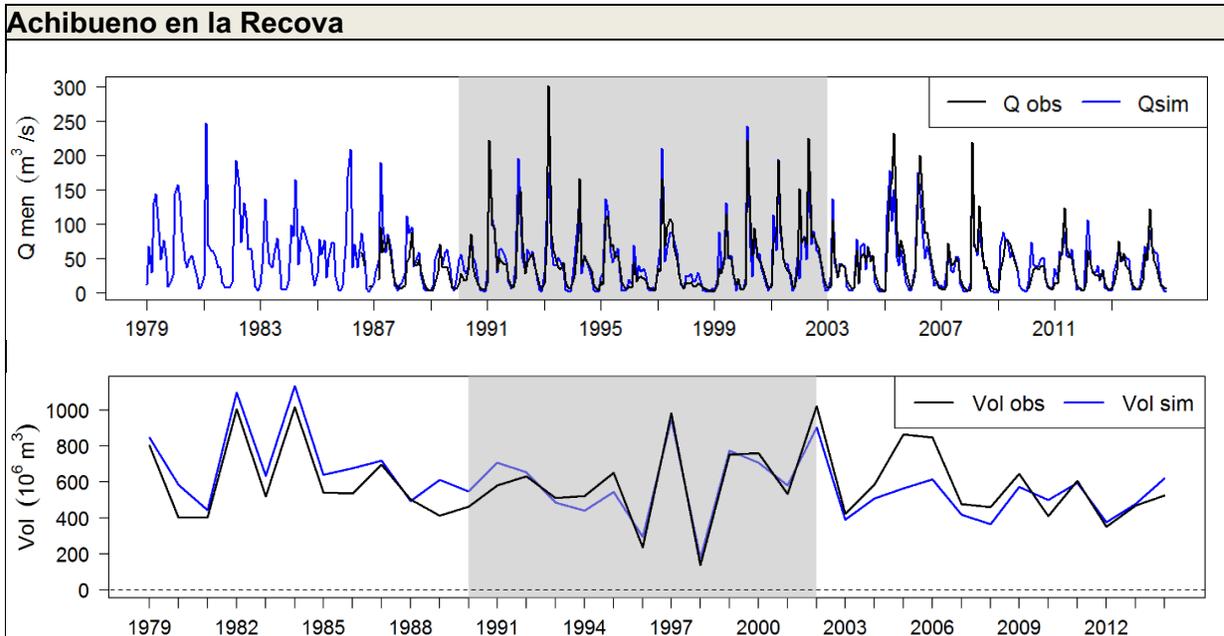


Figura 22. Caudales medios mensuales y volumen septiembre-marzo. Cuenca: Achibueno en la Recova.

Desempeño VIC: Longaví en el Castillo

Durante el periodo de deshielo se obtienen índices KGE de 0.84 y 0.77 en calibración y validación, respectivamente. Debido a que la calibración fue realizada optimizando el rendimiento en el periodo deshielo, el desempeño en el resto del año se ve disminuido. Esto se traduce en una subestimación del caudal durante el periodo de invierno, más notorio aún, durante la validación.

Durante el deshielo, se observa un comportamiento del caudal medio que se repite en prácticamente todos los años, en mayor o menor medida. Este comportamiento se caracteriza por una sobreestimación del volumen (o caudal medio) en los primeros meses de deshielo seguido por una subestimación en los meses finales. Esto último también se

evidencia en las curvas de duración, donde los caudales más bajos (que ocurren en los meses de verano) son subestimados.

Los componentes del KGE (deshielo), muestran que durante el deshielo, el coeficiente de correlación de Pearson es el elemento que aporta más error. Los otros dos componentes se acercan bastante al valor ideal (=1). No obstante, el valor α (razón entre Q medio, o volúmenes) se explica por la compensación de volúmenes sobre y subestimados. La correlación por otra parte, se realiza día a día por lo que evidencia el comportamiento descrito anteriormente. El SWE simulado comienza a disminuir anticipadamente con respecto al SWE obtenido del reanálisis de Cortés (Cortés, 2014). Esto podría relacionarse con la sobreestimación del caudal durante octubre-noviembre, y con la subestimación posterior.

Con respecto al volumen **total** de deshielo, en general no se observa un sesgo del modelo. La Tabla 10 muestra algunos indicadores de la simulación del volumen de deshielo.

Tabla 10. Errores Volúmenes de deshielo simulados

Estadístico Errores (%)	Longaví	Achibueno
Máximo	41,0	48,2
Mediana (abs)	7,3	12,0
Promedio (abs)	10,9	15,2

En general, se observa que el error del volumen de deshielo es menor en los años “normales” (normales en términos de volumen de deshielo). Al graficar el SSI (Standard Streamflow Index, ver Anexos para más detalle) de cada año (entre meses sep-marzo) versus el error del volumen de deshielo (Figura 23), se observa que en general, el modelo subestima el volumen en años húmedos (azules) y sobreestima en años secos (rojos). Claramente hay algunas excepciones.

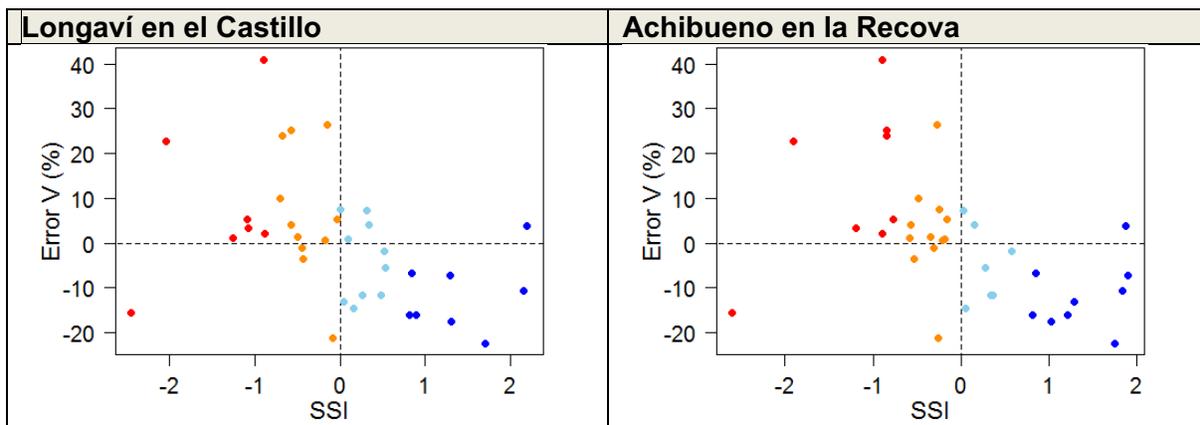


Figura 23. SSI versus error en el volumen de deshielo.

Desempeño VIC: Achibueno en la Recova

En el caso de esta cuenca, el desempeño del modelo durante el año completo no se ve tan afectado al priorizar el desempeño durante el deshielo, como ocurrió con Longaví en el Castillo.

La curva de variación estacional muestra una mayor similitud entre la observación y la simulación durante el deshielo en comparación con la cuenca anterior. No obstante, esta curva resulta del promedio de varios años, y en este caso, los errores de cada año se han compensado en la curva promedio.

Analizando cada año, se observa que se repite el comportamiento durante el deshielo descrito para Longaví en el Castillo, es decir una sobreestimación del volumen durante los primeros meses, seguido por una subestimación. Para esta cuenca, también se observa una subestimación de los caudales bajos aunque con un error menor que la cuenca anterior.

De la misma forma que en Longaví, la curva de SWE decae antes que lo indicado por el reanálisis de Cortés. Además del coeficiente de correlación, el componente α (razón entre medias) del KGE (deshielo) también aporta un error significativo, que repercute en el error del volumen estacional. Se observa que los errores son levemente mayores que para Longaví.

Desempeño VIC: Maule en Armerillo

Es importante recordar algunos aspectos que hacen de esta cuenca un caso muy distinto a las dos cuencas vistas anteriormente. A diferencia de las otras cuencas, para Maule en Armerillo se cuenta con un registro de “observaciones” mucho menor (solo 6 años). Además, estas observaciones en realidad son reconstrucciones del régimen natural de la cuenca, lo que agrega otra fuente de error.

Debido a la corta extensión de observaciones, la calibración no necesariamente logra ajustar el modelo a escenarios muy diferentes al periodo de calibración. Por otra parte, tampoco hay suficientes observaciones para validar adecuadamente el ajuste del modelo. Para esta cuenca no fue necesario optimizar el KGE durante el periodo de deshielo, ya que al calibrar durante el año completo, el modelo se desempeñó mejor (considerando KGE) durante los meses septiembre a marzo que para el resto del año. No obstante, tanto en calibración como validación, se observa una subestimación del volumen durante el mes de septiembre.

Con respecto a la sobreestimación-subestimación observada durante el deshielo en las cuencas anteriores, en este caso no se dispone de años suficientes para concluir algo similar.

A pesar de que se dispone de 6 años de observaciones, el registro se encuentra incompleto en algunos meses de deshielo, lo que se traduce a la posibilidad de verificar sólo 4 años de volumen total de deshielo (2010-2013). El error máximo en estos años es de un 8%.

Error volúmenes

Como se observó en Longaví y Achibueno, el error en la estimación del volumen estacional alcanza valores elevados, sobretodo en años más extremos. Se debe tener en cuenta que este error inevitablemente afectará el pronóstico. No se puede predecir en qué medida el error del modelo perturbará cada simulación del conjunto de miembros, pero es importante tener presente que existe un error considerable previo a la aplicación de la metodología ESP.

Pronóstico Longaví en el Castillo

En la Figura 24 se aprecia que para el tiempo de inicialización 1° de septiembre (3° caja) la observación tiende a caer fuera de la caja (límites 1° y 3° cuartil); solo en 15 de los 36 años la observación se encuentra dentro. Existen años en que la observación se encuentra incluso fuera de los valores extremos (corchetes). Estos casos (por ejemplo, años 1979, 1982, 1996 o 1997) corresponden a años extremos en términos del SPI_{deshielo} (precipitación deshielo). Ya que el año es extremo (seco o húmedo), el conjunto de forzantes históricas no es representativo. Este hecho, sumado al error del modelo podría explicar esta situación.

En la Figura 24 también se aprecia el comportamiento del conjunto a medida que avanza el tiempo de inicialización. En general, se observa como la incertidumbre se reduce con el paso de los meses, sin embargo, el conjunto no necesariamente se acerca a la observación. Es interesante lo que ocurre entre los tiempos de inicialización 1° de Julio y 1° de Septiembre (1° y 3° caja respectivamente) donde la incertidumbre solo se ve reducida en los valores extremos (corchetes) manteniendo prácticamente igual el largo intercuartílico (rango 1° y 3° cuartil). Entre estos meses además, gran parte de los años se aleja de la observación u oscila.

Esta situación cambia tras la observación de Septiembre. El paso del tiempo de inicialización del 1° de Septiembre al 1° de Octubre (3° y 4° caja respectivamente) reduce notoriamente la incertidumbre y en la mayoría de los años, el conjunto se acerca a la observación.

Por otra parte, para el último tiempo de inicialización (1° de Noviembre), en que se cuenta con la observación de Septiembre y Octubre, en la mayoría de los años la observación cae fuera del bajo el 1° cuartil o sobre el 3°. Incluso en algunos casos la observación se escapa de los valores extremos.

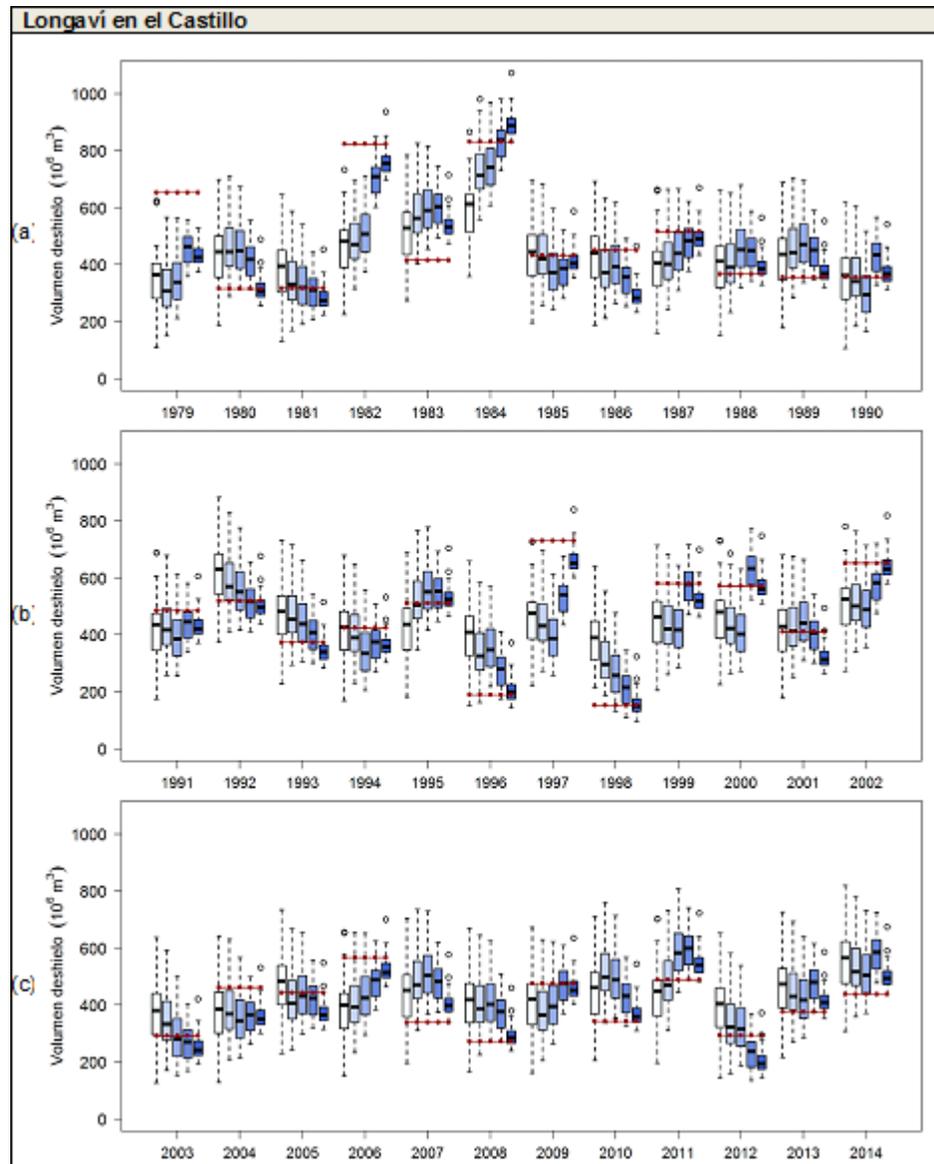


Figura 24. Volúmenes de deshielo, para distintos tiempos de inicialización. Cuenca: Longaví en el Castillo.

Pronóstico Achibueno en La Recova

Los resultados (Figura 25) muestran que el comportamiento del conjunto en Achibueno en la Recova es bastante similar a lo que ocurre en Longaví en el Castillo. Sin embargo, en esta cuenca existen menos casos en que la observación se escapa de los valores extremos (como ocurría en 1979 o 1982 en Longaví en el Castillo).

En relación al avance en el tiempo de inicialización (Figura 25) se repiten algunas apreciaciones hechas para Longaví en el Castillo. La incertidumbre tiende a mantenerse

constante entre la inicialización en Julio y Septiembre, situación que cambia cuando se inicializa en Octubre. Al igual que en Longaví, para la inicialización en Noviembre, la observación tiende a escaparse del rango comprendido entre el 1° y 3° cuartil.

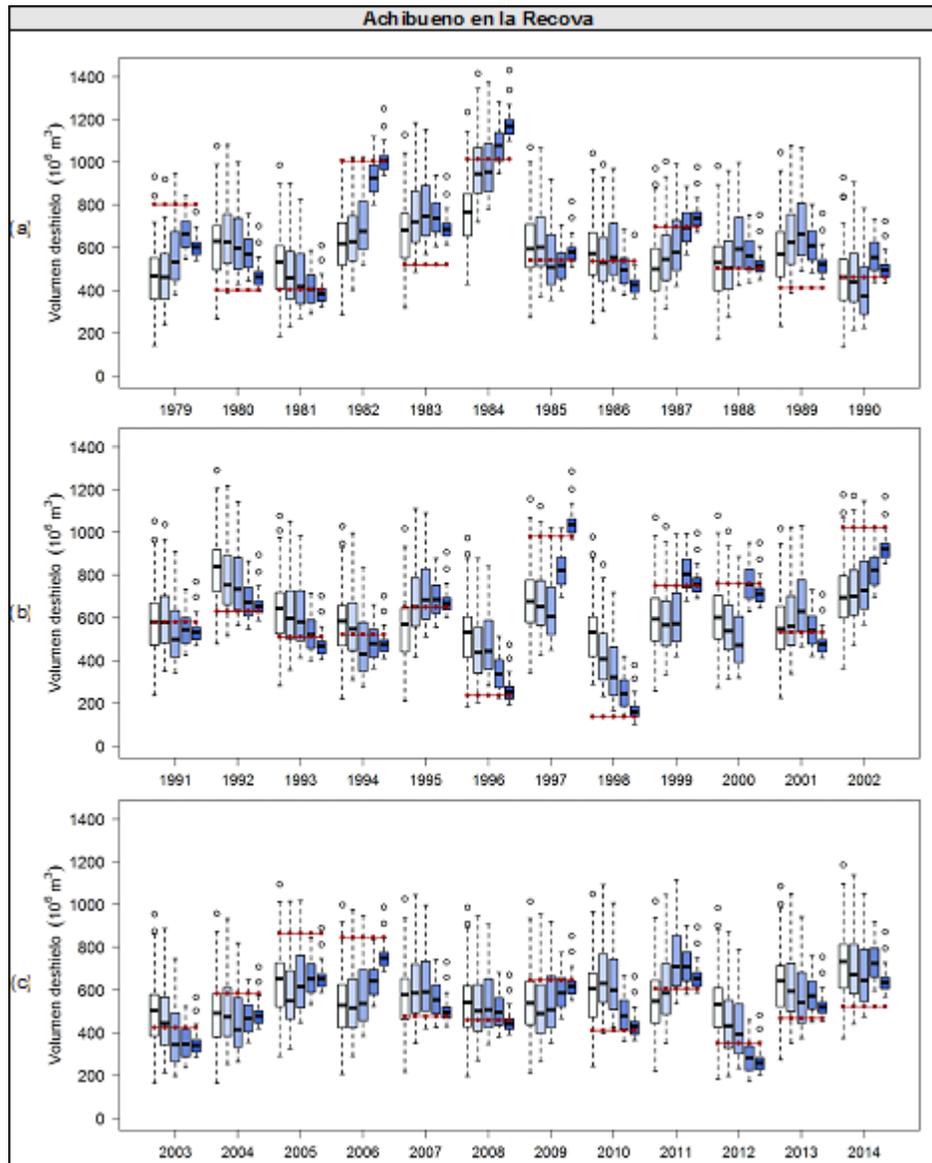


Figura 25. Volúmenes de deshielo, para distintos tiempos de inicialización. Cuenca: Achibueno en la Recova.

Pronóstico Maule en Armerillo

En esta la Figura 26 se observa que entre la 1° y 2° inicialización, desaparecen los puntos atípicos (puntos fuera del corchete). Sin embargo, el largo intercuartílico tiende a aumentar levemente. A excepción del año 2011, a medida que avanza el tiempo de inicialización (entre julio y septiembre), el conjunto se acerca a la observación.

La observación de Septiembre reduce significativamente el largo intercuartílico (y el rango de valores extremos), sin embargo, la observación tiende a caer fuera de este.

Lamentablemente para esta cuenca solo se cuenta con observaciones (de caudal) en años similares en términos de precipitaciones, por lo que no se puede concluir acerca del comportamiento del conjunto bajo condiciones diferentes.

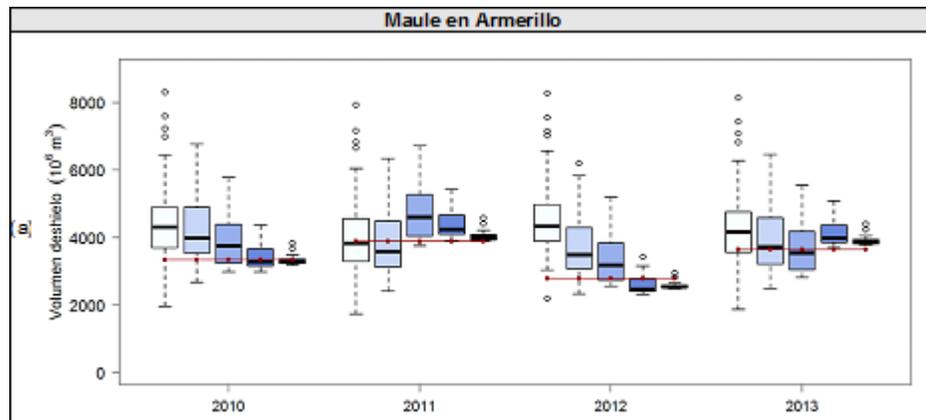


Figura 26. Volúmenes de deshielo, para distintos tiempos de inicialización. Cuenca: Maule en Armerillo.

Post procesamiento

Hasta ahora, los resultados fueron mostrados sin aplicar post-procesamiento. El supuesto a priori del ESP es que todos los miembros del conjunto son equiprobables, no obstante, esto puede cambiar al realizar algún tipo de filtro en las forzantes, o al otorgar distinta probabilidad a cada miembro.

Utilizar la serie histórica completa podría ser adecuado sólo para los años “normales” (en términos de precipitación). En el caso de años extremos, al utilizar la meteorología histórica, el conjunto tenderá a alejarse de la observación. Luego, la gran interrogante es cómo conocer a priori qué forzantes tienen mayor probabilidad de ocurrencia.

Un primer enfoque consistió en utilizar el SPI (Standard Precipitation Index) durante los meses de invierno como predictor de las forzantes durante el deshielo. Sin embargo, no se obtuvo una correlación que fuera útil.

Posteriormente, se decidió analizar la correlación entre índices climáticos y la precipitación durante el deshielo. De este análisis, se obtuvo que el índice que presentaba la mayor correlación es el MEI agrupado para Julio y Agosto, como se observa en la Figura 27.

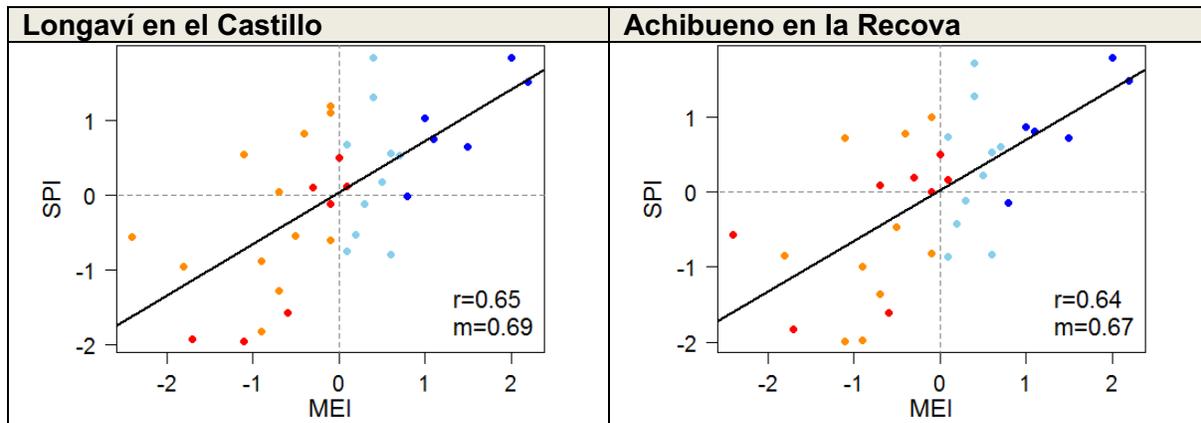


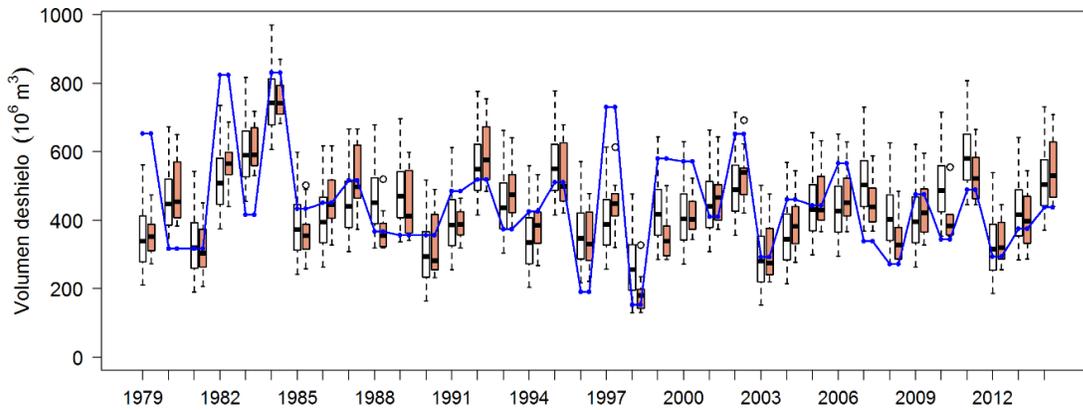
Figura 27. Correlación entre MEI durante Julio-Agosto y Precipitación en meses de deshielo (SPI).

El MEI (Multivariate ENSO Index) es una combinación de cinco variables diferentes (presión a nivel del mar, temperatura de la superficie del mar, componentes zonales y meridionales del viento en la superficie y radiación de onda larga saliente) sobre la zona del Pacífico tropical (30 ° S-30 ° N y 100 ° E-70 ° W). Este índice es publicado por el NOAA de forma bimensual, y se encuentra disponible inmediatamente trascurrido un mes.

Este índice fue utilizado para filtrar sólo los miembros con un MEI similar al MEI del año en que se pronostica. Por ejemplo, para un tiempo de inicialización 1° de Septiembre, se escogieron sólo los miembros con un MEI Julio-Agosto similar al MEI de ese año. De esta forma, se genera un conjunto con menos miembros que el original.

En la Figura 28 se presenta la comparación entre el conjunto simulado a priori y utilizando información del índice MEI para filtrar los miembros (utilizar sólo miembros con MEI Julio-Agosto similar). Tanto la Figura 28 como la Figura 29 (que presenta el error de la mediana del conjunto) corresponden al tiempo de inicialización 1° de Septiembre.

Longaví en el Castillo, $t_i = 1$ de Septiembre



Achibueno en la Recova, ti = 1 de Septiembre

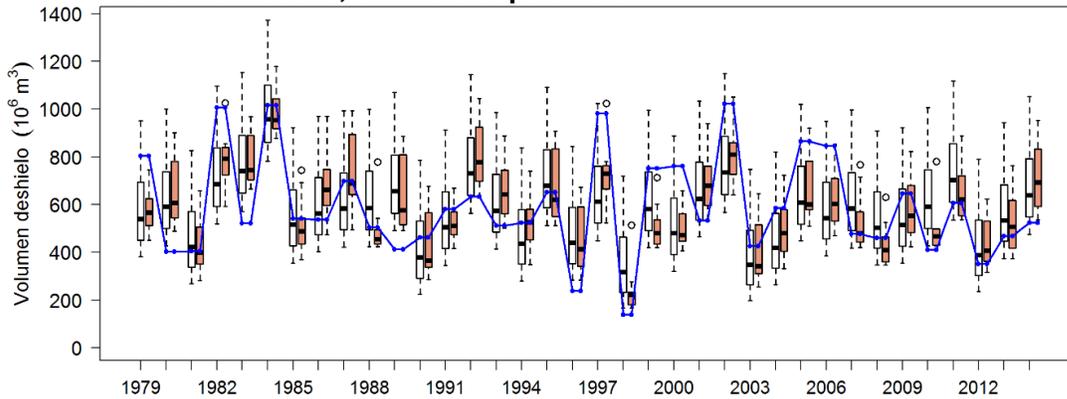


Figura 28. Pronóstico sin procesar (blanco) y utilizando información del índice MEI (naranja), tiempo de inicialización: 1° de Septiembre. La observación se grafica en azul.

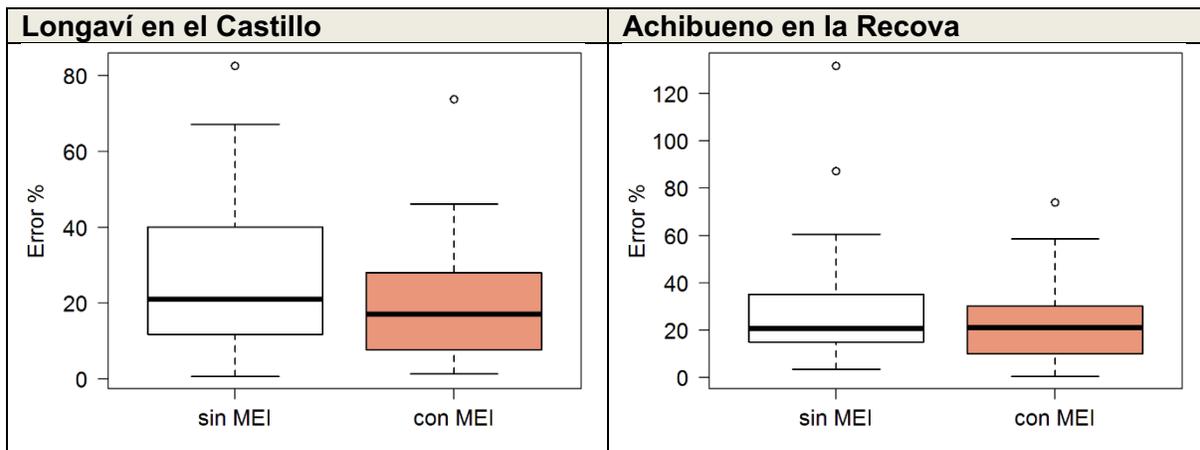


Figura 29. Comparación error % del pronóstico al agregar información del índice MEI.

A pesar de que la incorporación de información climática reduce el error de la mediana, este aún no es aceptable.

10.4. Pronóstico de caudales de deshielos

10.4.1. Estimación estacional de caudales de deshielos 2018-19

A fines de agosto de 2018, se realizó una estimación de caudales de deshielo estacional preliminar según probabilidad de excedencia para las cuencas de: Maule en Armerillo (Reconstruido), Melado en el Salto, Longaví en Castillo (Reconstruido con Achibueno), Achibueno en la Recova y Ancoa antes Túnel Melado (Reconstruido), que se muestran en la Figura 30. El término “reconstruido” hace referencia a que estos fueron estimados mediante una función para llegar al régimen natural. Dado que las cuencas se encuentran demasiado intervenidas al punto de medición, se le debe sumar todo lo extraído en puntos intermedios.

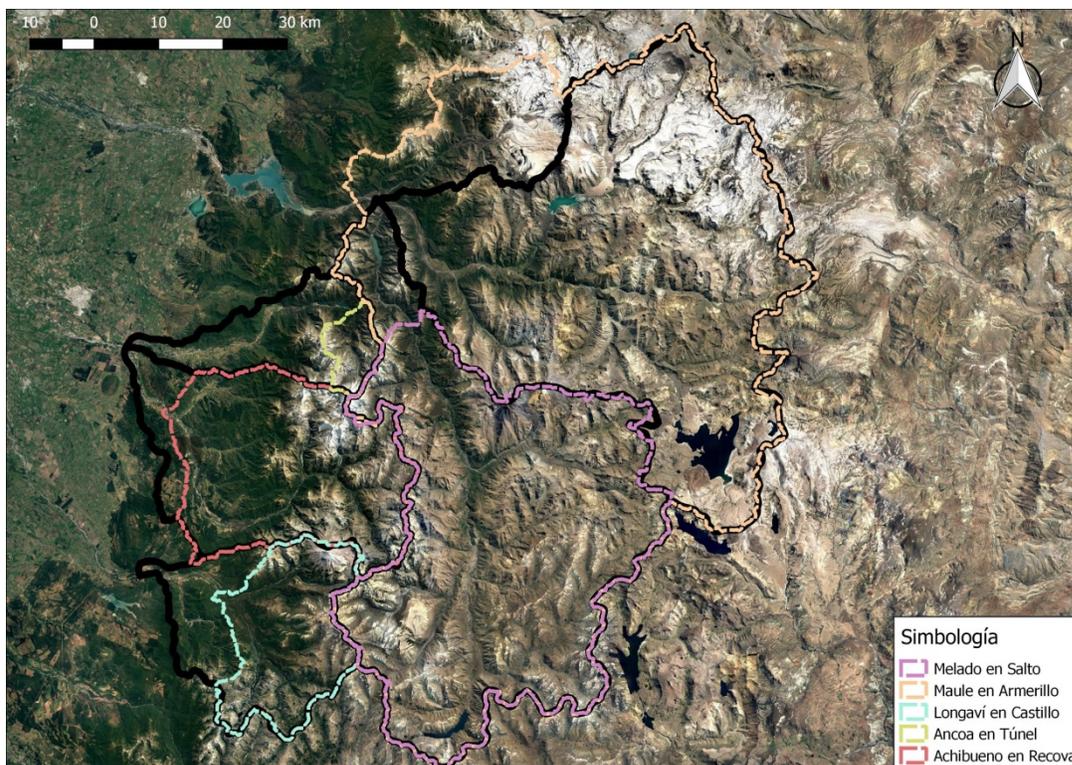


Figura 30. Cuencas en que se generó estimación estacional

Se consideró la siguiente información:

- Precipitaciones: Déficit 44% (Según DGA Satelital. Talca UC)
- Caudales invierno 2018: El invierno 2018 ha sido cerca de un 47% más seco que un año promedio.

- Equivalente Agua Nieve: EA nieve máximo hasta viernes 24 de agosto de 2018 en Lo Aguirre, era 33% más seco que un año promedio. Sin embargo la temporada de acumulación se encontraría en desarrollo

Obteniéndose las siguientes conclusiones:

- ✓ Caudales de invierno similares a 2016
- ✓ Acumulación de nieve en estaciones DGA un poco superior a 2016
- ✓ Precipitaciones 40-50% de déficit respecto de año normal (pexc = 90%)
- ✓ Según lo anterior, se puede postular que:
- ✓ Zona norte (Maule): probabilidad de excedencia entre 80% y 94% (moda 93%)
- ✓ Zona Sur (Longaví): probabilidad de excedencia entre 70% y 94% (moda 89%)

Con dichos datos se proyecta un año seco, con alrededor de 90% de excedencia.

Posteriormente, en diciembre 2018, se realizó una actualización del pronóstico presentado en agosto, el cual no estaba siendo certero por cambios en las condiciones meteorológicas observadas en torno a la zona de estudio, las cuales fueron más favorables que los dos años anteriores, lo anterior se explica por los eventos de precipitación registrados desde mediados de septiembre, que explican cerca del 30% de la lluvia acumulada en el 2018. Si bien la condición de nieve máxima acumulada en la estación lo Aguirre registró 203 [mm] de equivalente en agua de nieve, las precipitaciones líquidas registradas mejoraron significativamente esta condición de déficit.

Dadas las condiciones meteorológicas y de escurrimiento observados, los pronósticos esperados con la banda de error obtenida para cada método adoptado, en conjunto a la probabilidad de excedencia esperada se resumen en la Tabla 11, en donde además se aprecia una gran variabilidad entre las probabilidades de excedencia esperada. Lo anterior se debe a que los modelos aún se encuentran en desarrollo y no se ha logrado reducir lo suficiente la incertidumbre de las cuencas del Maule Sur, esto se debe en parte al régimen pluvio-nival que las caracteriza.

Tabla 11: Pronóstico de volumen de deshielo para el periodo diciembre 2018 a marzo de 2019.

Cuenca	Volumen esperado [hm ³]	Volumen mínimo esperado [hm ³]	Volumen máximo esperado [hm ³]	Probabilidad de excedencia esperada
Maule en Armerillo	1369	932	1806	82%
Longaví en Castillo ¹	110	137	82	60%
Achibueno en la Recova	118	148	88	54%

Dados los antecedentes analizados, se espera que las condiciones de diciembre a marzo correspondan a años de probabilidades de excedencia entre un 54% y un 82% para los sistemas analizados. Todas estas condiciones presentan condiciones más desfavorables

¹ Los predictores utilizados para Longaví en Castillo, al no ser una estación automática, fueron obtenidos en función de la información extraída del Datalogger y la curva de descarga provista por la DGA, de modo que no necesariamente representan las condiciones validadas por la autoridad.

que el año 2017/18, pero no tan severas como las que se proyectaban a inicios de septiembre donde se esperaba una temporada de probabilidad de excedencia 92%. Estas condiciones de lluvias tardías, no necesariamente son reproducibles en un buen pronóstico estacional, por lo que es necesario seguir explorando otras metodologías que incluyan la modelación hidrológica de cada cuenca en estudio, actividad que está en pleno desarrollo junto con la desagregación temporal del volumen esperado.

A posteriori, se realizó una evaluación de los pronósticos realizados en agosto y diciembre 2018, cuyos resultados se muestran en la Figura 31 para la cuenca Maule en Armerillo, Figura 32 para Longaví en el Castillo y Figura 33 para Achibueno en la Recova.

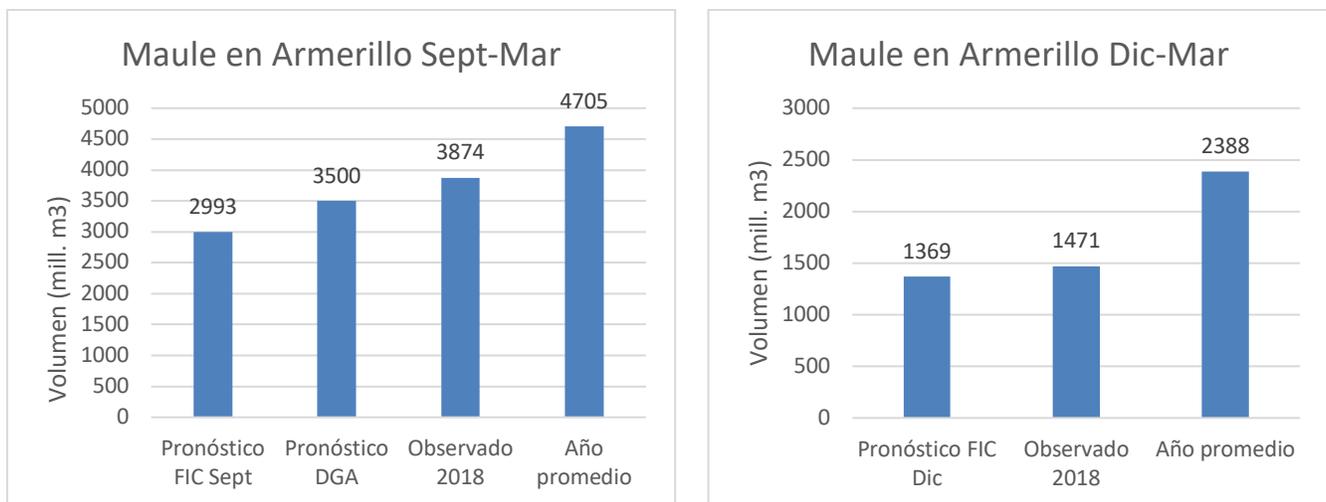


Figura 31. Comparación entre volúmenes pronosticados, observados y año promedio en la cuenca Maule en Armerillo, para septiembre (izquierda) y diciembre (derecha).

Tanto en Maule en Armerillo como en Longaví se pronosticó una temporada más seca que el promedio, lo que se cumple considerando los volúmenes observados, sin embargo, se tienen errores del orden del 20% para ambas cuencas generando una subestimación del volumen, una tarea importante para el pronóstico 2019 es disminuir dicho error de predicción.

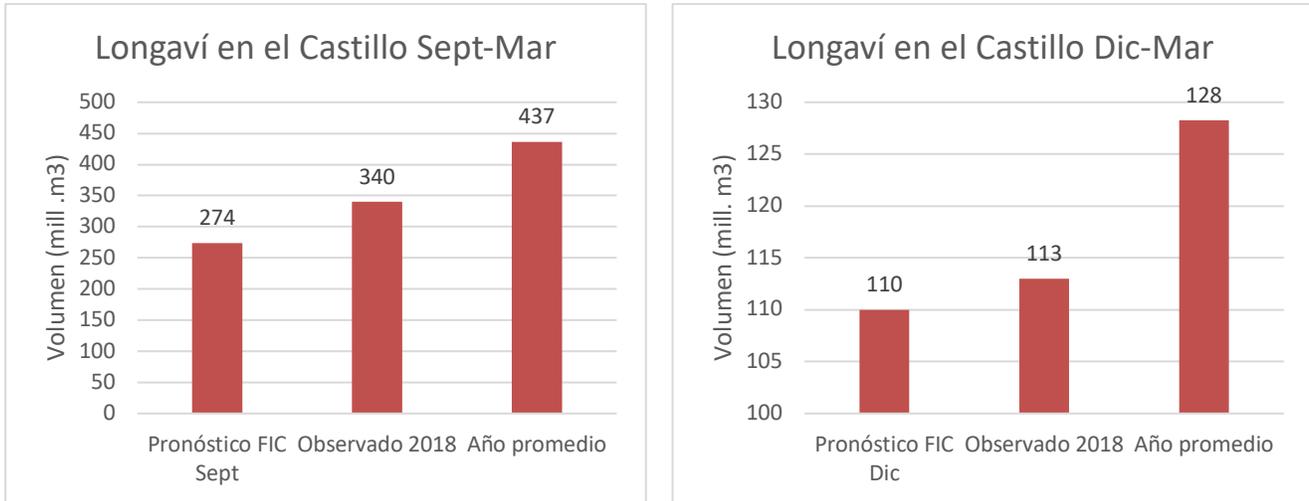


Figura 32. Comparación entre volúmenes de deshielo pronosticados, observados y año promedio en la cuenca Longaví en El Castillo, para septiembre (izquierda) y diciembre (derecha).

Achibueno en la Recova y Longaví en el Castillo son cuencas que poseen una componente pluvial relevante, por lo tanto el caudal de dichas cuencas no puede ser predicho completamente con la información de la acumulación de nieve.

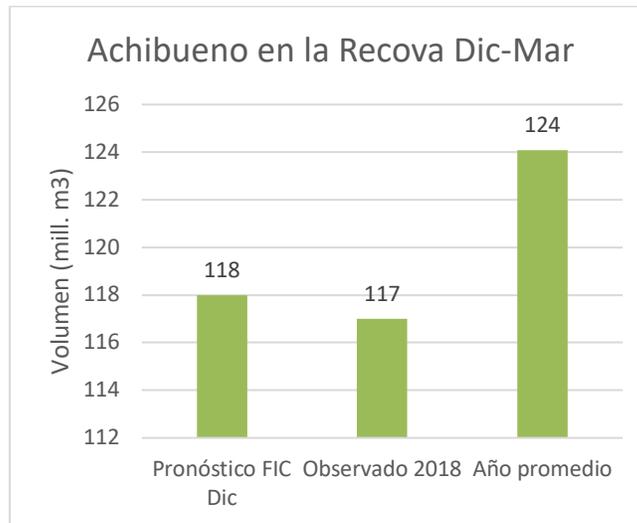


Figura 33. Comparación entre volúmenes de deshielo pronosticados, observados y año promedio para la cuenca Achibueno en la Recova, para el pronóstico emitido en Diciembre.

Para las tres cuencas en estudio se obtuvieron errores de predicción cercanos al 5% en diciembre, esto se encuentra en concordancia con las precipitaciones ocurridas durante la primavera (septiembre a noviembre).

En la **Figura 34** se muestra la distribución mensual de caudales para los últimos 4 años y el año promedio. Es posible observar que para el año 2018 se tuvo un invierno con

condiciones secas, mientras que durante el trimestre Sept-Oct-Nov las condiciones fueron cercanas al promedio, lo que finalmente no fue suficiente para contrarrestar el déficit de la temporada completa.

Se observa también que para Maule en Armerillo (Figura 34 (a)) se tiene una curva de caudales cuya distribución no presenta variaciones tan relevantes a lo largo de los años como en el caso de las otras dos cuencas, donde el peak de caudales puede darse en distintos meses.

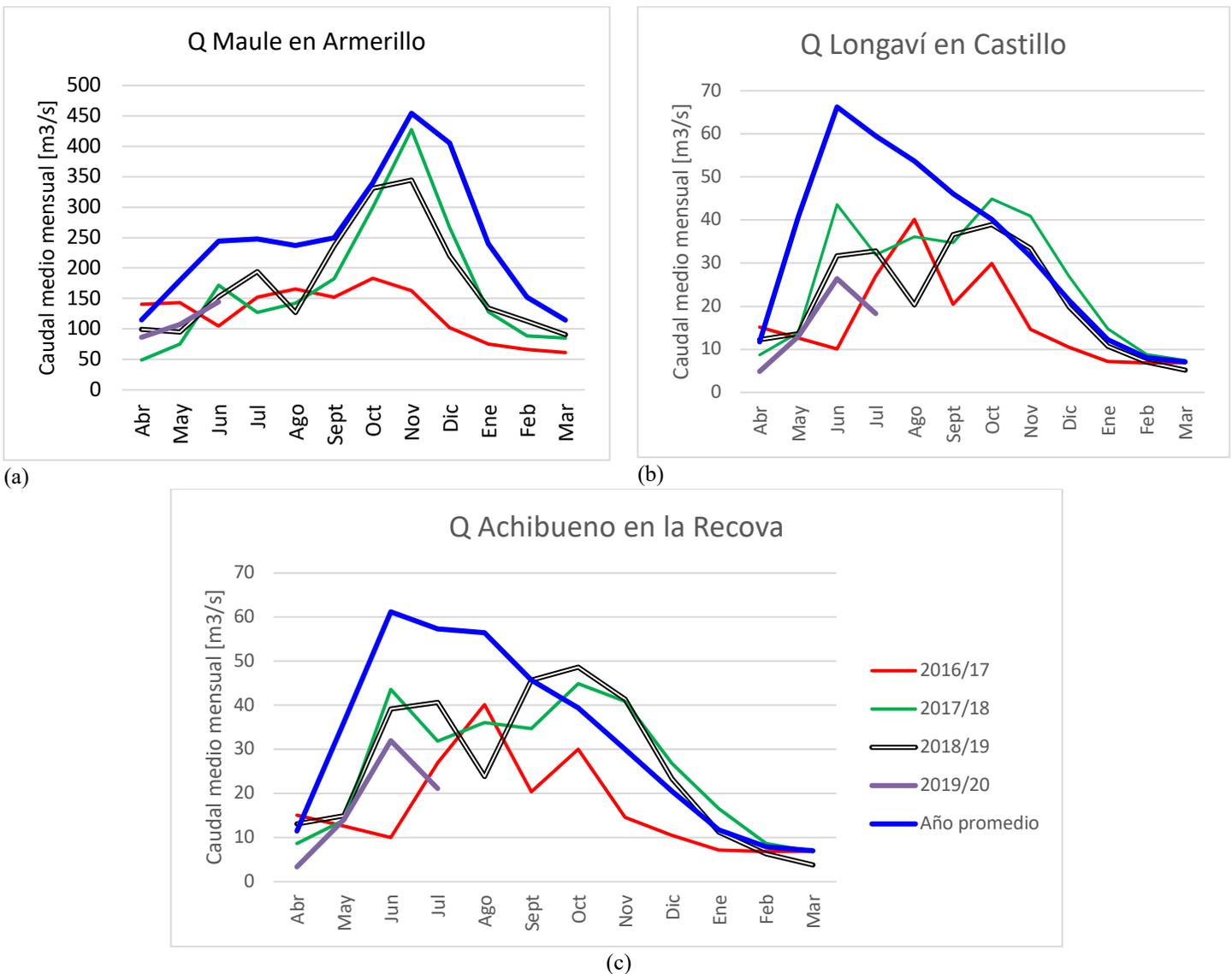


Figura 34. Caudales medios mensuales desde el año 2016 a la fecha, incluyendo el caudal medio mensual del año promedio para las cuencas a) Maule en Armerillo, b) Longaví en el Castillo y c) Achibueno en la Recova.

Teniendo en consideración que las lluvias de primavera afectaron significativamente en los caudales de las tres cuencas se analiza la precipitación acumulada en los meses de septiembre a marzo (Figura 35). Se observa que para las tres cuencas las precipitaciones de la temporada sept-mar 2018 estuvieron en el rango normal a superiores con respecto a las precipitaciones de años anteriores.

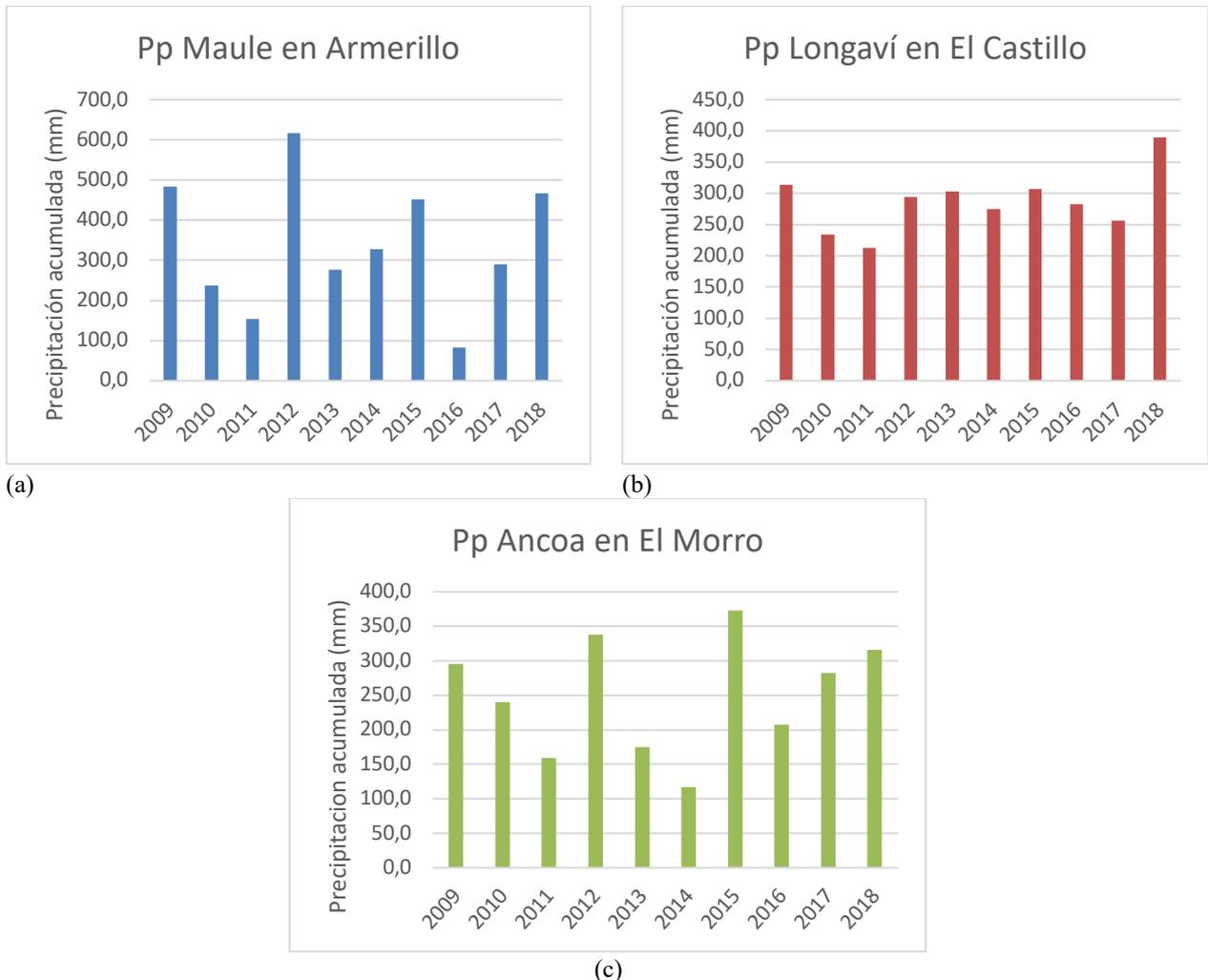


Figura 35 Precipitación acumulada para el periodo Septiembre a Marzo en las tres cuencas en estudio para los últimos 10 años para las cuencas a) Maule en Armerillo, b) Longaví en el Castillo y c) Achibueno en la Recova

10.4.2. Actualización estimación estacional de caudales de deshielos 2018-19 Dic

Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas observadas en torno a la zona de estudio son más favorables que los dos años anteriores, lo anterior se explica por los eventos de precipitación registrados desde mediados de septiembre, que explican cerca del 30% de la lluvia acumulada en el 2018. Esto puede observarse gráficamente desde la Figura 36.

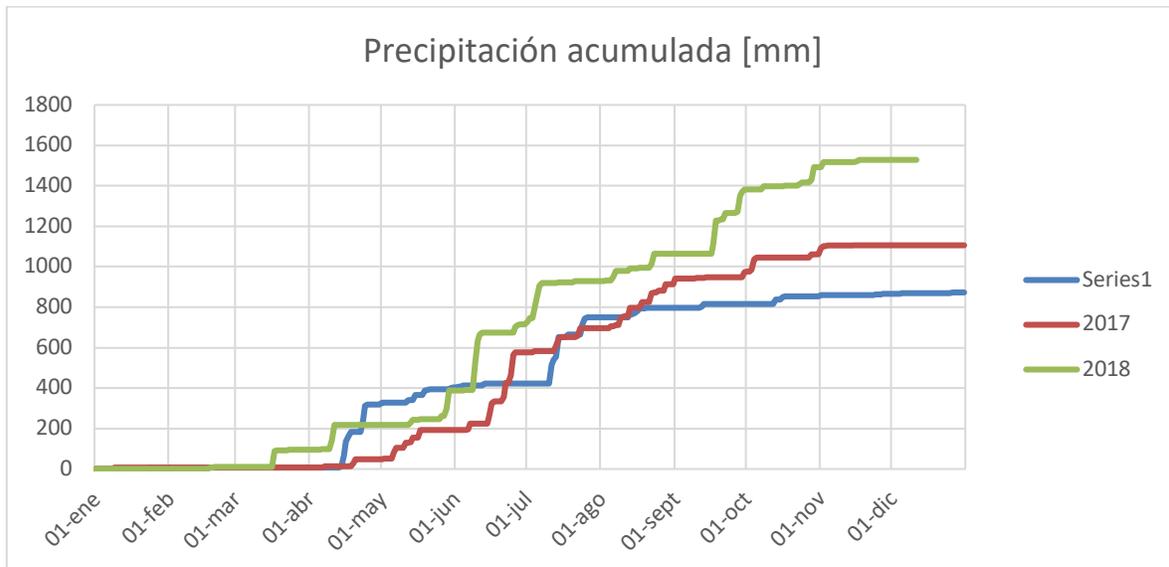


Figura 36. Precipitación acumulada en la estación Longaví en la Quiriquina para los años 2016, 2017 y 2018.

Si bien la condición de nieve máxima acumulada en la estación lo Aguirre registró 203 [mm] de equivalente en agua de nieve que el año 2017, las precipitaciones líquidas registradas mejoraron significativamente esta condición de déficit según se muestra en la Figura 37. Se destaca que no se incluyeron otras estaciones relevantes como Armerillo y Bullileo Embalse, puesto que no fue posible rescatar la información desde los servicios centrales de la DGA.

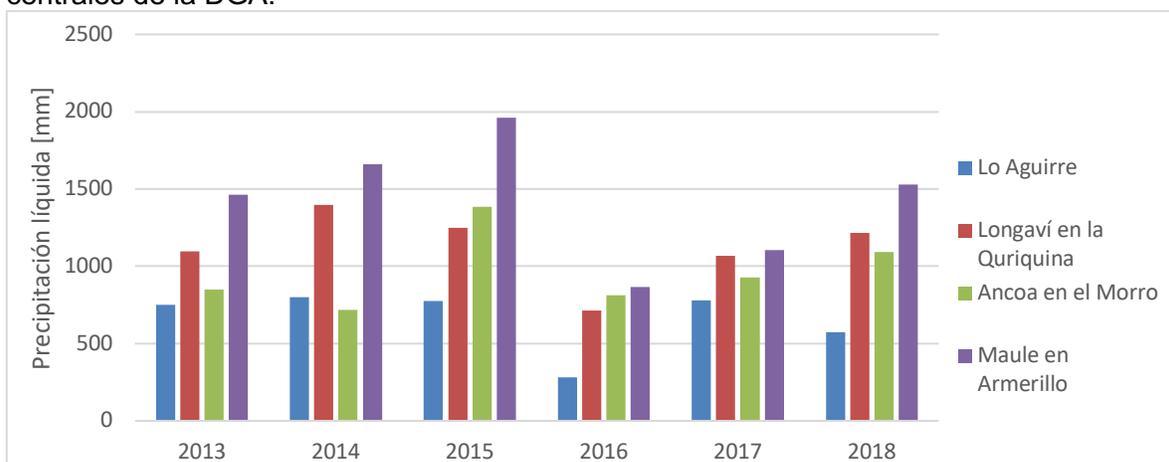


Figura 37. Precipitación anual acumulada en las estaciones Longaví en la Quiriquina, Ancoa en el Morro y Maule en Armerillo. Se muestra además la nieve máxima acumulada en la estación Lo Aguirre

Modelos de pronóstico estacionales en desarrollo

Mediante un modelo de regresión lineal múltiple se construyen relaciones entre predictores como: Caudales, precipitación acumulada en un periodo de tiempo y equivalente en agua de nieve. Debido a que la estación con registros más antiguos de nieve en el sector es Lo Aguirre (Desde 2000), solo se puede probar la metodología propuesta.

A modo de ejemplo se muestra en la Figura 38 un modelo desarrollado para Longaví en Castillo, que de haber sido empleados, con la misma cantidad de registros de hoy en día, habrían entregado errores promedio inferiores al 20%, sin embargo existen años en donde el error estuvo cercano al 90% sobre-estimado, lo que tiene fuertes impactos en la toma de decisiones.

En el caso de la cuenca del río Maule en Armerillo, se aprecia en la Figura 39, que los errores máximos alcanzados no superan el 50% y en promedio son cercanos al 2%. Del análisis realizado, es posible vislumbrar que la cuenca del río Maule parece ser más “predecible” que cuencas con régimen pluvio-nivales como las del Maule sur, sin embargo, estas últimas aumentan significativamente su predictabilidad para el periodo diciembre a marzo.

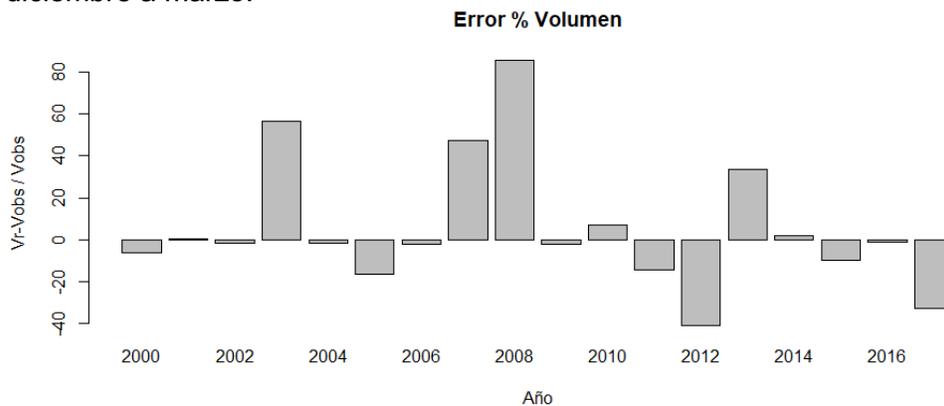


Figura 38. Porcentaje de error volumétrico para la cuenca Longaví en Castillo para un modelo de regresión lineal múltiple

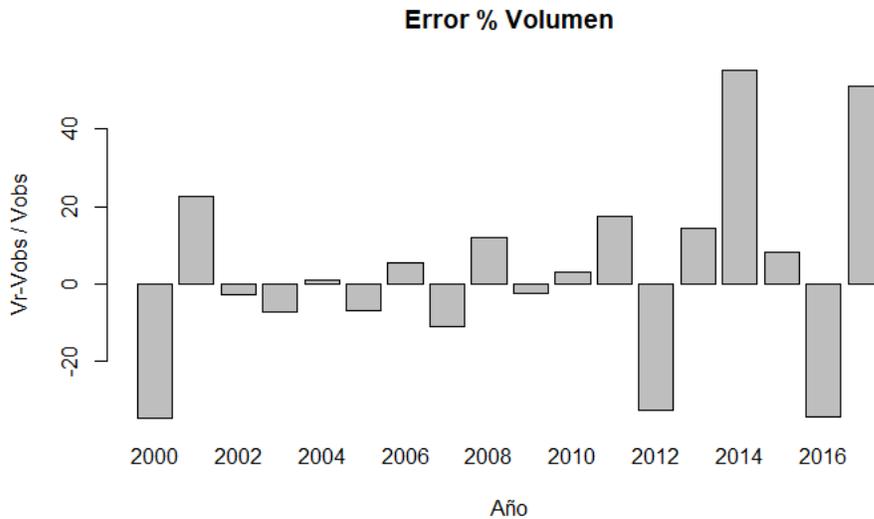


Figura 39. Porcentaje de error volumétrico para la cuenca Maule en Armerillo, reconstruida en régimen natural, para un modelo de regresión lineal múltiple.

Pronóstico hidrológico volumen de deshielo periodo diciembre 2018 -marzo 2019

Dadas las condiciones meteorológicas y de escurrimiento observados, los pronósticos esperados con la banda de error obtenida para cada método adoptado, en conjunto a la probabilidad de excedencia esperada se resumen en la Tabla 12, en donde además se aprecia una gran variabilidad entre las probabilidades de excedencia esperada. Lo anterior se debe a que los modelos aún se encuentran en desarrollo y no se ha logrado reducir lo suficiente la incertidumbre de las cuencas del Maule Sur.

Tabla 12. Pronóstico de volumen de deshielo para el periodo diciembre 2018 a marzo de 2019.

Cuenca	Volumen esperado [hm ³]	Volumen mínimo esperado [hm ³]	Volumen máximo esperado [hm ³]	Probabilidad de excedencia esperada
Maule en Armerillo	1369	932	1806	82%
Longaví en Castillo ²	110	137	82	60%
Achibueno en la Recova	118	148	88	54%

Conclusiones de la temporada

Dados los antecedentes analizados, se espera que las condiciones de diciembre a marzo correspondan a años de probabilidades de excedencia entre un 54% y un 82% para los sistemas analizados. Todas estas condiciones presentan condiciones más desfavorables que el año 2017/18, pero no tan severas como las que se proyectaban a inicios de septiembre donde se esperaba una temporada de probabilidad de excedencia 92%.

Estas condiciones de lluvias tardías, no necesariamente son reproducibles en un buen pronóstico estacional, por lo que es necesario seguir explorando otras metodologías que incluyan la modelación hidrológica de cada cuenca en estudio, actividad que está en pleno desarrollo junto con la desagregación temporal del volumen esperado.

10.4.3. Evaluación estimación estacional de caudales de deshielos 2018-19

Para el 2018 fue emitido un pronóstico a inicios de septiembre y otro a inicios de diciembre, los resultados de estos pronósticos se muestran en la Figura 40 para la cuenca Maule en Armerillo, Figura 32 para Longaví en el Castillo y Figura 42 para Achibueno en la Recova.

² Los predictores utilizados para Longaví en Castillo, al no ser una estación automática, fueron obtenidos en función de la información extraída del Datalogger y la curva de descarga provista por la DGA, de modo que no necesariamente representan las condiciones validadas por la autoridad.

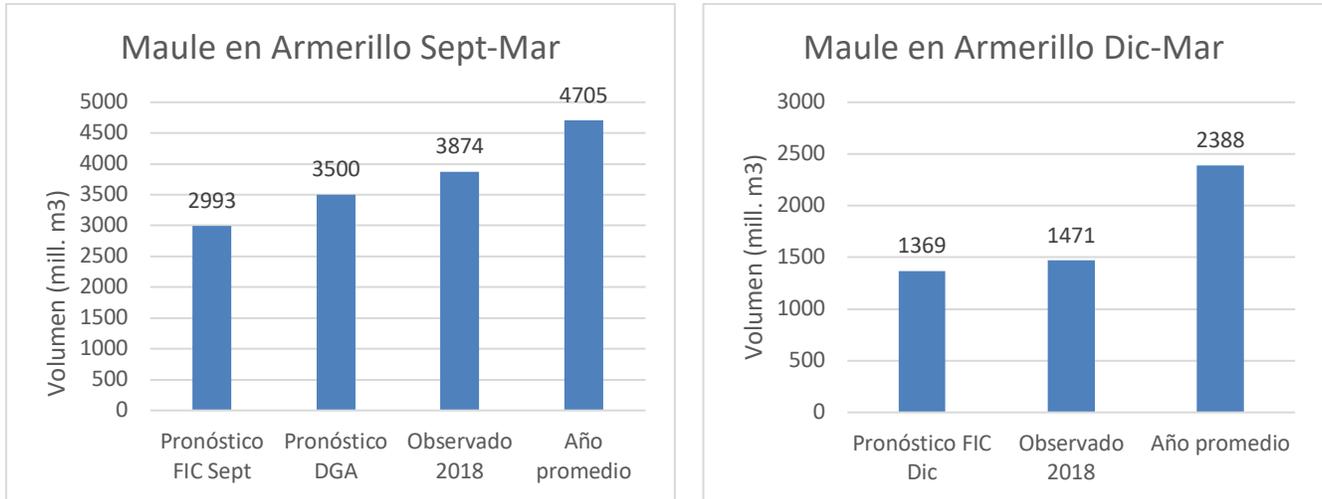


Figura 40. Comparación entre volúmenes pronosticados, observados y año promedio en la cuenca Maule en Armerillo, para septiembre (izquierda) y diciembre (derecha).

Tanto en Maule en Armerillo como en Longaví se pronosticó una temporada más seca que el promedio, lo que se cumple considerando los volúmenes observados, sin embargo, se tienen errores del orden del 20% para ambas cuencas generando una subestimación del volumen, una tarea importante para el pronóstico 2019 es disminuir dicho error de predicción.

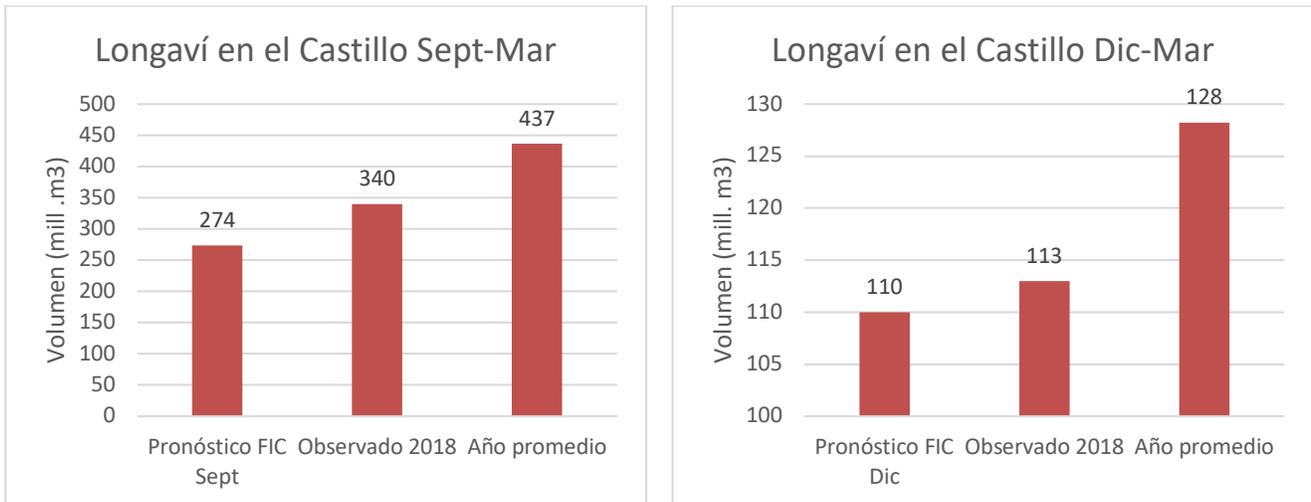


Figura 41. Comparación entre volúmenes de deshielo pronosticados, observados y año promedio en la cuenca Longaví en El Castillo, para septiembre (izquierda) y diciembre (derecha).

Achibueno en la Recova y Longaví en el Castillo son cuencas que poseen una componente pluvial relevante, por lo tanto el caudal de dichas cuencas no puede ser predicho completamente con la información de la acumulación de nieve.

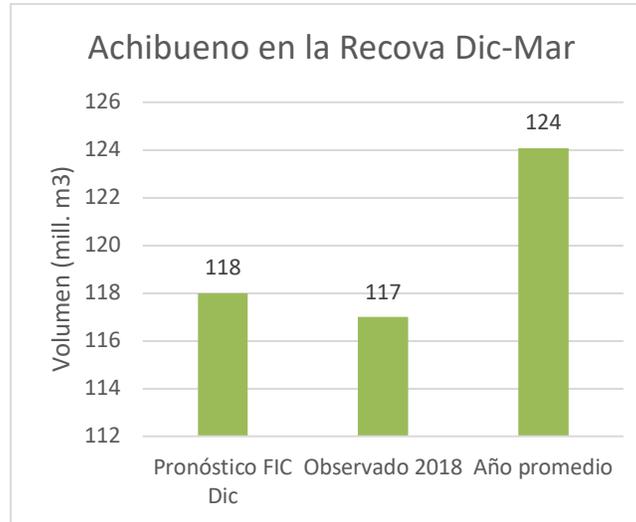


Figura 42. Comparación entre volúmenes de deshielo pronosticados, observados y año promedio para la cuenca Achibueno en la Recova, para el pronóstico emitido en Diciembre.

Para las tres cuencas en estudio se obtuvieron errores de predicción cercanos al 5% en diciembre, esto se encuentra en concordancia con las precipitaciones ocurridas durante la primavera (septiembre a noviembre).

En la Figura 43 se muestra la distribución mensual de caudales para los últimos 4 años y el año promedio. Es posible observar que para el año 2018 se tuvo un invierno con condiciones secas, mientras que durante el trimestre Sept-Oct-Nov las condiciones fueron cercanas al promedio, lo que finalmente no fue suficiente para contrarrestar el déficit de la temporada completa.

Se observa también que para Maule en Armerillo (Figura 43(a)) se tiene una curva de caudales cuya distribución no presenta variaciones tan relevantes a lo largo de los años como en el caso de las otras dos cuencas, donde el peak de caudales puede darse en distintos meses.

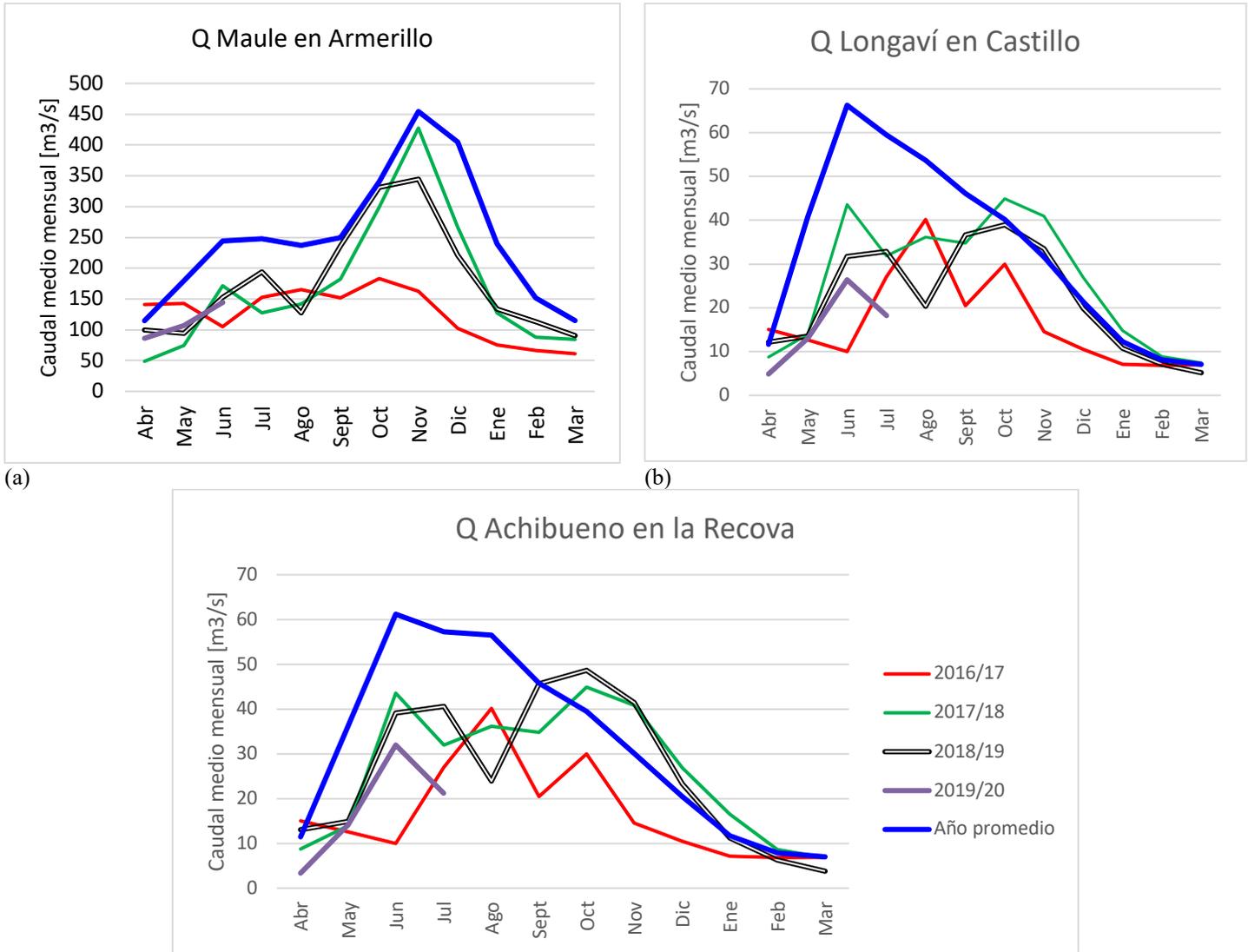
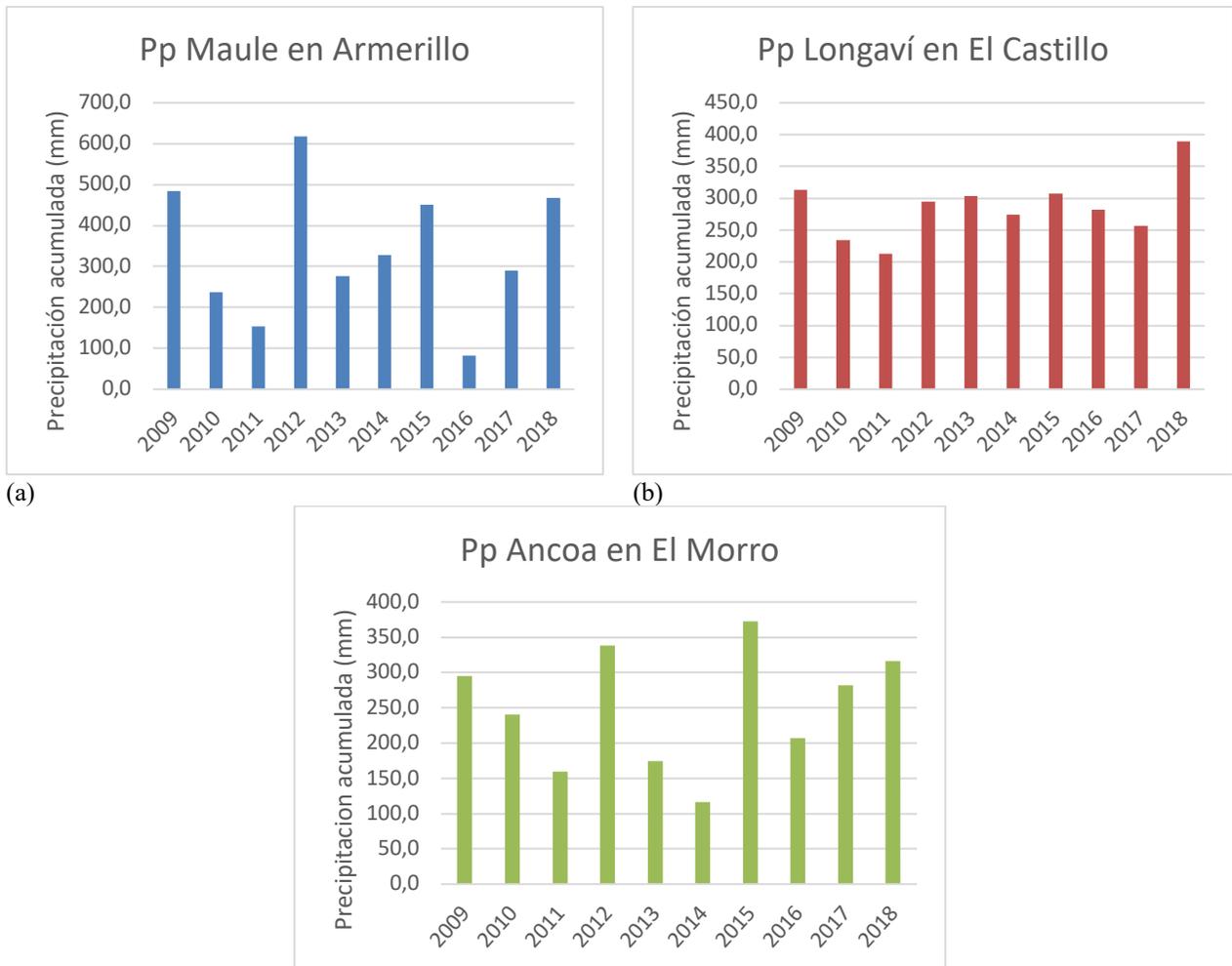


Figura 43. Caudales medios mensuales desde el año 2016 a la fecha, incluyendo el caudal medio mensual del año promedio para las cuencas a) Maule en Armerillo, b) Longaví en el Castillo y c) Achibueno en la Recova

Teniendo en consideración que las lluvias de primavera afectaron significativamente en los caudales de las tres cuencas se analiza la precipitación acumulada en los meses de septiembre a marzo (Figura 44). Se observa que para las tres cuencas las precipitaciones de la temporada sept-mar 2018 estuvieron en el rango normal a superiores con respecto a las precipitaciones de años anteriores.



(c) **Figura 44. Precipitación acumulada para el periodo Septiembre a Marzo en las tres cuencas en estudio para los últimos 10 años para las cuencas a) Maule en Armerillo, b) Longaví en el Castillo y c) Achibueno en la Recova**

10.4.4. Pronóstico de volumen y caudales de deshielos 2019-20

A continuación, se explica las condiciones meteorológicas actuales, la metodología utilizada para el pronóstico hidrológico del volumen estacional 2019/2020 y los caudales medios mensuales de las cuencas Achibueno en la Recova, Ancoa en el Morro, Longaví en Castillo, Maule en Armerillo y Melado en el Salto. La estimación de los volúmenes se realizó con un método estadístico de regresión por mínimos cuadrados parciales basado en los caudales mensuales medidos, el área cubierta de nieve de imágenes satelitales, el equivalente de agua nieves de la estación Lo Aguirre y las precipitaciones de estaciones DGA considerando el periodo desde el 1 de abril del 2001 al 31 de marzo 2020. Mientras que el pronóstico de los caudales medios mensuales se realizó considerando los años vecinos más cercanos (kNN) relacionados a las condiciones meteorológicas e hidrológicas observadas en años anteriores.

Condiciones meteorológicas año hidrológico 2019/2020

Las precipitaciones acumuladas durante el año hidrológico 2019/2020 presentaron probabilidad de excedencia de entre el 90 % y 95% para las estaciones Linares y Armerillo, respectivamente. Se observó una reducción de precipitación cercana al 25 % comparada al año 2018/2019, pero alrededor de un 10% superiores al año 2016/2017 que, en términos de precipitación, corresponde al año más seco de las últimas dos décadas (Figura 45, Figura 46). El patrón de acumulación de las precipitaciones fue similar al año 2018/2019 hasta fines de julio 2019, sin embargo, después de ese mes y especialmente en septiembre, no se presentaron lluvias importantes. La estación Ancoa en el Morro es la única donde la precipitación registrada fue inferior al año 2016/2017, pero superó al año 2014/2015 (Figura 47). Es importante destacar que la precipitación líquida es la principal fuente de agua de los caudales en las cuencas del río Ancoa, río Achibueno y río Longaví que presentan régimen de caudales medios mensuales pluvio-nival, donde los caudales máximos se logran normalmente en los meses de invierno. Mientras que el río Maule y río Melado presentan un régimen nivo-pluvial, donde la nieve acumulada en el invierno, se derrite en la primavera y verano, lo que contribuye al caudal de los meses más secos.

La nieve máxima acumulada en la estación Lo Aguirre durante 2019 fue de 513 mm, siendo un 6 % inferior al año 2018/2019 y un 80 % superior al año 2016/2017 (Figura 48). Mientras que en la estación Los Cóndores la máxima acumulación fue de 1007 mm durante el mes junio, que significa un 65% menos respecto al año 2018/2019 y sólo 10 mm más que el año 2016/2017 (Figura 49). La temperatura media en la estación Armerillo fluctuó entorno al promedio (2012-2018) entre los meses de abril y octubre, pero superó por cerca de +1°C al promedio en los meses de noviembre y diciembre (Figura 50), lo que catalizó el derretimiento de la poca nieve restante.

El área cubierta de nieve, derivada de imágenes satelitales MODIS (Figura 50; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), revela que el 55% de la zona de estudio se encontraba nevada durante el mes de julio 2019, que hasta ese momento indicaba un escenario similar al invierno previo y al promedio 2001/2018. La región se mantuvo con más nieve durante el año 2018/2019 principalmente producto de las precipitaciones en los meses de septiembre y octubre 2018 que favorecieron la retención de la nieve acumulada hasta fines de diciembre. Mientras que en el periodo 2019/2020, por la falta de precipitación y aumento de temperatura en primavera la cobertura de nieve se atenuó rápidamente hasta acabarse a fines de noviembre 2019.

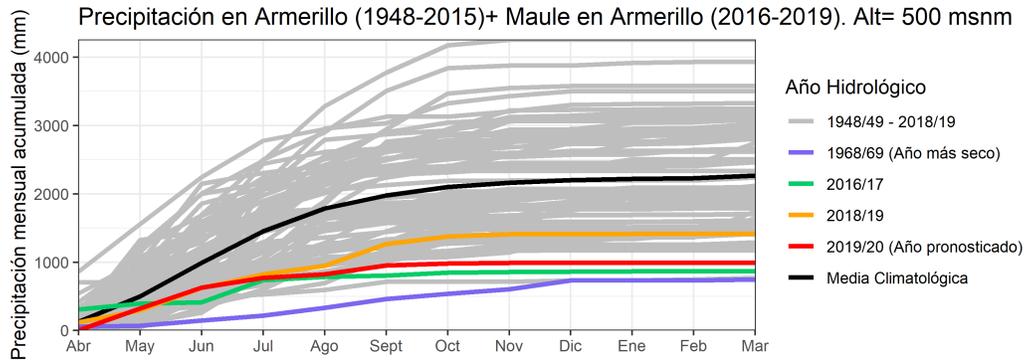


Figura 45. Precipitación mensual acumulada en la estación Armerillo. Fuente: DGA

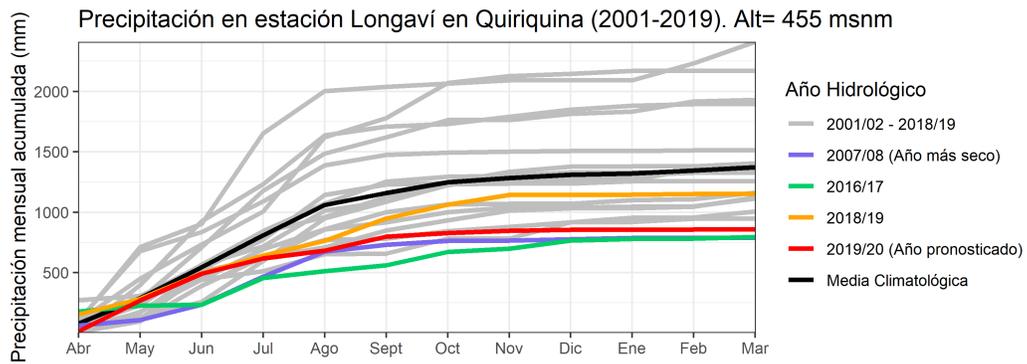


Figura 46. Precipitación mensual acumulada en la Longaví en Quiriquina. Fuente: DGA

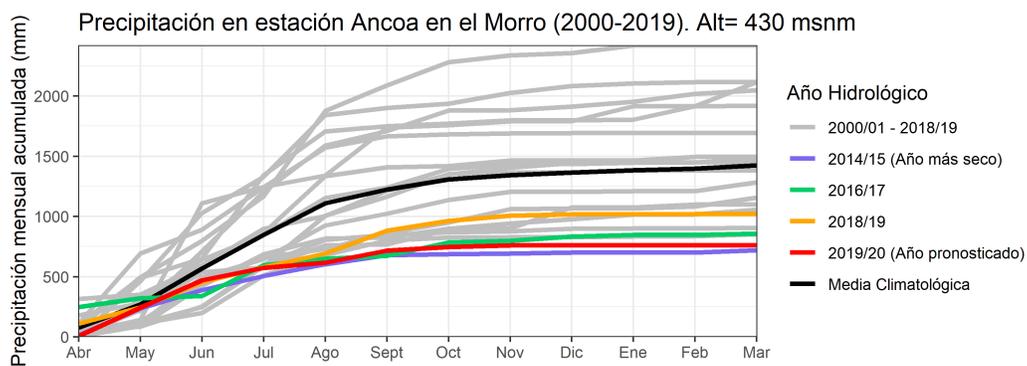


Figura 47. Precipitación mensual acumulada en la estación Ancoa en el Morro. Fuente: DGA

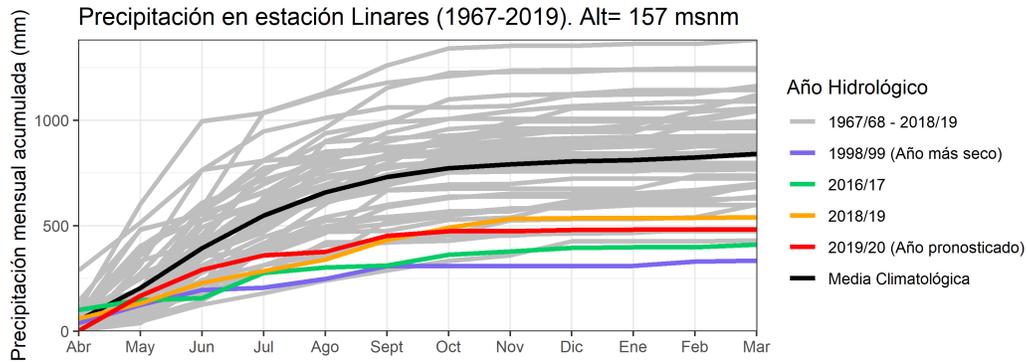


Figura 48. Precipitación mensual acumulada en la estación Linares. Fuente: DGA

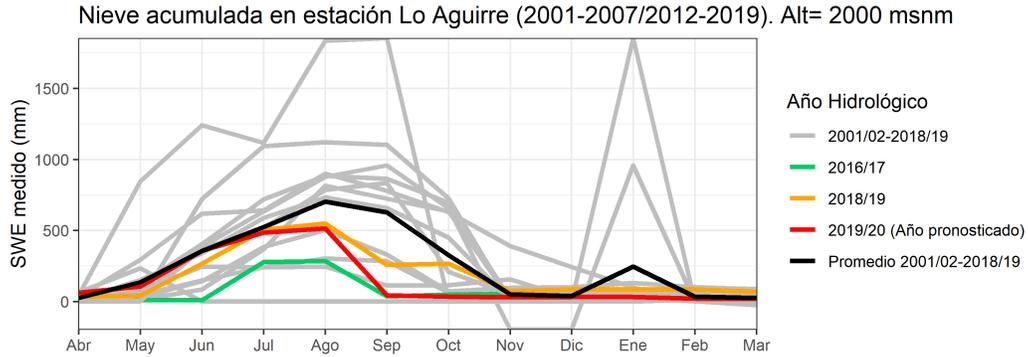


Figura 49. Nieve acumulada en la estación Lo Aguirre. Fuente: DGA

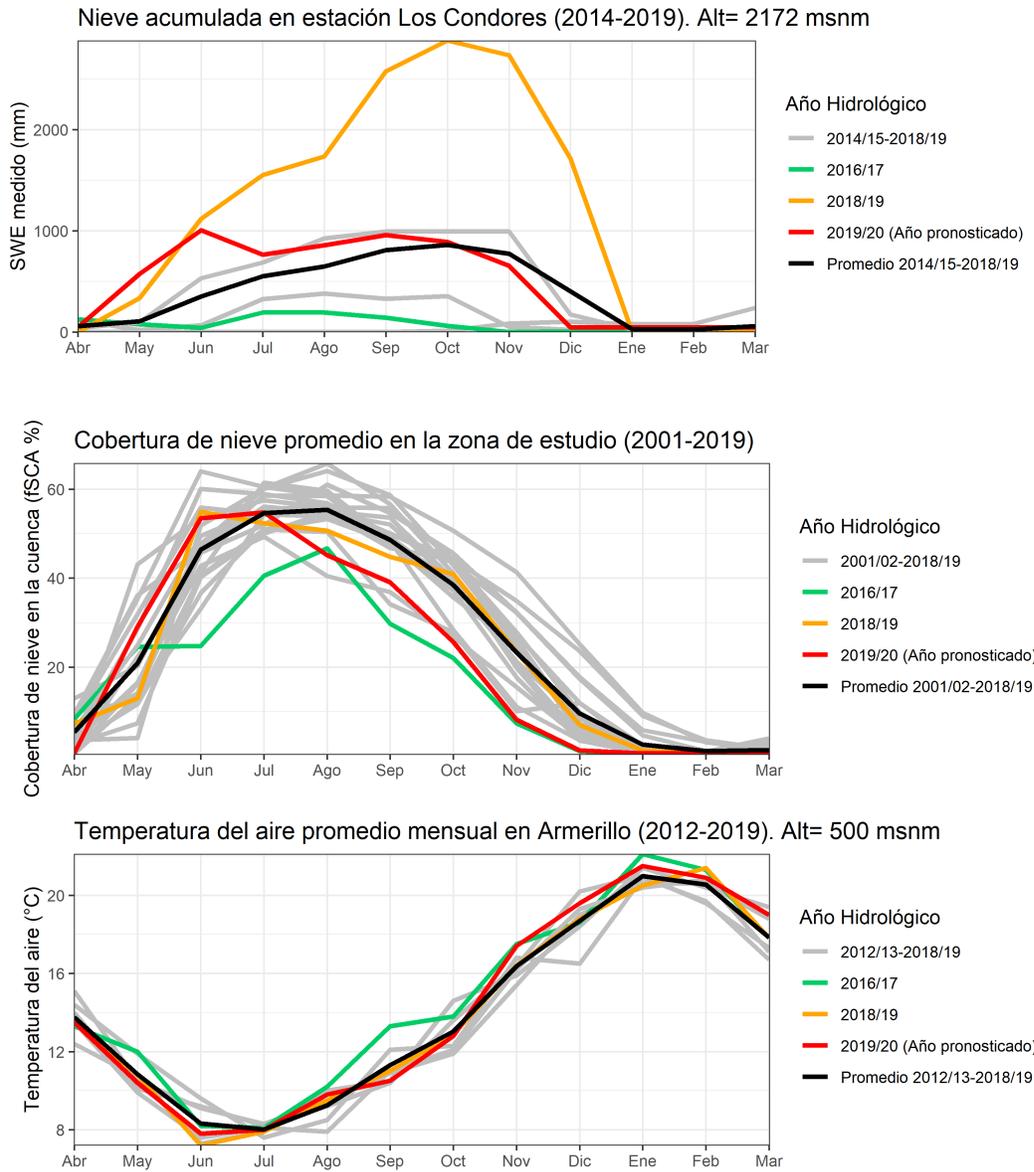


Figura 50. Nieve acumulada, cobertura de nieve y temperatura del aire.

Modelos de pronóstico de volúmenes estacionales

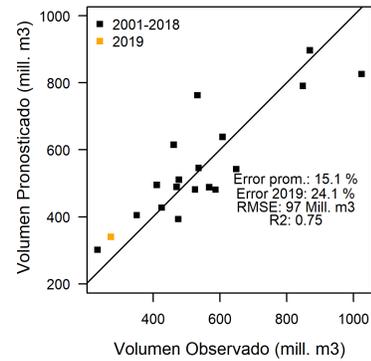
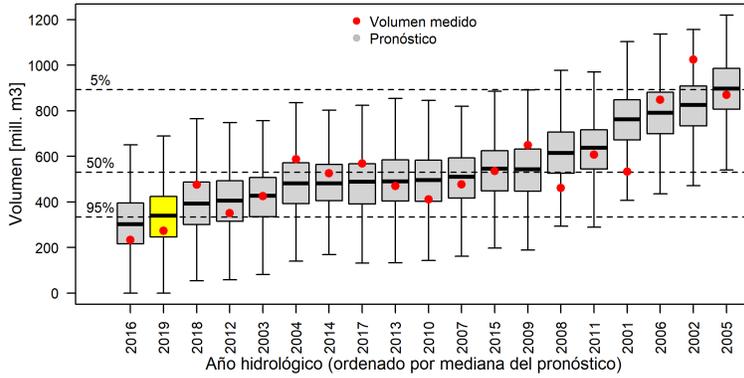
La metodología para estimar los volúmenes entre septiembre y marzo es una Regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR). Los predictores utilizados son: caudales medios mensuales de los meses previos comenzando desde abril, precipitación acumulada mensualmente desde abril, equivalente en agua de nieve máximo medido en la estación Lo Aguirre y la fracción del área cubierta por nieve promedio mensual de imágenes satelitales MODIS. El periodo utilizado para alimentar el modelo estadístico del año hidrológico 2019/20 es desde el 01 de abril del 2001 al 31 de marzo del 2019. Este periodo está limitado por la disponibilidad de datos de nieve, tanto de la estación Lo Aguirre como de las imágenes satelitales utilizadas.

Pronóstico hidrológico volumen de deshielo temporada 2019/2020

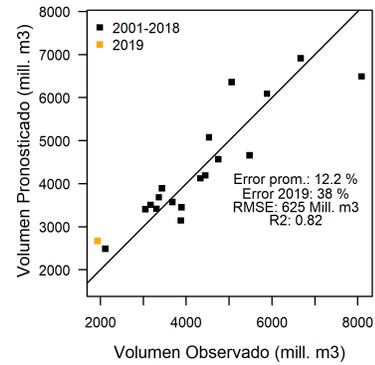
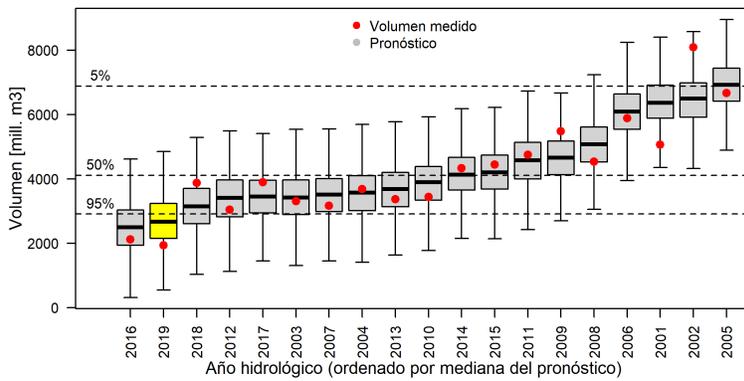
El primer pronóstico de volúmenes fue emitido a finales de agosto 2019 para el periodo septiembre 2019 a marzo 2020 (Figura 51a). Las estimaciones en base a las condiciones meteorológicas observadas, pronosticaban un volumen cercano al 90% de probabilidad de excedencia para Achibueno y Maule, esperándose solo ser superado por el año 2016/17. Por otro lado, en la cuenca del río Longaví se esperaba un volumen entorno al 85% de probabilidad de excedencia, siendo el cuarto año más seco en el periodo 2001 a 2019.

Con la información hasta agosto 2019, este pronóstico preveía un volumen entre 32% y 40% menos que el promedio 2001-2018, exceptuando el río Longaví donde se anticipaba 10% menos. Finalmente, los volúmenes de la temporada fueron entre 56% y 40% inferiores al promedio en todas las cuencas. Esto se explica principalmente a que la cantidad de precipitación y acumulación de nieve (Lo Aguirre) hasta la emisión del pronóstico era concordantes con el volumen esperado. Es decir, la cantidad de agua que entró en la cuenca en el periodo abril-agosto era superior al año más seco e inferior al promedio. Sin embargo, las condiciones meteorológicas entre octubre 2019 y marzo 2020, fueron desfavorable para la acumulación del agua en la cuenca tanto de nieve como lluvia, por ejemplo, se observó una mayor temperatura y nula precipitación respecto a los años 2001 y 2018, lo que influencia en una mayor evaporación y sublimación del manto nival, procesos que no están explícitamente considerados en la modelación estadística realizada.

Río Achibueno en la Recova Pronóstico periodo: Sep-Mar



Río Maule en Armerillo Pronóstico periodo: Sep-Mar



Río Longaví en el Castillo Pronóstico periodo: Sep-Mar

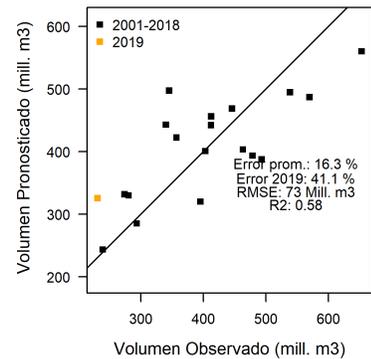
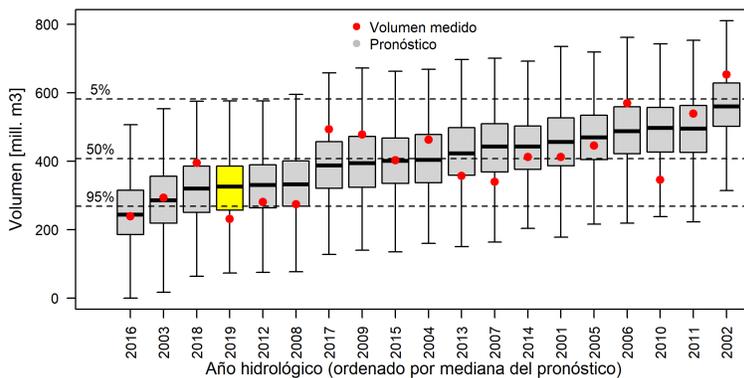


Figura 51. Pronósticos de volumen entre septiembre y marzo para los años hidrológicos 2001 a 2019.

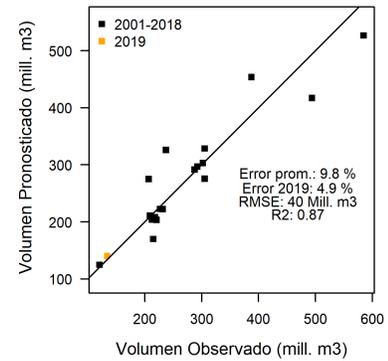
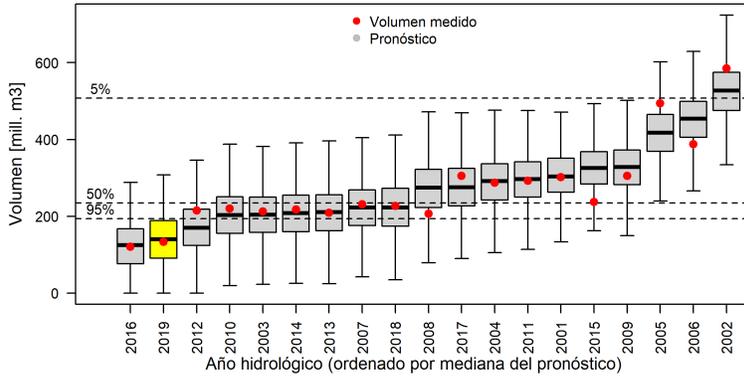
El segundo pronóstico del periodo noviembre 2019 a marzo 2020 fue emitido a principios de noviembre considerando la información desde abril a octubre 2019, donde ya se apreciaba una diferencia significativa de precipitación y nieve respecto a las dos décadas previas (Figura 45 a Figura 49).

La mediana del pronóstico avvicinaba que el periodo 2019/20 sería el penúltimo más seco entre 2001 y 2018, sólo sobrepasando al periodo 2016/17 en las cuencas de Achibueno y Maule. Sin embargo, el cambio más evidente, respecto al pronóstico de agosto, ocurrió en Longaví donde se pronosticó que el volumen de hielo restante sería el más seco de la serie (Figura 52Figura 52).

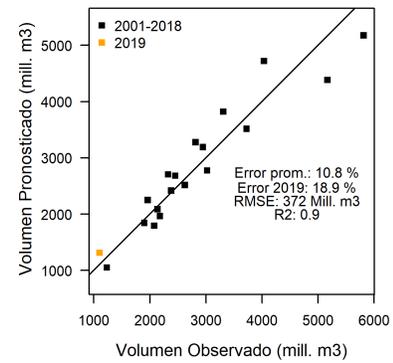
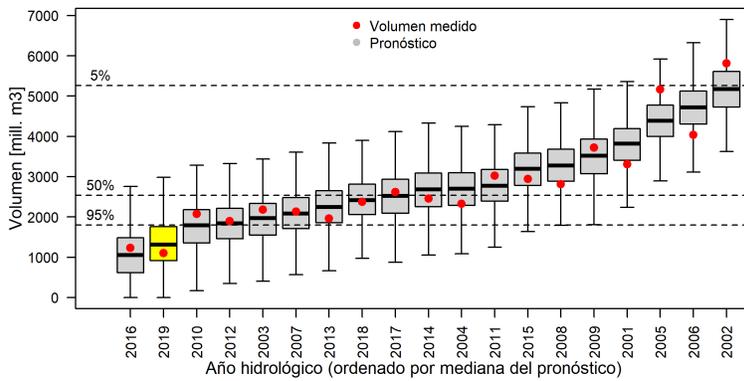
La mediana de este pronóstico muestra una subestimación respecto a lo observado de 19% y 5% en las cuencas de río Maule y río Achibueno, respectivamente. Mientras que en el río Longaví se apreció una diferencia del 18%. Cabe notar que los volúmenes medidos se ubican en el rango de incertidumbre estimado en el modelo PLSR a partir del error.

Se puede apreciar que, con la actualización mensual, los errores del promedio del periodo de entrenamiento (2001-2018) disminuyen y las correlaciones R^2 aumentan para el periodo noviembre a marzo. Como se aprecia en laFigura 51Figura 52, los pronósticos suelen tener una mayor precisión en años promedio, pero es esperable que el error aumente en los años más extremos, es decir, años condiciones más secas o húmedas. Además, es importante destacar que la cantidad de años considerados para el entrenamiento del modelo de regresión (18 años), pueden ser estadísticamente insuficientes para abarcar una amplia gama de condiciones climáticas y así obtener una estimación más precisa y con menores errores. Por lo que un desafío para los siguientes pronósticos es aumentar la cantidad de años de entrenamiento para obtener una estimación más robusta.

Río Achibueno en la Recova Pronóstico periodo: Nov-Mar



Río Maule en Armerillo Pronóstico periodo: Nov-Mar



Río Longaví en el Castillo Pronóstico periodo: Nov-Mar

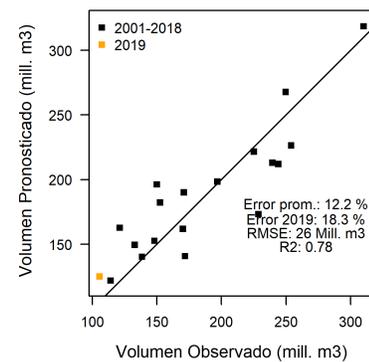
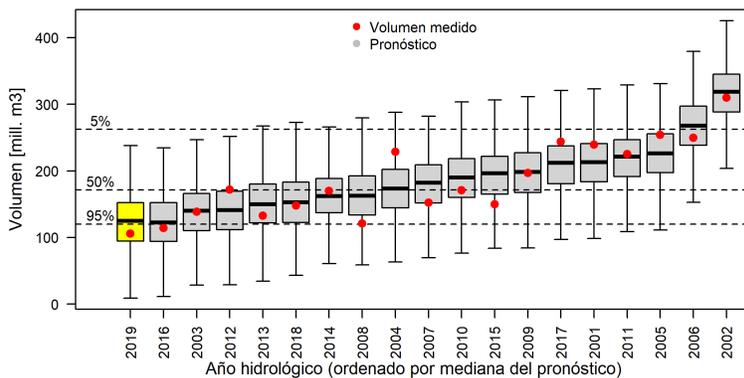


Figura 52. Pronósticos de volumen entre noviembre y marzo para los años hidrológicos 2001 a 2019.

Pronóstico de caudales medios mensuales septiembre 2019 - marzo 2020

Para estimar los caudales medios mensuales se utilizó la metodología de “vecinos más cercanos” (KNN). Donde se seleccionan los cuatro años con las condiciones hidrológicas y meteorológicas más similares al año objetivo, considerando los caudales medios mensuales desde abril a octubre, la precipitación acumulada de abril a octubre, el equivalente en agua de nieve y el porcentaje del área cubierta por nieve.

Esta metodología propone que el volumen se distribuye con la forma de las curvas de variación estacional que los años más similares. Sin embargo, la magnitud del caudal es diferente y dependerá del volumen pronosticado. Como el resultado de los volúmenes pronosticados corresponde a un conjunto de soluciones posibles (ensembles), entonces los caudales presentan un rango de soluciones asociado a la incertidumbre (mínimo, máximo y mediana).

Para estimar el caudal de las cuencas sin control fluviométrico se utilizó el método de trasposición por área. Para Melado en el Salto se utilizó el caudal de Maule en Armerillo, y para Ancoa en el Morro se ocupó el caudal del Achibueno en la Recova (Figura 53).

Los caudales medios mensuales son derivados de la estimación de volúmenes, por lo tanto, acarrear las principales tendencias de sobrestimación o subestimación. Como se observa en el diagnóstico del pronóstico para los años anteriores (Figura 54 a Figura 56), el error absoluto mensual esperado es alrededor del 20% (versus 10% en el volumen).

Al igual que el pronóstico de volúmenes, la primera versión emitida en agosto, preveía mayores caudales que los observados para el periodo septiembre-marzo (Figura 53, panel izquierdo). El caudal medido rondó los mínimos caudales pronosticados en la banda de incertidumbre y presentó una variación estacional similar al año 2016/17 para todas las cuencas. Similarmente, el pronóstico de la DGA y el pronóstico FIC proyectaron un aumento significativo de los caudales hacia el trimestre sep-oct-nov y lo que suele suceder en un año normal en las cuencas nivo-pluviales, especialmente para la cuenca del río Maule y Melado, lo que no sucedió el 2019, debido a la poca acumulación nival.

La actualización del pronóstico para el periodo noviembre-marzo muestra una mayor congruencia con las mediciones (Figura 53, panel derecho). En las cuencas pluvio-nivales del río Ancoa, río Longaví y río Achibueno se presentó un noviembre más caudaloso que la mediana del pronóstico con un error de 22.2%, 16.0% y 22.2%, respectivamente. Los meses de diciembre, enero, febrero y marzo tuvieron una diferencia entre -8% y +35% respecto de la mediana.

En las cuencas con régimen nivo-pluvial del río Maule y Melado se subestimó el caudal medio mensual de noviembre por sólo 3.5% respecto a la mediana de pronóstico. Sin embargo, los meses siguientes estuvieron cerca del caudal mínimo pronosticado, donde se subestimó entorno al 35% respecto a la mediana. Es necesario destacar que los caudales observados se encuentran en el rango de incertidumbre pronosticado, por lo que es necesario considerar todo el rango al tomar decisiones de operación y no únicamente funcionar en base a la mediana.

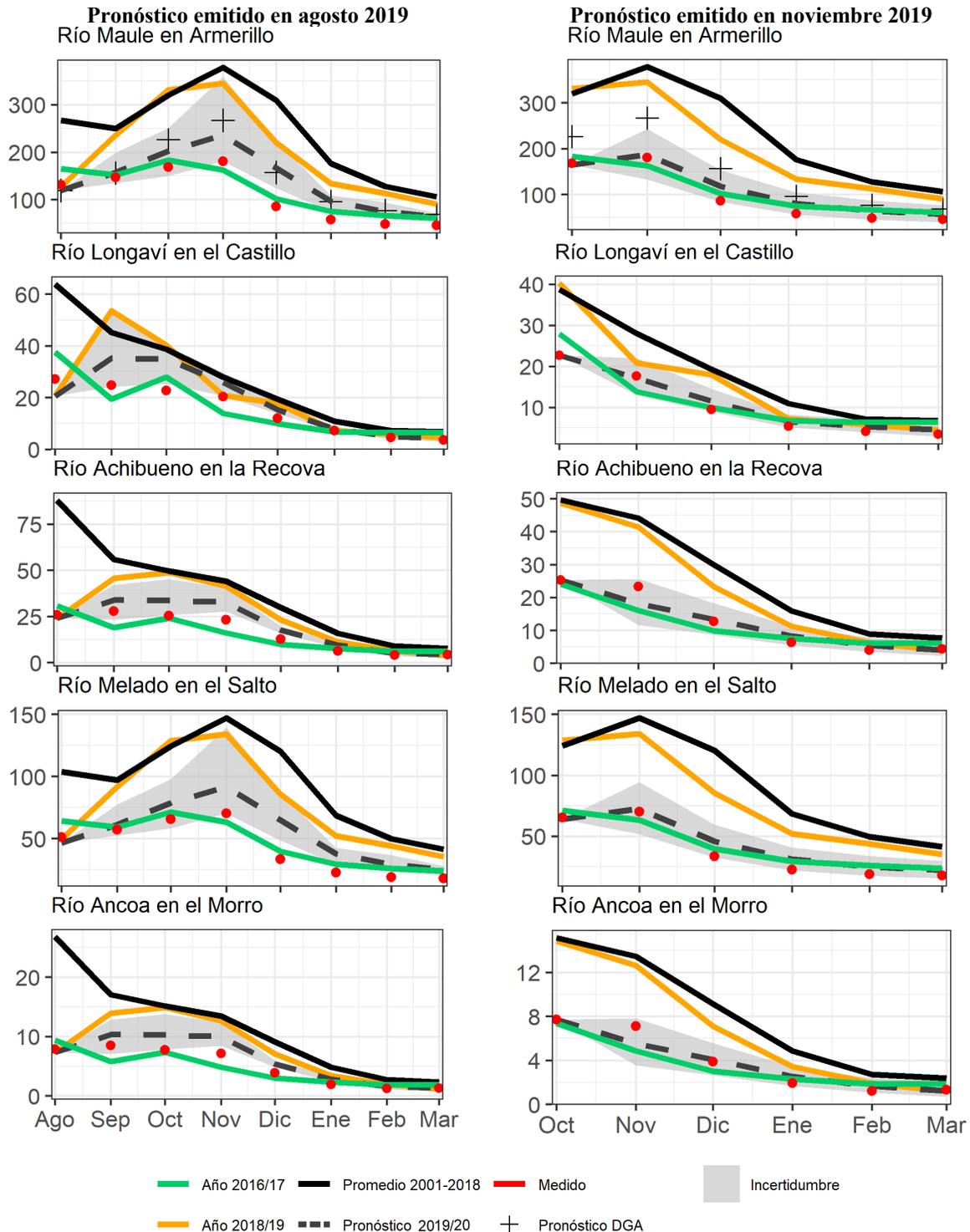


Figura 53. Caudales medios mensuales pronosticados en metros cúbicos por segundo para el periodo septiembre 2019 - marzo 2020 (panel izquierdo) y para el periodo noviembre 2019 - marzo 2020 (panel derecho).

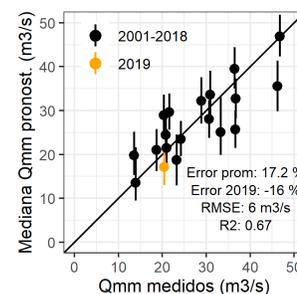
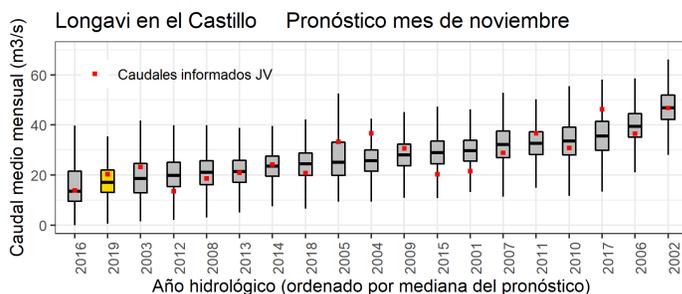
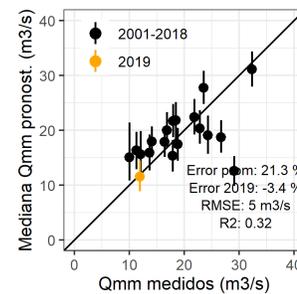
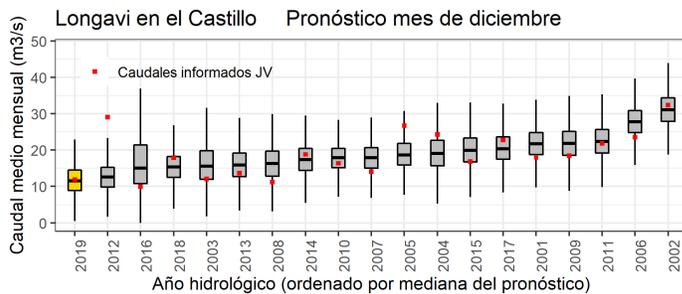
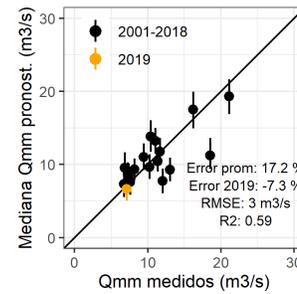
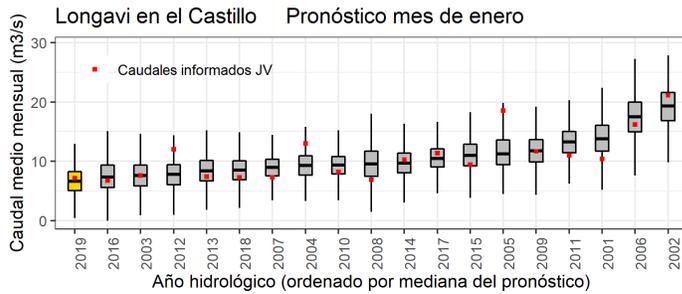
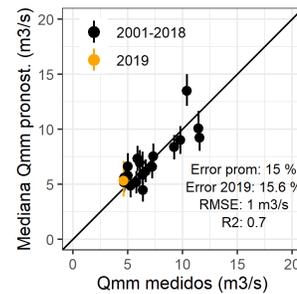
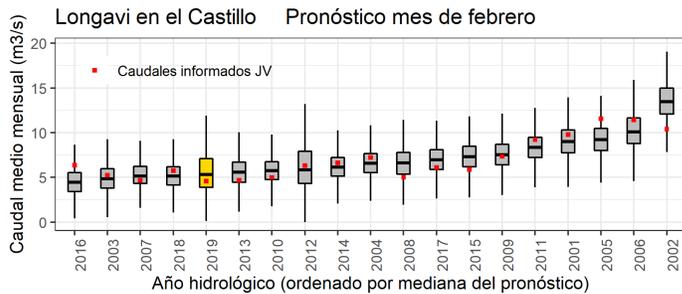
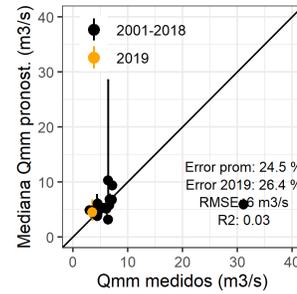
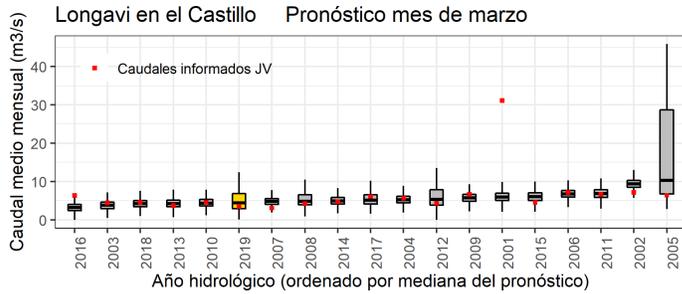


Figura 54. Pronóstico de los caudales medios mensuales para el periodo 2001-2019 del río Longavi

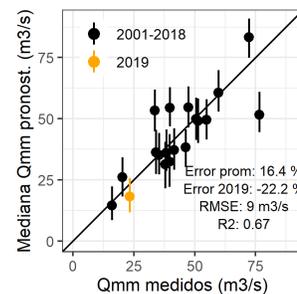
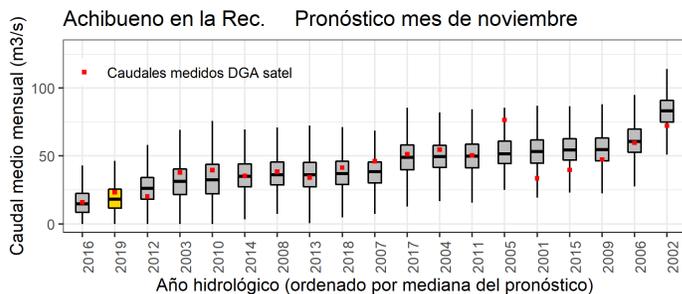
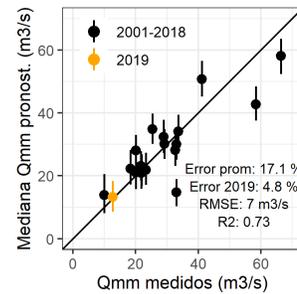
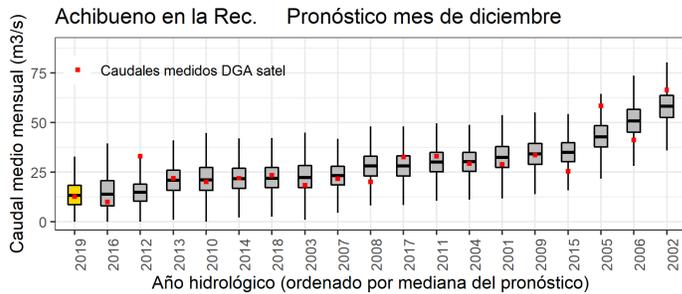
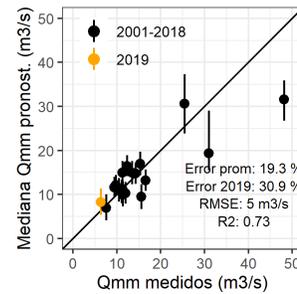
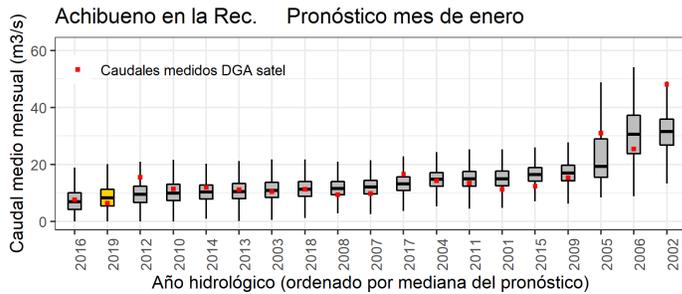
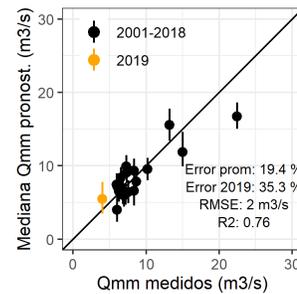
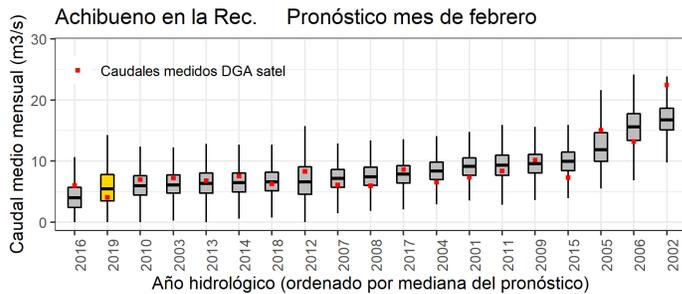
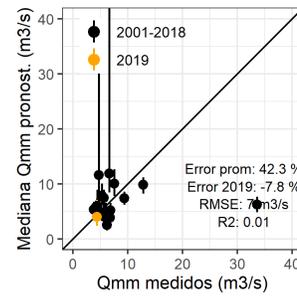
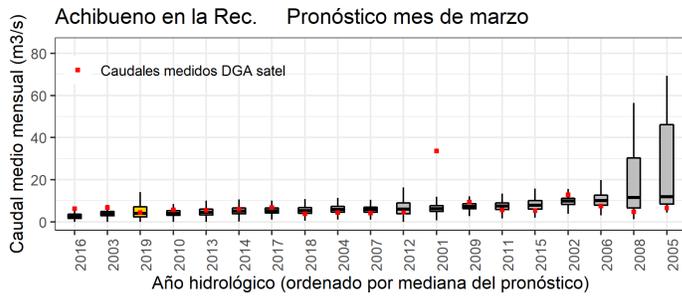


Figura 55. Pronóstico de los caudales medios mensuales para el periodo 2001-2019 del río Achibueno

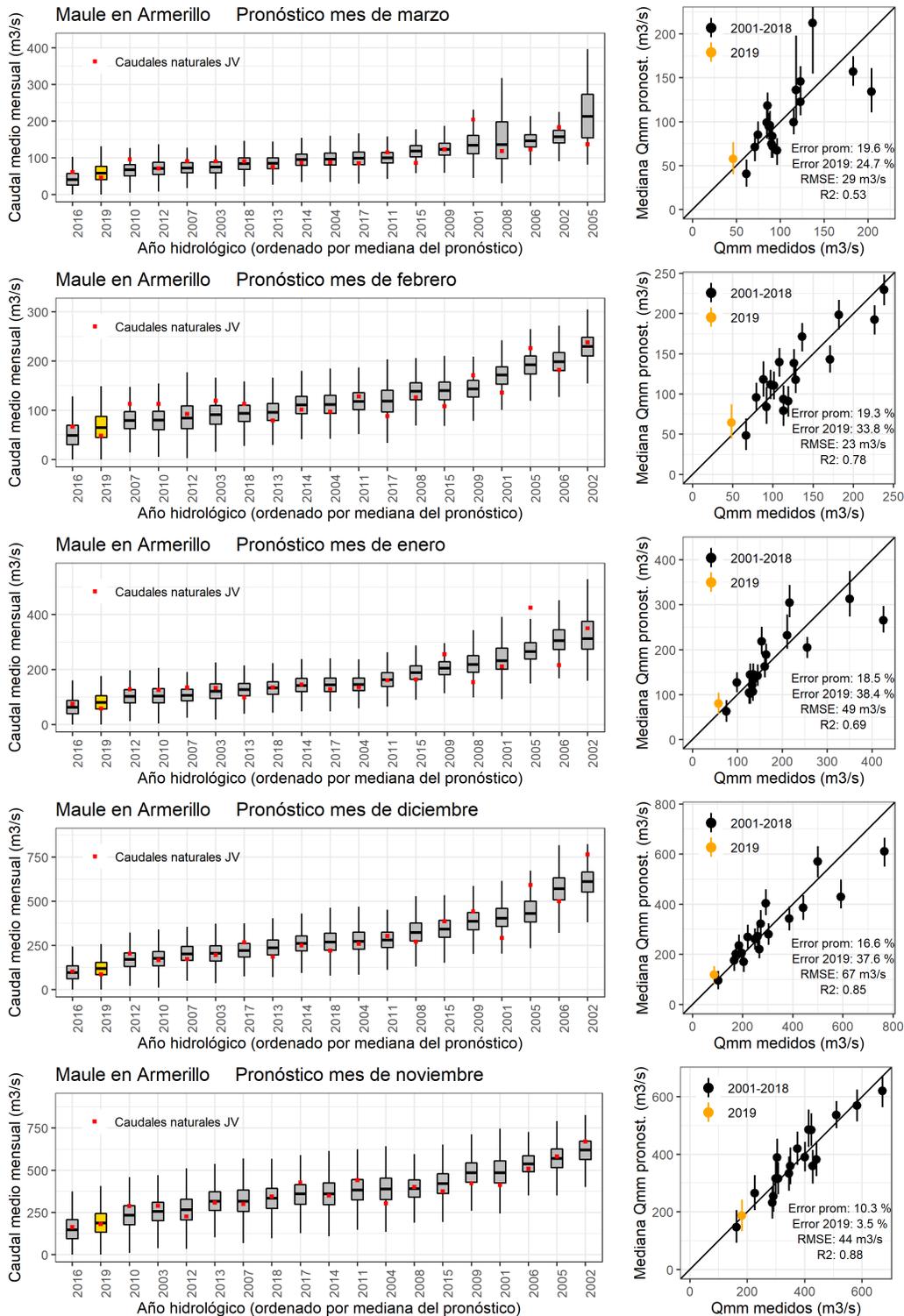


Figura 56. Pronóstico de los caudales medios mensuales para el periodo 2001-2019 del río Maule.

10.4.7. Avances para el periodo 2020/21

Desde el 2020 se ha avanzado en la extensión de más años en el periodo de entrenamiento de los volúmenes estacionales, pasando desde el periodo 2001-2019 al periodo 1988-2019 (Figura 58). Esto se ha logrado a partir de la utilización de productos meteorológicos de re-análisis grillados utilizados para estimar la precipitación acumulada diariamente y la temperatura media en todas las cuencas. Esto ha permitido la independencia de mediciones en estaciones meteorológicas, generalmente ubicadas en las zonas más bajas de la cuenca. Por lo otro lado, se ha aumentado la frecuencia de emisión de los pronósticos para presentarlos mensualmente a los usuarios, de ese modo, los cambios en las condiciones meteorológicas alteran las estimaciones mes a mes.

Por otro lado, se ha agregado a la estadística los volúmenes del río Melado, que previamente eran estimados a partir del caudal del río Maule en Armerillo. Sin embargo, todavía se está trabajando en la incorporación de la cuenca del río Ancoa debido a que solo cuenta con 12 años de registro, lo cual es insuficiente para presentar un pronóstico estadísticamente significativo. Por otro lado, se ha incluido a la cuenca del río Lontué como un usuario de interés para la estimación de los caudales en la junta del río Colorado y río Palos.

Como se muestra en el ejemplo de la Figura 58, para la cuenca del río Achibueno los pronósticos del volumen de deshielo han ido actualizándose, pasando desde un año con 50% probabilidad de excedencia para el periodo octubre a marzo a un año mucho más seco. Lo que también se refleja en una sobrestimación inicial del caudal medio mensual de octubre (Figura 57), que fue significativamente mejorada con las actualizaciones de los meses siguientes.

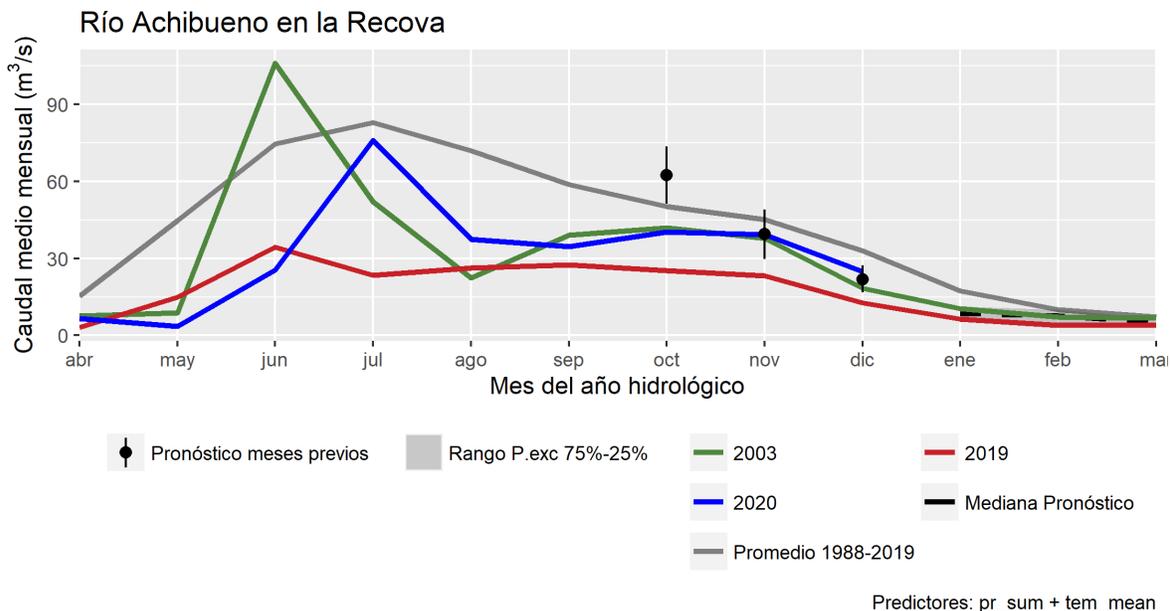


Figura 57. Pronóstico de los caudales medios mensuales del río Achibueno en la Recova.

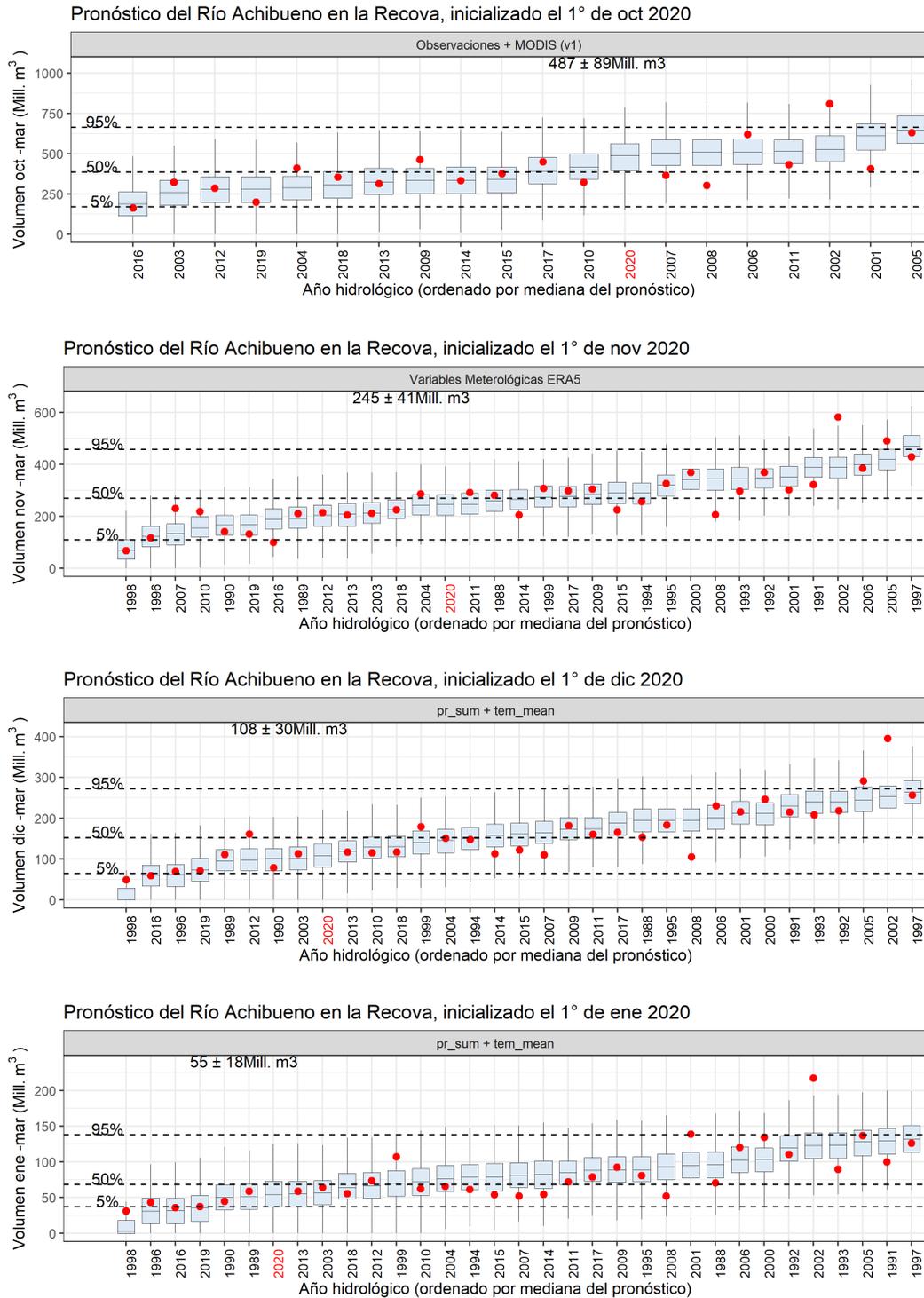


Figura 58. Pronósticos para el año 2020/21 en la cuenca Achibueno en la Recova, actualizados mensualmente.

Conclusiones y situación actual

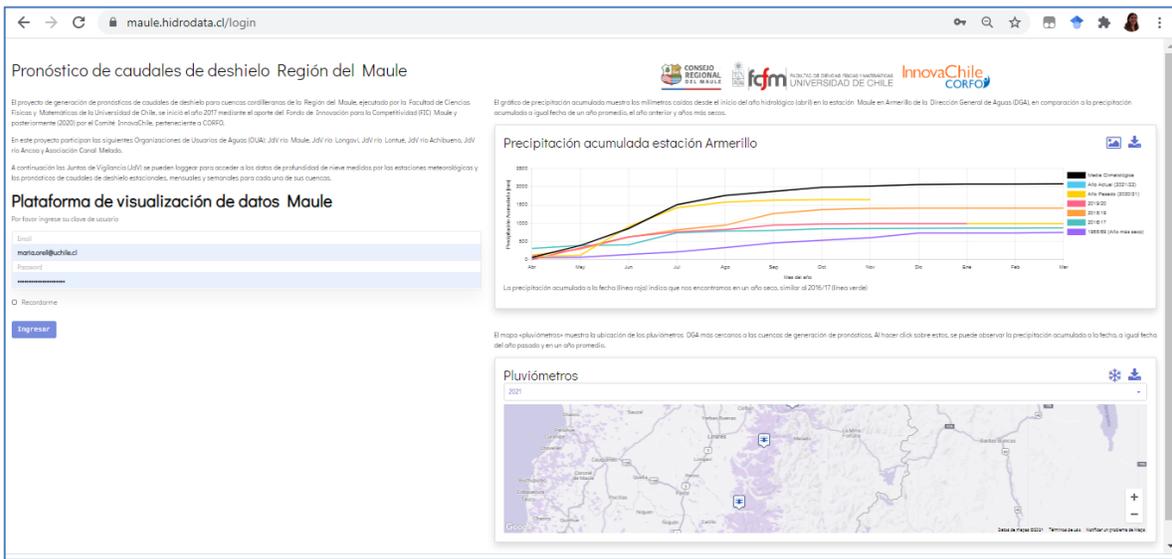
Como conclusión general del proyecto, es posible mencionar los siguientes aspectos.

1. Instrumentación: se puso en práctica una red experimental de observaciones de profundidad de nieve, la cual permitió aprender y probar los beneficios y desafíos de este tipo de instrumentación. Se concluye que los sensores contemplados son robustos y que los protocolos de transmisión de datos permiten contar con la información de manera oportuna. Por otro lado, se identificaron problemas en el diseño de las estructuras, que deben ser abordados para permitir la continuidad de estas operaciones en ambientes de montaña. Si bien el diseño implementado había sido probado exitosamente en la Región Metropolitana, algunas fallas estructurales indican que para climas más severos es necesario revisar la resistencia de los elementos estructurales.
2. Modelación de los procesos hidrológicos: se han implementado herramientas de modelamiento innovadoras en la región, utilizando software de libre acceso y bases de datos meteorológicas globales con gran respaldo científico. Este proceso no ha concluido aún, y es materia de un proyecto CORFO que da continuidad al trabajo del proyecto FIC. Los resultados del modelamiento permiten independizar el pronóstico de caudales de algunos datos de difícil acceso.
3. Pronósticos de caudales: a la fecha se cuenta con modelos de pronóstico específicos para una serie de cuencas de la región, que antes del proyecto no lo disponían. La calidad de los pronósticos es igual o superior a los productos existentes en aquellas cuencas donde se dispone de pronósticos emitidos por otros agentes. La entrega de bandas de incertidumbre, que es posible gracias a la metodología utilizada, permite a los usuarios tomar decisiones más informadas a partir de datos fácilmente disponibles a través de una plataforma WEB diseñada específicamente para los requerimientos de los usuarios.
4. Alianzas: un proyecto de continuidad, con financiamiento CORFO, ha permitido seguir desarrollando las herramientas de pronóstico incluyendo cuencas de la vertiente norte (río Lontué). Asimismo, se ha establecido contacto con la DGA nacional para buscar alianzas y sinergias en cuanto a instrumentación y pronóstico. Finalmente, la metodología busca expandirse a otras regiones de Chile mediante postulaciones a otros fondos de investigación aplicada.

10.5. Plataforma web

Se puede visualizar en el link: <https://maule.hidrodata.cl/login> y acceder mediante el correo y contraseña: maria.orell@uchile.cl. Se creó usuarios y contraseñas para cada una de las Juntas beneficiarias.

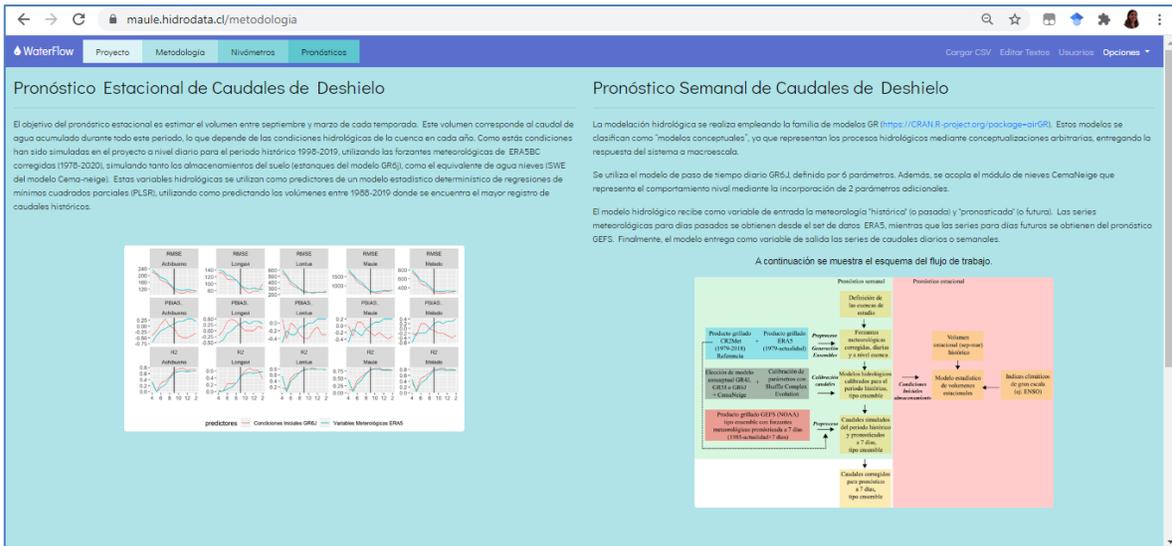
En la página inicial, se visualiza la precipitación acumulada a la fecha, en comparación a los últimos años y un año promedio.



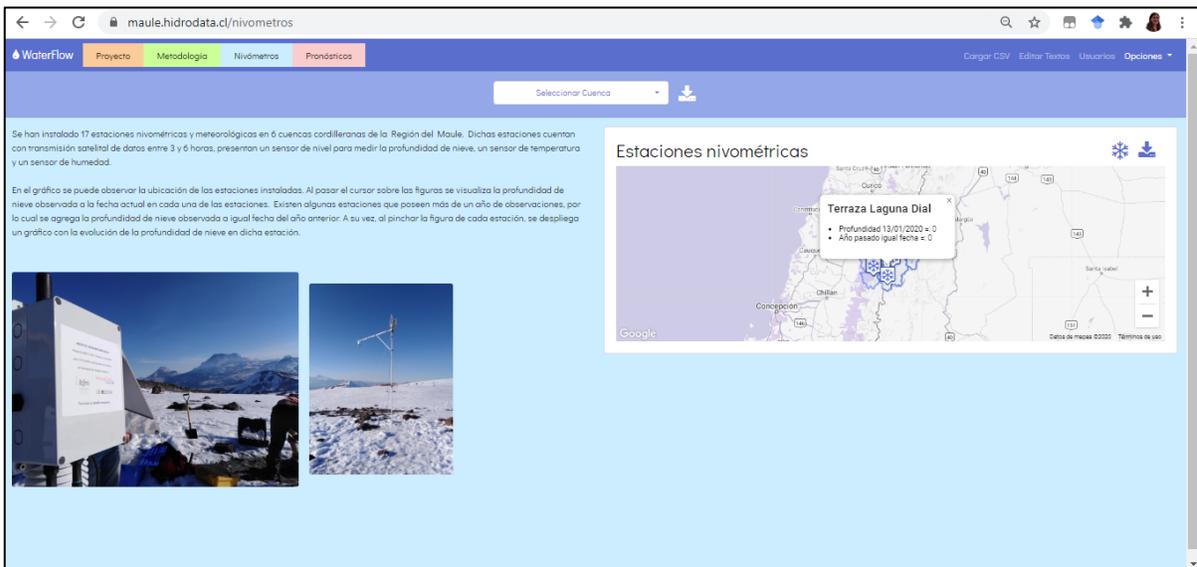
Al ingresa a la página y acceder a la primera pestaña, se puede observar información del proyecto, su visión, objetivos, equipo de trabajo, mandantes y beneficiarios.



En la segunda pestaña se puede observar las metodologías empleadas para la emisión de cada pronóstico.

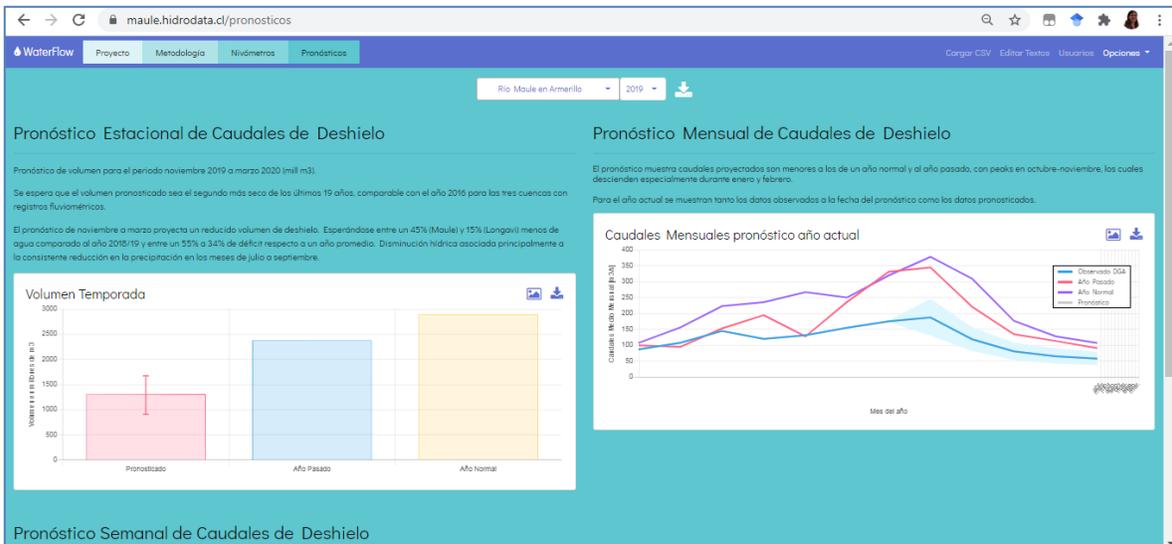


En la tercera pestaña se puede observar un gráfico dinámico que muestra los datos actualizados de las mediciones de nieve registradas por las estaciones instaladas. Al seleccionar una de las estaciones, se despliega el gráfico de la evolución de la profundidad de nieve en dicha estación.

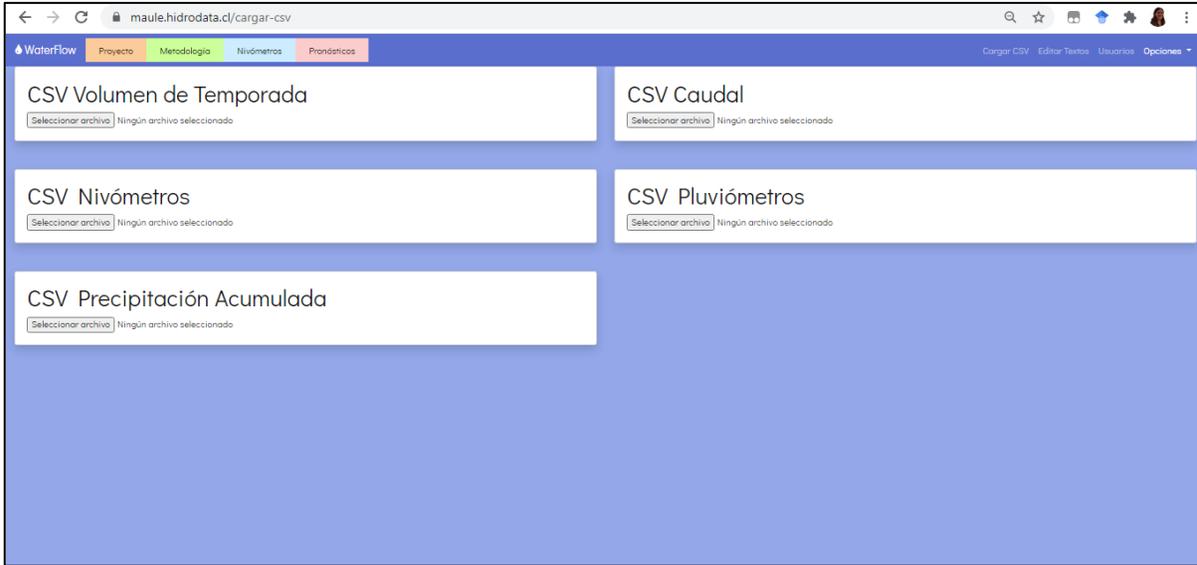




Se muestran tres gráficos dinámicos que serán actualizados semanalmente con la información de los pronósticos de caudales de deshielo generados.



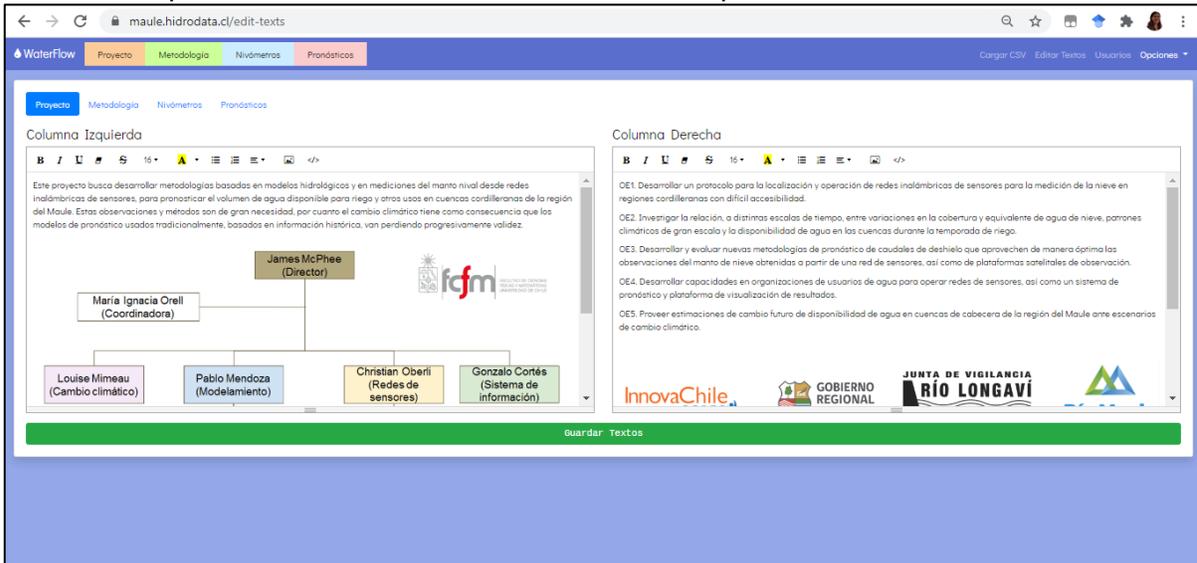
La información se carga mediante archivos .csv a la plataforma.



The screenshot shows the 'WaterFlow' platform interface. At the top, there are navigation tabs: 'Proyecto', 'Metodología', 'Nivómetros', and 'Pronósticos'. Below these, there are five main sections, each with a 'Seleccionar archivo' button and the text 'Ningún archivo seleccionado':

- CSV Volumen de Temporada
- CSV Caudal
- CSV Nivómetros
- CSV Pluviómetros
- CSV Precipitación Acumulada

A su vez, es posible editar los textos visualizados en la plataforma.

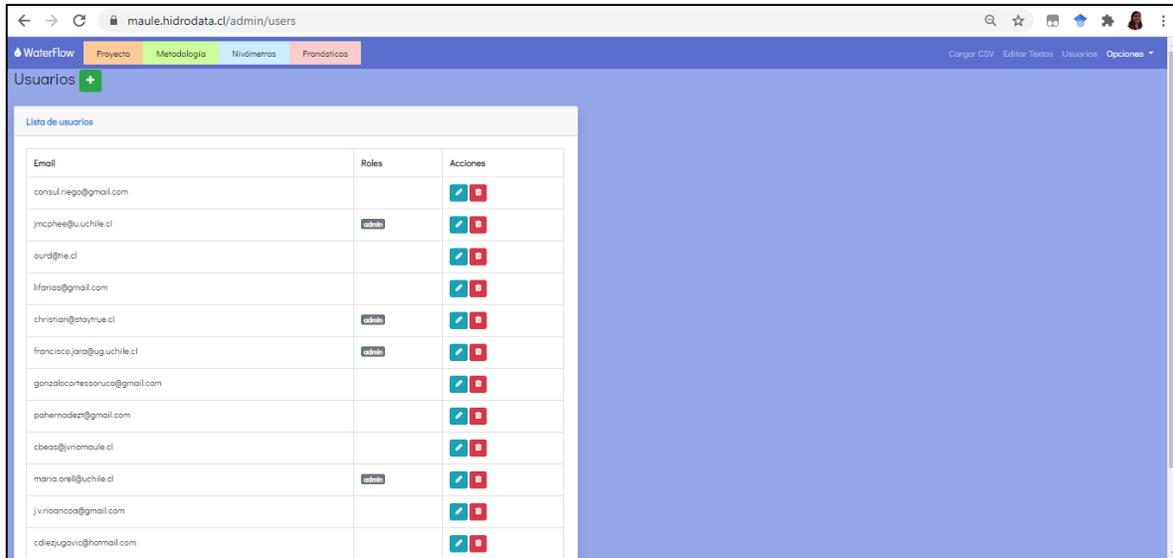


The screenshot shows the 'WaterFlow' platform in 'edit-texts' mode. The interface is split into two columns:

- Columna Izquierda:** Contains a rich text editor with a toolbar and a project description: 'Este proyecto busca desarrollar metodologías basadas en modelos hidrológicos y en mediciones del manto nival desde redes inalámbricas de sensores, para pronosticar el volumen de agua disponible para riego y otros usos en cuencas cordilleranas de la región del Maule. Estas observaciones y métodos son de gran necesidad, por cuanto el cambio climático tiene como consecuencia que los modelos de pronóstico usados tradicionalmente, basados en información histórica, van perdiendo progresivamente validez.' Below the text is an organizational chart with 'James McPhee (Director)' at the top, 'María Ignacia Orell (Coordinadora)' below him, and four team members: 'Louise Mimeau (Cambio climático)', 'Pablo Mendoza (Modelamiento)', 'Christian Oberli (Redes de sensores)', and 'Gonzalo Cortés (Sistema de información)'. Logos for 'InnovaChile', 'GOBIERNO REGIONAL', and 'JUNTA DE VIGILANCIA RÍO LONGAVÍ' are also visible.
- Columna Derecha:** Contains a list of five objectives (OE1 to OE5) related to sensor network development, data analysis, and future climate change estimations.

At the bottom of the interface, there is a green button labeled 'Guardar Textos'.

Finalmente, se muestran los usuarios que actualmente cuentan con clave de ingreso a la plataforma.



The screenshot shows a web browser window with the URL `maule.hidrodata.cl/admin/users`. The interface is titled "Waterflow" and has tabs for "Proyecto", "Metodología", "Nivómetros", and "Pronósticos". The "Usuarios" tab is active, displaying a table of users.

Email	Roles	Acciones
consul.niego@gmail.com		 
jmcphes@uuchile.cl	admin	 
ourd@rie.cl		 
lfarias@gmail.com		 
christian@starynue.cl	admin	 
francisco.jara@ug.uchile.cl	admin	 
gonzalocortessanuco@gmail.com		 
pahernadez@gmail.com		 
cbeas@vriomaule.cl		 
maria.orel@uchile.cl	admin	 
j.viviancoa@gmail.com		 
cdiezjugovic@hotmail.com		 

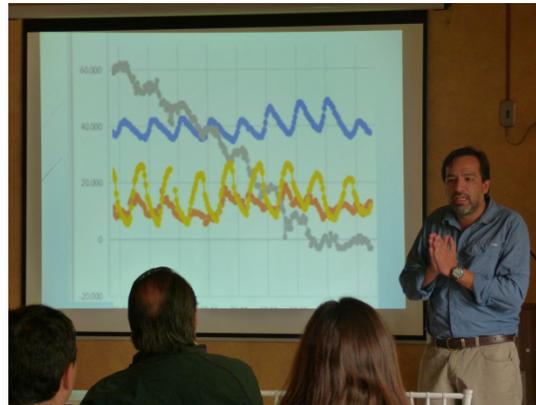
10.6. Actividades de difusión

10.6.1. Seminario Lanzamiento

El día miércoles 6 de diciembre del 2017 en el Estadio Español de Linares, se llevó a cabo el lanzamiento del proyecto "Metodología de Pronóstico de Caudales de Deshielo basada en la observación y modelamiento de la Cubierta Nival para Cuencas Hidrográficas de la Región del Maule", financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad FIC (FIC) de la región del Maule.

La jornada contó con la presencia de representantes de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) de Longaví, Melado, Ancoa, Achibueno y Maule, así como el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

En una primera instancia, el Sr. Lisandro Farías, representante de la Junta de Vigilancia del Río Longaví, habló de la situación actual del recurso hídrico en la región, las últimas modernizaciones y nuevas tecnologías, y como este proyecto se inserta a responder una necesidad de la región.



Luego, el PhD James McPhee, académico de la Universidad de Chile y Director del Proyecto, presentó su equipo de trabajo y profundizó en las etapas del proyecto. Con esto se dio espacio a que el público realizara preguntas, las que fueron respondidas por el equipo.



La jornada finalizó con un café de cierre.

ID	Nombre	Apellido	Institución	Cargo	Teléfono	E-mail
1	Claudia	Sanhueza	INIA quilamapu	ayudante de proyecto	942976087	claudiasanhueza19@gmail.com
2	Raul	Orrego	INIA quilamapu	investigador	86866985	raul.orrego@inia.cl
3	Nicolas	Krogh	asociación canal melado	jefe técnico	998857174	nico.melado@gmail.com
4	Sergio	Hernandez	Junta Vigilancia	director	9824389	

		ez Muñoz	achibueno		50	
5	eustaquio	Mella	junta vigilancia achibueno	director	988897546	
6	eduardo	Avila	SMA	profesional	993569878	eduardo.avila@sma.gob.cl
7	Pablo	Barra	SAG	coordinador regional	712227562	pablo.barra@sag.gob.cl
8	Anita	Prizant	ASOCIACION CANAL MELADO		56998371409	anitaprizants@gmail.com
9	carlos	diez	ASOCIACION CANAL MELADO		56996393074	cdiezjugovic@hotmail.com
10	eduardo	peña	superintendencia medio ambiente		56942996783	eduardo.pena@sma.gob.cl
11	maximo	correa	junta rio longaví		56966876909	correa.maco@gmail.com
12	jaime	benavente palma	director canal melado	Director	56998860542	jbenaventepalma@gmail.com
13	lorenzo	bethke	junta vigilancia ancoa		56998864793	lorenzo.bethke@gmail.com
14	jorge	espinoza rojas	agricola expoverde		56994407231	espinozar.jorge@gmail.com
15	Luis	Concha	Junta Rio Ancoa		56984791084	conchalbornoz@gmail.com
16	Pedro Pablo	Campos	Junta Rio Ancoa		56988038400	

10.6.2. Seminario Perspectivas hídricas preliminares 2018-19

El día 28 de agosto de 2018 se realizó un seminario de “Perspectivas hídricas preliminares”, cuyo objetivo fue entregar una primera aproximación estadística, al pronóstico de caudales de deshielo. La jornada contó con la asistencia de cerca de 35 personas representantes de las OUA participantes del proyecto, incorporándose otros canalistas y asociaciones de la zona, así como múltiples representantes de organismos públicos y privados de la región.



**GOBIERNO
REGIONAL
DEL MAULE**



Nombre	Apellido	Institución	Teléfono	E-mail
Ruben	Arturo Nietan	SRN Agricultura Maule	4-2-226832	Ruben.Astivalo@ministerio.cl
Luis	Roberto Latorre	Asociación de Agricultores	966500817	LuisRobertoLatorre@gmail.com
ENRIQUE	Quila	Servicio Agrario M. Maule	772500004	enrique.quila@minagri.cl
FABIAN	Andrés Martínez	Servicio Agrario M. Maule		FabianMartinez@gmail.com
OSCAR	Acceroca	Servicio Agrario M. Maule		oscaracceroca@gmail.com
OSCAR	Ortiz	Asociación de Agricultores	992306181	oscarortiz@gmail.com
OSCAR	Bonaventura	Asociación de Agricultores	993348002	oscarbonaventura@gmail.com
OSCAR	Bonaventura	Asociación de Agricultores	98960542	oscarbonaventura@gmail.com
OSCAR	Bonaventura	Asociación de Agricultores	997413660	oscarbonaventura@gmail.com
OSCAR	Bonaventura	Asociación de Agricultores	966876910	oscarbonaventura@gmail.com
OSCAR	Bonaventura	Asociación de Agricultores	936393034	oscarbonaventura@gmail.com

Lista de Asistencia

Nombre	Apellido	Institución	Teléfono	E-mail
OSCAR	Carroll	Asociación de Agricultores	992345936	oscarcarroll@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	992616743	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	99290177	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	993495094	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	99874242	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	988038952	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	992497062	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	998857174	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	984791084	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	998897546	oscaralfonso@gmail.com
OSCAR	Alfonso	Asociación de Agricultores	999744473	oscaralfonso@gmail.com

Nombre	Apellido	Institución	Teléfono	E-mail
GASTON	PINOCHET	Fundo Los Agueros	992227613	gastonpinochet@yahoo.es
PANICIO	HERNANDEZ	ASOC. EMBAJASE DIOSA	998640776	panhernandez@gmail.com
JOSE	ROJAS	ASOC. ANATISTA DIOSA	984775996	joserojasbarros@gmail.com
SILVANO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	994391886	silvanovaldes@gmail.com
JOSE	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	99101818	joservaldes@gmail.com
MANUEL	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	996794926	manuelvaldes@gmail.com
RAMON	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	986633100	ramonvaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	87523127	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	982438950	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	992497062	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	998857174	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	984791084	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	998897546	sergiovaldes@gmail.com
SERGIO	VALDES	Canal Primavera A. B. P.	999744473	sergiovaldes@gmail.com



GOBIERNO
REGIONAL
DEL MAULE



Lista de Asistencia

Nombre	Apellido	Institución	Teléfono	E-mail
Semir ALVARO	Soto SEGUEL	V. Rio Achehuar COLTUC. AGRONOMOS	99 287 1131 932449250.	Semir Soto S. Alvar ASSEGUEL@G.MAULE.COM.





10.6.3. 2° Feria de Innovación y Emprendimiento del Maule (FINEM)

Los días 10 y 11 de octubre de 2018, parte del equipo de trabajo de la Universidad de Chile, así como el equipo DICTUC (PUC) encargado de diseñar, construir e instalar las estaciones meteorológicas, asistió a la 2° Feria de Innovación y Emprendimiento del Maule (FINEM) 2018 en Talca. Esta feria tiene como objetivo difundir los avances de los proyectos y la labor del GORE, sobre todo ante autoridades del Gobierno Central y actores importantes del territorio.

El proyecto “Caudales de deshielo”, contó con un stand en el cual se montó una estación meteorológica de exposición y se expusieron videos con información de la acumulación media de nieve y el equivalente en agua de nieve (SWE, por sus siglas en inglés) en distintos periodos. También se mostró un video del cambio de SWE a través de los años (Ver Anexo 10.6.). La instancia sirvió para hacer importantes nexos con organismos públicos y privados de la región, interesados en el desarrollo y resultados de la iniciativa.



10.6.4. Reunión de avances

El día martes 14 de mayo de 2019 se llevó a cabo 2 reuniones en la región del Maule. La primera, se realizó en el Estadio Español de Curicó, en el cual nos reunimos con representantes de las organizaciones de regantes de Lontué, Teno y Mataquito.



La segunda reunión se realizó en la Asociación Canal del Melado en Linares, a la que asistieron representantes de las Juntas de Vigilancia de Longaví, Maule, Achibueno y Canal Melado.



En ambas reuniones se presentó tanto resultados como avances del proyecto FIC en desarrollo, el cual cuenta con una red expandida de estaciones meteorológicas, y está desarrollando modelos hidrológicos de pronóstico que serán visualizados en una plataforma web. A su vez, se presentó la nueva postulación FIC 2019, «Evaluación de incertidumbre en pronósticos de caudales de deshielo en la Región del Maule» la cual fue admisible en la primera etapa de evaluación. Esta propuesta amplía la red de monitoreo hacia cuencas cabecera en el sector norte de la región y provee estimaciones de cambio y provee estimaciones de cambio en régimen hidrológico bajo escenarios de cambio climático.

10.6.5. Seminario comunicación pronóstico 2019-20

El día 6 de septiembre de 2019 se llevó a cabo el Seminario de Pronósticos, en el Estadio Español de Linares, en la Región del Maule. La instancia contó con aproximadamente 70 asistentes, entre ellas directores de organizaciones de usuarios de aguas, regantes y representantes de organismos públicos.

Este hito es clave en el proyecto pues se comunicó de manera oportuna el pronóstico de caudales de deshielo a los regantes del Maule, quienes pueden contar con dicha información para la planificación de sus cultivos.

La jornada contó con un café de bienvenida, luego expuso el Presidente de la Junta de Vigilancia del río Maule Carlos Díez, haciendo un balance de la situación hídrica actual, y terminó con la presentación del Jefe de Proyecto, James McPhee, sobre el Pronóstico de Caudales de Deshielo Temporada 2019/2020





**GOBIERNO
REGIONAL
DEL MAULE**



Lista de Asistencia

Nombre	Apellido	Institución	Telefono	E-mail
Maria Olga	García	Coop de Riego	772345726	micapril@getmail.com
Rochely	Ugarte S	Coop de Riego	551040105	rogarte@copdesier.com
Juan	Costa	Coop de Riego	993450183	juan@copdesier.com
Juan	Araya T.	Univ. Hig. de Melado	996993877	juan@univmelado.com
Walter Horat.	MARSA	Asoc. Melado	882580178	
Maximiliano	Espinosa	Canal MALADO	90516320	japerrill@Hotmail.com
José Luis	Pedro Villagran	Canal Melado	932197244	joseluis@copdesier.com
Rosa Elv. Sepúlveda	Martinez	Canal de Melado	992192224	rosasepulveda@copdesier.com
Daniel	Basualto Barrera	Canal de Melado	585422696	
Fabian	Josua	Sociedad KWS	990939018	
Leonardo	Alfonso	Canal Melado	992658628	alfonso@copdesier.com
Isabel	Melero P.	Sociedad		



**GOBIERNO
REGIONAL
DEL MAULE**



Lista de Asistencia

Nombre	Apellido	Institución	Telefono	E-mail
Diego Leo	Guillermo D	ESL Co	482991502608	diego.gallardo@gmail.com
Guillermo A	Diel Pinos F	Maule Sur	+56999640366	
Diego Leo	Chalco	Maule Sur	+56998665765	
Diego Leo	Del Pino C	Canal de los Rios	+56974324700	
Diego Leo	VILLERA BENAVENTE	AGRICOLA FINCA CURICO	+59932228996	
Diego Leo	Soto Dely	AGRICOLA FINCA CURICO	990502980	
Diego Leo	CASTAÑO M.	RODAS FABRY	992891131	
Diego Leo	CASTAÑO	RODAS FABRY	93404021	
Diego Leo	CASTAÑO	RODAS FABRY	96283051	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	996162533	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	940746008	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	952436697	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	996453016	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	991449982	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	994495154	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	992590177	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	984095674	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	944686770	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	732462769	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	994637796	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	998857174	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	950063545	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	992306181	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	56991581507	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	992528310	

Lista de Asistencia

Nombre	Apellido	Institución	Telefono	E-mail
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	978631983	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	971808225	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	9346787	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	976074741	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	96683690	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	1568884295	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	966870016	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	990236550	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	9-89653944	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	99234357	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	993462979	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	995408211	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	995114247	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	707262765	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	98864793	
Diego Leo	CASTAÑO	SITMA	97375225	



Inicio Herramientas 20190901 Boletín L. x Iniciar sesión

SOBRE EL PROYECTO

Nuestra visión como equipo de trabajo es hacer uso y aprovechar de manera inteligente las **tecnologías emergentes**, de bajo costo y con transmisión remota, perturbando de forma mínima las condiciones naturales de las cuencas, proveyendo información valiosa en zonas montañosas actualmente no monitoreadas a fin de alimentar **modelos hidrológicos** que a su vez permitirán generar **pronósticos de caudales de deshielo confiables** y que sean **útiles** para la toma de decisiones de los usuarios de la cuenca.

Líneas de acción:

1. Instalación de 12 estaciones meteorológicas con medición de profundidad de nieve, temperatura y humedad. Transmisión satelital.
2. Modelación del manto nival incorporando mediciones de estaciones
3. Modelación hidrológica
4. Generación de pronósticos estacionales
5. Integración de resultados en plataforma web

PROFUNDIDAD DE NIEVE

2018

Los pronósticos de nieve registrados en el año 2018 varían entre 0,5 y 2 metros. La estación Laguna Quiriquina es la que registra mayores profundidades incluso superando los 2 metros, mientras que la estación Alto Longavi Alpino es la que registra menos profundidades. Los peak se concentran en el mes de septiembre.

2019

Inicio Herramientas 20190901 Boletín L. x 20200411 Boletín L. x Iniciar sesión

VOLUMEN PRONÓSTICO

Cuenca OUA	Área [km ²]
Río Melado	2.200
Río Achibueno	2.000
Río Aconcagua	400
Río Maule	2.700
Río Longavi	670

Los volúmenes pronosticados presentan déficit entre un 6,5% y un 32% respecto al año pasado, mientras que los déficit respecto a un año normal (promedio histórico) varían entre un 19% y un 40%. La cuenca del río Maule en Armerillo incluye a la cuenca del río Melado en el Salto, por dicha razón los volúmenes son muy superiores al resto de las cuencas.

DISTRIBUCIÓN MENSUAL

Río Maule en Armerillo

El pronóstico muestra caudales proyectados máximos del orden 200 m³/s, los cuales descienden a cerca de 50 m³/s al final de la temporada de riesgo. Estos valores son menores a los de un año normal con peak que superan los 300 m³/s.

Río Melado en el Salto

Caudales proyectados máximos del orden 90 m³/s, los cuales descienden a cerca de 20 m³/s al final de la temporada de riesgo. Estos valores son menores a los de un año normal con peak cercanos a 150 m³/s.

10.6.7. Taller participativo con regantes

El día 4 de noviembre de 2019, se llevó a cabo un taller con administradores de las Juntas de Vigilancia, cuyo objetivo fue rescatar necesidades de información y presentar la plataforma web. Este fue un taller participativo, que comenzó por recoger las necesidades de información de los regantes, para analizar si éstas se estaban cumpliendo con los resultados del proyecto.

En general, hubo coincidencia en que la información que se requería conocer incluye el volumen de temporada y pronósticos mensuales de caudales de deshielo. El desafío



estaría en pronosticar también caudales semanales, que son necesarios para permitir la toma de decisiones de gestión sobre aguas acumuladas en algunos embalses de la zona.

¿Cómo saben como viene la temporada?
¿Qué información necesitan?
¿Cómo prefieren acceder a ella?

- 1.1.
- Si
- DGA y coordinador eléctrico
- 1.2.
- Caudales mensuales o semanales
- 1.3. - En línea (en redes).

En talleres de reunión
Ingenieros.
Elabores el informe...

- Altura de nieve ^{DGA} ^{Promedio}
- Densidad de nieve ^{coordinador} ^{eléctrico}
- Temperaturas
- Diferencias o comparaciones entre distintas temporadas.
- Plataformas web o software celular.
- Informe mensual como.

Estaciones / cota
Densidad nieve
Distribución por historia
PP de nieve en invierno
Aplicativo en el móvil - explicación gráfica con todo info.
Problemas celular

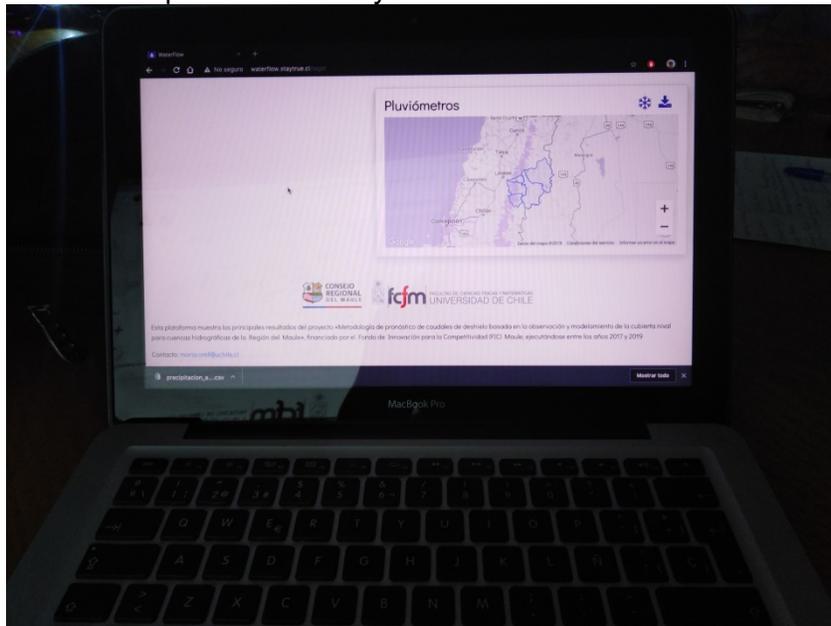
- ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS
- COMARCAS - por sus límites
- PRINCIPALES ESTACIONES
- PUNTO DE VENTA
- PUNTO DE VENTA
- Año Actual - Año Anterior
- Año seco.
- CUADROS DIGITALES
- PLATAFORMAS DIGITALES
- PUNTO DE VENTA

Gracias a sí comparado
Agregar líneas de caudal mensuales
Lo es ^{por} ^{de} ^{comarcas} ^{de} ^{parámetros}
Simbología ^{muestra} ^{seca} ^{de} ^{los}
Cuando ^{se} ^{visibiliza} ^{en} ^{el} ^{mapa}
cómo ^{se} ^{ve} ^{el} ^{mapa}
cómo ^{se} ^{ve} ^{el} ^{mapa}

Posteriormente, un integrante del equipo expuso sobre los productos generados por el proyecto y disponibles para los usuarios de aguas, así como los resultados pendientes.



Finalmente, se mostró la plataforma web y se enseñó su modo de uso.





LISTA

04/11/2019

Nombre	Organización	Correo	teléfono
Chauvino Torres	JV Rio Longoni	correa.mano@gmail.com	462676
Cristian Barria	JV Rio Maule		732217669
JOSE MANUEL ROJAS	ASOCIACION ANALISIS DE RIA	JOSETRAJASROMERO@gmail.com	984225996
NICOLAS KROGH	ASOCIACION CANAL MAULE	NICO.MEUSDO@gmail.com	9-98857174
Cristian Beor	J.V. Rio maule	cb25@jurionmaule.cl	993495094
WALTER VILLALBA	USUARIOS RIGCO LONGONI, A/S	WALTERVILLALBA@gmail.com	
Lisandro Faria	JVR Longoni	lfaria@gmail.com	966976910

10.6.8. Seminario de evaluación pronóstico 2019-20 y cierre del proyecto

Dado el contexto actual de COVID-19, el día jueves 25 de junio de 2020 se realizó un seminario de lanzamiento y avances de manera online de evaluación del pronóstico 2019-20 y cierre del proyecto FIC Maule, con la participación de las distintas junta de vigilancia y el equipo de trabajo.

La presentación comenzó con la bienvenida por parte del Director del proyecto James McPhee. Posteriormente Carlos Díez dio unas palabras como representante de la Junta de Vigilancia del río Maule, que constituye el mandante de este proyecto. Finalmente, se dio espacio a unas palabras al SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Maule, Pablo Sepúlveda, y a la SEREMI de Agricultura de la Región del Maule, Carolina Torres.

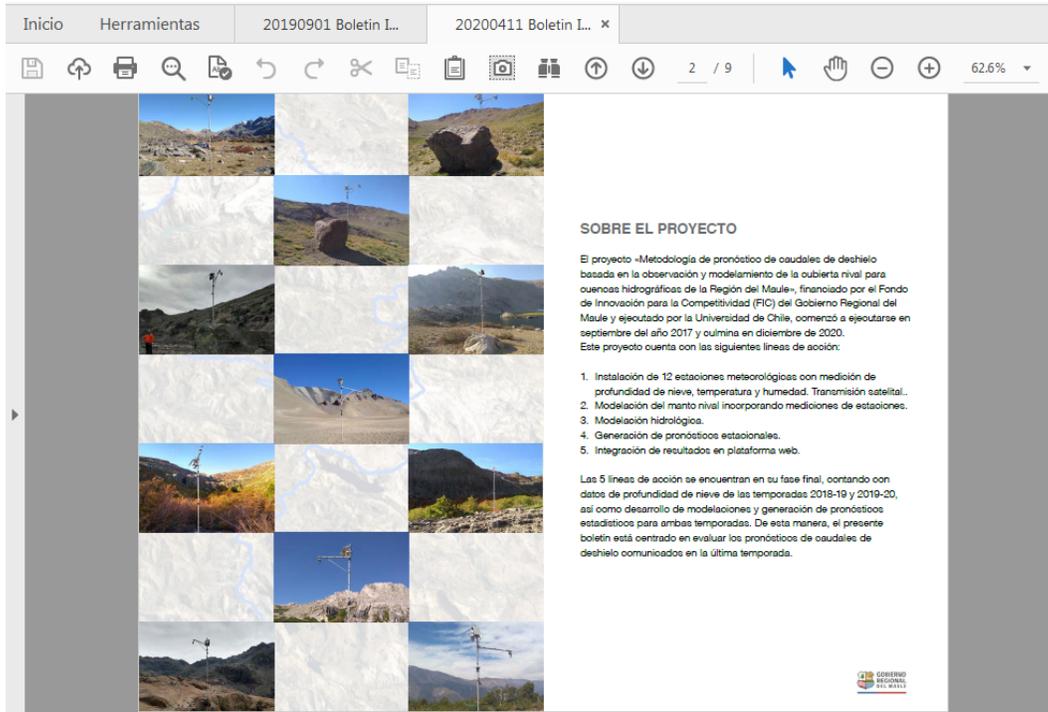


También asistieron Paula Castro (Directora Regional DGA), Marcelo Díaz (CNR) y Leonardo Sandoval (Secretario SEREMI Agricultura). Con esto, se dio inicio al Seminario Online, el cual se desarrolló en la plataforma ZOOM y contó con 58 participantes, los cuales podían interactuar a través de chat y preguntas directas.

10.6.9. Boletín evaluación pronóstico 2019-20

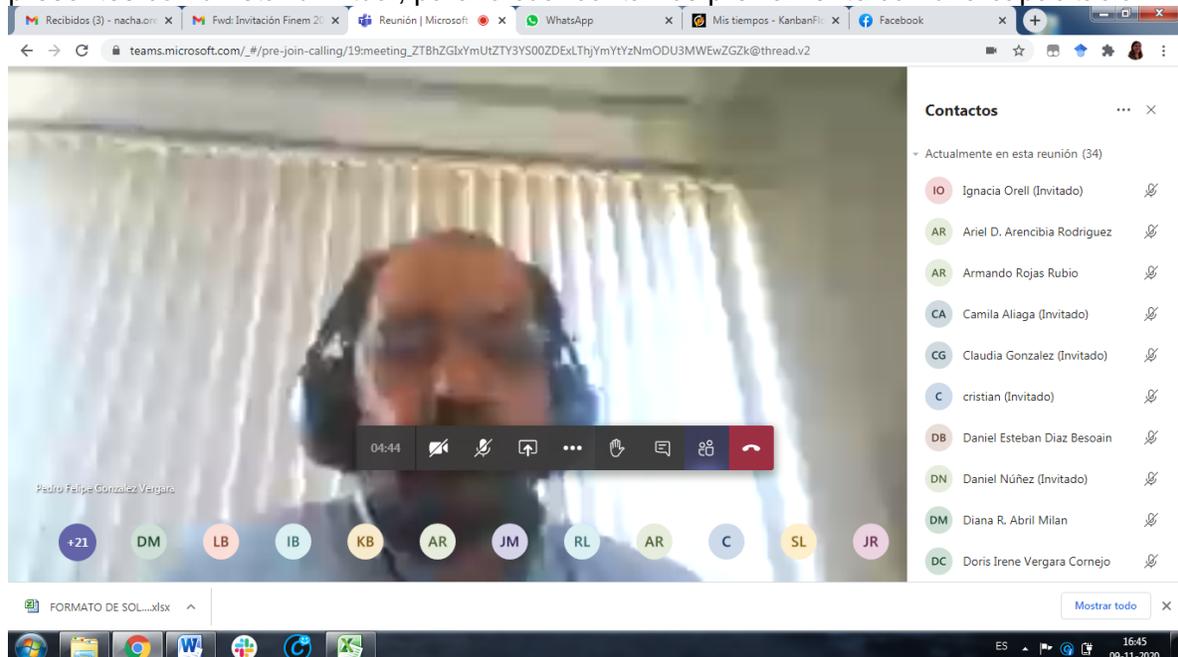
Se entregó un boletín que resumía los resultados en los ámbitos de estaciones meteorológicas y evaluación de pronósticos.

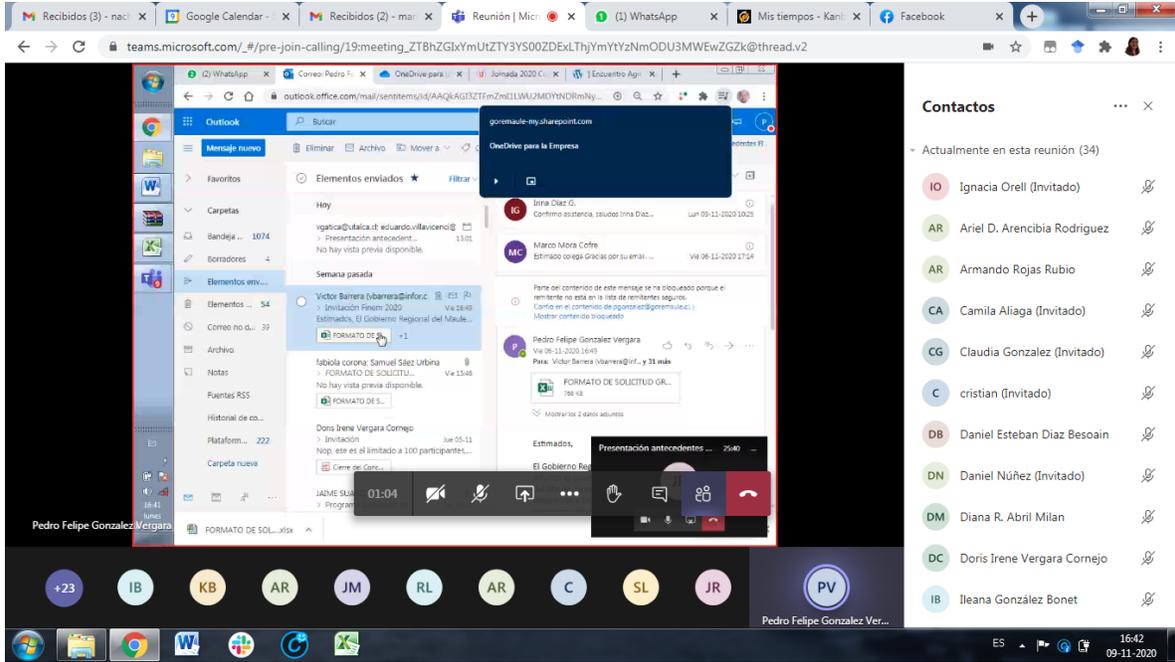




10.6.10. Feria de Innovación y Emprendimiento del Maule (FINEM) 2020

Los días 2, 3 y 4 de diciembre 2020, se realizó la FINEM 2020, en la cual estuvimos presentes con un stand virtual, para lo cual contamos previamente con una capacitación.





The screenshot shows a Microsoft Teams meeting window. The main content area displays an Outlook inbox with several emails, including one from 'Victor Barneri' and another from 'Pedro Felipe Gonzalez Vergara'. A 'Contactos' (Contacts) list is visible on the right side of the meeting window, listing participants in the meeting. The bottom of the screen shows the Teams meeting controls, including a timer at 01:04 and a list of participant initials.

Contactos

Actualmente en esta reunión (34)

- IO Ignacia Orell (Invitado)
- AR Ariel D. Arencibia Rodriguez
- AR Armando Rojas Rubio
- CA Camila Aliaga (Invitado)
- CG Claudia Gonzalez (Invitado)
- C cristian (Invitado)
- DB Daniel Esteban Diaz Besoain
- DN Daniel Núñez (Invitado)
- DM Diana R. Abril Milan
- DC Doris Irene Vergara Cornejo
- IB Ileana González Bonet

01:04

Pedro Felipe Gonzalez Ver...

ES 16:42 09-11-2020