

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



DIAGNÓSTICO DEL PRONÓSTICO DE CAUDALES DE DESHIELOS
PARA LA TEMPORADA DE RIEGO EN CHILE

RODRIGO ANTONIO FONSECA SANDOVAL

PROYECTO DE TÍTULO
PRESENTADO A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AGRÍCOLA

CHILLÁN-CHILE

2025

**DIAGNÓSTICO DEL PRONÓSTICO DE CAUDALES DE DESHIELOS
PARA LA TEMPORADA DE RIEGO EN CHILE**

Aprobado por:

Sebastián Krogh Navarro
Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Asociado

Profesor Guía

José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Titular

Profesor Asesor

Jerónimo Paredes Cáceres
Licenciado en Matemática, Dr.
Profesor asociado

Profesor Asesor

José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Titular

Director de Departamento

Luis Octavio Lagos Roa
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Titular

Decano

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Modelación del manto de nieve.....	10
1.2. Pronóstico de Caudales de Deshielos en otros países.....	13
1.3. Pronóstico de Caudales de Deshielos en Chile.....	15
1.4. Área de estudio.....	17
1.5. Consideraciones del estudio.....	22
2. HIPOTESIS.....	25
3. OBJETIVOS.....	26
3.1. Objetivo general.....	26
3.2. Objetivos específicos.....	26
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1. Descripción de bases de datos.....	27
4.1.1. CAMELS-CL.....	27
4.1.2. Red hidrométrica nacional.....	27
4.1.3. CR2MET v2.5 beta.....	28
4.2. Recopilación de datos y diagnóstico del pronóstico de deshielo.....	30
4.3. Correlación del error del pronóstico de deshielo con variables meteorológicas.....	34
4.4. Análisis de tipo de año y su relación con el pronóstico de deshielo.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1. Error relativo y absoluto del pronóstico de caudales de la DGA.....	41
5.1.1. Cuenca Copiapó en Pastillo.....	49
5.1.2. Cuenca Huasco en Algodones.....	52
5.1.3. Cuenca Huasco en el Maitén.....	54
5.1.4. Cuenca Elqui en Algarrobal.....	56
5.1.5. Cuenca Hurtado en San Agustín.....	59
5.1.6. Cuenca Grande en las Ramadas.....	61
5.1.7. Cuenca Choapa en Cuncumén.....	64
5.1.8. Cuenca Aconcagua en Chacabuquito.....	66
5.1.9. Cuenca Putaendo Resguardo Patos.....	68
5.1.10. Cuenca Juncal en Juncal.....	70
5.1.11. Cuenca Mapocho en los Almendros.....	72
5.1.12. Cuenca Maipo en el Manzano.....	74
5.1.13. Cuenca Colorado antes junta Maipo.....	76
5.1.14. Cuenca Claro en Hacienda las Nieves.....	79
5.1.15. Cuenca Tinguiririca en B. Briones.....	81
5.1.16. Cuenca Teno después de Junta.....	83
5.1.17. Cuenca Claro en los Queñes.....	86

5.1.18. Cuenca Ñuble en San Fabián 2.....	88
5.2. Reconstrucción de variables meteorológicas de las cuencas en estudio.....	90
5.3. Regresión Múltiple lineal entre la temperatura y precipitación con el error del pronóstico de caudales de la DGA.....	94
5.4. Correlación entre el tipo de año meteorológico y el error del pronóstico de caudales de la DGA.....	112
5.5. Discusión de resultados.....	115
6. CONCLUSIONES.....	120
7. BIBLIOGRAFÍA.....	122
8. ANEXOS Y APÉNDICES.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto		Página
Tabla 1.	Cuencas analizadas por el Pronóstico de Caudales de la DGA desde la temporada 1974 hasta la temporada 2023 (temporada de riego inicia en Septiembre del año en curso y termina en Marzo del año siguiente), con sus respectivas características generales obtenidas de la red hidrométrica nacional y la base de datos CAMELS-CL.....	18
Tabla 2.	Cuencas analizadas (20) en este estudio.....	22
Tabla 3.	Error relativo medio mensual (%) y Error relativo medio de la cuenca (%), para 18 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, ordenadas de Norte a Sur.....	46
Tabla 4.	Error absoluto medio mensual (m ³ /s) y Error absoluto medio de la cuenca (m ³ /s), para 18 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, ordenadas de Norte a Sur.....	48
Tabla 5.	Coefficiente de determinación (R ²), número de años de datos en común y ecuación de ajuste, de la regresión lineal simple entre la precipitación acumulada obtenida del producto grillado CR2MET v2.5 beta, en función de la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.....	92
Tabla 6.	Coefficiente de determinación (R ²) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R ² ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error relativo medio estacional (ERL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Agosto (T _{media} Abr-Ago) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (P _{pacum} Abr-Ago), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.....	96

Tabla 7.	Coeficiente de determinación (R ²) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R ² ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error relativo medio estacional (ERL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.....	99
Tabla 8.	Coeficiente de determinación (R ²) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R ² ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error absoluto medio estacional (EAL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.....	102
Tabla 9.	Coeficiente de determinación (R ²) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R ² ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error absoluto medio estacional (EAL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.....	108
Tabla 10.	Promedio del error relativo medio estacional (%) de los tipos de años meteorológicos seco-cálido, seco-frío, húmedo-cálido y húmedo-frío, correspondientes a cada cuenca en estudio.....	112

En el Anexo		Página
Tabla 11.	Variables meteorológicas de la cuenca Copiapó en Pastillo, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	128
Tabla 12.	Variables meteorológicas de la cuenca Huasco en Algodones, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para el año 2021 (en color rojo).....	130
Tabla 13.	Variables meteorológicas de la cuenca Huasco en el Maitén, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional (DGA).....	133
Tabla 14.	Variables meteorológicas de la cuenca Elqui en Algarrobal, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la	

	regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	135
Tabla 15.	Variables meteorológicas de la cuenca Hurtado en San Agustín, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	138
Tabla 16.	Variables meteorológicas de la cuenca Grande en las Ramadas, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	140
Tabla 17.	Variables meteorológicas de la cuenca Choapa en Cuncumén, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica	

	nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	142
Tabla 18.	Variables meteorológicas de la cuenca Aconcagua en Chacabucito, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	145
Tabla 19.	Variables meteorológicas de la cuenca Putaendo en Resguardo Patos, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	149
Tabla 20.	Variables meteorológicas de la cuenca Juncal en Juncal, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	151
Tabla 21.	Variables meteorológicas de la cuenca Mapocho	

	en los Almendros, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	153
Tabla 22.	Variables meteorológicas de la cuenca Maipo en el Manzano, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	156
Tabla 23.	Variables meteorológicas de la cuenca Colorado antes junta Maipo, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	159
Tabla 24.	Variables meteorológicas de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto	

	grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	161
Tabla 25.	Variables meteorológicas de la cuenca Tinguiririca en Bajo Briones, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	163
Tabla 26.	Variables meteorológicas de la cuenca Teno después de Junta, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	166
Tabla 27.	Variables meteorológicas de la cuenca Claro en los Queñes, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red	

	hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	169
Tabla 28.	Variables meteorológicas de la cuenca Ñuble en San Fabián 2, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).....	171

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto	Página
Figura 1. Distribución de la Huella Hídrica Azul en Chile (Fundación Chile, 2022).....	8
Figura 2. Distribución del consumo total de agua en Chile (Huella Hídrica Azul más Huella Hídrica Verde) (Fundación Chile, 2022).....	8
Figura 3. Ubicación de las cuencas de estudio, incluyendo el modelo digital de elevaciones en el actual Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, comprendidas entre los ríos Copiapó y Ñuble (SRC: WGS 84 Huso 19S).....	21
Figura 4. Error relativo medio por cuenca (ER m.c., %), con su respectiva desviación estándar, para cada 18 de las 20 cuencas en estudio, exceptuando Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	42
Figura 5. Distribución en escala logarítmica en base 10 del Error absoluto medio por cuenca (EA m.c., m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para cada 18 de las 20 cuencas en estudio, exceptuando Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo.....	44
Figura 6. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Copiapó en Pastillo, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	50
Figura 7. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Copiapó en Pastillo.....	51
Figura 8. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en Algodones, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de	

	deshielo.....	53
Figura 9.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en Algodones.....	54
Figura 10.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en el Maitén, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	55
Figura 11.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en el Maitén.....	56
Figura 12.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Elqui en Algarrobal, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	57
Figura 13.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Elqui en Algarrobal.....	58
Figura 14.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Hurtado en San Agustín, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	60
Figura 15.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Hurtado en San Agustín.....	61
Figura 16.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%)	

	para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Grande en las Ramadas, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	62
Figura 17.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Grande en las Ramadas.....	63
Figura 18.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Choapa en Cuncumén, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	65
Figura 19.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Choapa en Cuncumén.....	66
Figura 20.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Aconcagua en Chacabuquito, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	67
Figura 21.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Aconcagua en Chacabuquito.....	68
Figura 22.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Putaendo Resguardo Patos, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de	

	caudales de deshielo.....	69
Figura 23.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Putaendo Resguardo Patos.....	70
Figura 24.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Juncal en Juncal, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	71
Figura 25.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Juncal en Juncal.....	72
Figura 26.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Mapocho en los Almendros, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	73
Figura 27.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Mapocho en los Almendros.....	74
Figura 28.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Maipo en el Manzano, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	75
Figura 29.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Maipo en el Manzano.....	76
Figura 30.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%)	

	para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Colorado antes junta Maipo, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	77
Figura 31.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Colorado antes junta Maipo.....	78
Figura 32.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	80
Figura 33.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves.....	81
Figura 34.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Tinguiririca en B. Briones, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	82
Figura 35.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Tinguiririca en B. Briones.....	83
Figura 36.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Teno después de Junta, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	84

Figura 37.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Teno después de Junta.....	85
Figura 38.	Distribución en escala logarítmica en base 2 del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en los Queñes, con la desviación estándar superior e inferior al promedio de Septiembre a Diciembre, desviación estándar solo superior al promedio de Enero a Marzo y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	87
Figura 39.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en los Queñes.....	88
Figura 40.	Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Ñuble en San Fabián 2, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.....	89
Figura 41.	Distribución del Error Absoluto medio mensual (m ³ /s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Ñuble en San Fabián 2.....	90
Figura 42.	Coeficiente de determinación (R ²) de la regresión múltiple lineal, del error relativo medio estacional (ER m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Agosto (T _{media} Abr-Ago) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto (P _{pacum} Abr-Ago), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R ² aceptable).....	97
Figura 43.	Coeficiente de determinación (R ²) de la regresión múltiple lineal, del error relativo medio estacional (ER m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Marzo (T _{media} Abr-Mar) y la precipitación	

	acumulada de Abril a agosto (Ppacum Abr-Ago), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R2 aceptable).....	100
Figura 44.	Coeficiente de determinación (R2) de la regresión múltiple lineal, del error absoluto medio estacional (EA m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R2 aceptable).....	106
Figura 45.	Coeficiente de determinación (R2) de la regresión múltiple lineal, del error absoluto medio estacional (EA m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R2 aceptable).....	111
En el anexo		Página
Figura 46.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2011 y 2023 para la cuenca Copiapó en Pastillo.....	127
Figura 47.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1980 hasta 1987 y 1996 hasta 2021, para la cuenca Huasco en Algodones.....	129
Figura 48.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago) y temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar), para los años con pronóstico de 2022 y 2023 para la cuenca Huasco en el Maitén.....	132
Figura 49.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1973 y 2023 para la cuenca Elqui en Algarrobal.....	134

Figura 50.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 hasta 2015 y 2017 hasta 2023, para la cuenca Hurtado en San Agustín.....	137
Figura 51.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 hasta 1981 y 2006 hasta 2023, para la cuenca Grande en las Ramadas.....	139
Figura 52.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Choapa en Cuncumén.....	141
Figura 53.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Aconcagua en Chacabuquito.....	144
Figura 54.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Putaendo en Resguardo Patos.....	148
Figura 55.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 y 2023 para la cuenca Juncal en Juncal.....	150
Figura 56.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Mapocho en los Almendros.....	152
Figura 57.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-	

	Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Maipo en el Manzano.....	155
Figura 58.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Colorado antes junta Maipo.....	158
Figura 59.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Claro en Hacienda las Nieves.....	160
Figura 60.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Tinguiririca en Bajo Briones.....	162
Figura 61.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Teno después de Junta.....	165
Figura 62.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 hasta 2018 y 2020 hasta 2023, para la cuenca Claro en los Queñes.....	168
Figura 63.	Temperatura media de Abril a Agosto (Tmedia Abr-Ago), temperatura media de Abril a Marzo (Tmedia Abr-Mar) y precipitación acumulada de Abril a Agosto (Ppacum Abr-Ago) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Ñuble en San Fabián 2.....	170

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 1.	Ecuación de balance de energía del manto nival.....	11
Ecuación 2.	Ecuación del método grado-día.....	12
Ecuación 3.	Transposición de caudales por área.....	24
Ecuación 4.	Transposición de caudales por área despejada.....	24
Ecuación 5.	Error absoluto entre el caudal pronosticado y observado, para un determinado mes y año.....	31
Ecuación 6.	Error relativo en el caudal pronosticado y observado, para un determinado mes y año.....	31
Ecuación 7.	Error absoluto medio estacional, corresponde al promedio de los errores absolutos de una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular.....	32
Ecuación 8.	Volumen pronosticado medio estacional, corresponde al volumen de agua pronosticado para una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular.....	32
Ecuación 9.	Volumen observado medio estacional, corresponde al volumen de agua observado para una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular.....	32
Ecuación 10.	Error relativo medio estacional, corresponde al error relativo entre el volumen pronosticado medio estacional y el volumen observado medio estacional de una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular.....	32
Ecuación 11.	Error absoluto medio de la cuenca, corresponde al promedio de todos los errores absolutos medios estacionales disponibles, de una determinada cuenca.....	32
Ecuación 12.	Error relativo medio de la cuenca, corresponde al promedio de todos los errores relativos medios estacionales disponibles, de una determinada cuenca.....	32
Ecuación 13.	Error absoluto medio mensual, corresponde al promedio de todos los errores absolutos disponibles, para un mes en específico de una determinada cuenca.....	32
Ecuación 14.	Error relativo medio mensual, corresponde al promedio de todos los errores relativos disponibles, para un mes en específico de una determinada cuenca.....	32

Ecuación 15.	Temperatura media de Abril a Agosto, corresponde al promedio de las temperaturas medias mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo.....	35
Ecuación 16.	Temperatura media de Abril a Marzo, corresponde al promedio de las temperaturas medias mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego, más el promedio de las temperaturas medias mensuales de la temporada de riego de Septiembre a Marzo.....	35
Ecuación 17.	Precipitación acumulada de Abril a Agosto, corresponde a la suma de las precipitaciones acumuladas mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo.....	36
Ecuación 18.	Regresión lineal simple de la precipitación acumulada de Abril a Agosto, obtenida a partir de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional.....	37
Ecuación 19.	Pendiente de la recta ajustada, entre las variables de precipitación acumulada obtenida del producto grillado CR2MET v2.5 beta y la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional.....	37
Ecuación 20.	Error relativo medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal.....	38
Ecuación 21.	Error relativo medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal.....	38
Ecuación 22.	Error absoluto medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal.....	38
Ecuación 23.	Error absoluto medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal.....	38
Ecuación 24.	Promedio de la Precipitación acumulada de Abril a Agosto.....	39
Ecuación 25.	Condición de año húmedo.....	39
Ecuación 26.	Condición de año seco.....	39
Ecuación 27.	Promedio de la Temperatura media de Abril a Agosto.....	40
Ecuación 28.	Condición de año cálido.....	40
Ecuación 29.	Condición de año frío.....	40

DIAGNÓSTICO DEL PRONÓSTICO DE CAUDALES DE DESHIELOS PARA LA TEMPORADA DE RIEGO EN CHILE

DIAGNOSIS OF THE FORECAST OF MELT FLOWS FOR THE IRRIGATION
SEASON IN CHILE

Palabras claves: Red hidrométrica nacional, error absoluto, error relativo, regresión múltiple lineal.

RESUMEN

El pronóstico de caudales de deshielo es una herramienta fundamental para planificar la gestión de los recursos hídricos en la temporada de primavera-verano, principalmente en zonas con una fuerte componente agrícola. La Dirección General de Aguas (DGA) está encargada de realizar el pronóstico para la zona Centro y Centro-Sur de Chile. Este estudio busca diagnosticar de manera cuantitativa el error del pronóstico de caudales de deshielo de la DGA, comparando los pronósticos históricos con los caudales observados, obteniendo así, valores estacionales y mensuales de error absoluto y error relativo de dicho pronóstico, para cada cuenca analizada. Se obtuvo que el error medio anual es en su mayoría superior al 20% declarado como umbral por la DGA, demostrando que es necesaria una mejora metodológica para poder disminuir el error del pronóstico por debajo el umbral del 20% en promedio. Se analizó bajo qué condiciones meteorológicas el pronóstico presentan mayor o menor error, sin embargo no se logró encontrar un resultado concluyente, lo cual apunta a lo complejo del problema en cuestión. Se destaca la importancia de encontrar estrategias que permitan mejorar el pronóstico de deshielo estacional, en donde se hace imperativa, la

incorporación de metodologías que incluyan de manera explícita, los procesos de acumulación y derretimiento de nieve, y cómo estos varían espacial y temporalmente dentro de cada cuenca. Esto requiere de una mejora continua de nuestra capacidad de monitoreo nival en la Cordillera de Los Andes.

DIAGNOSIS OF THE FORECAST OF MELT FLOWS FOR THE IRRIGATION SEASON IN CHILE

Keywords: National hydrometric network, absolute error, relative error, linear multiple regression.

ABSTRACT

The snowmelt runoff forecast is a fundamental tool for planning water resource management during the spring-summer season, especially in regions with a strong agricultural component. The General Water Directorate (DGA) is responsible for producing the forecast for the Central and South-Central zones of Chile. This study aims to quantitatively assess the error in the DGA's snowmelt runoff forecast by comparing historical forecasts with observed streamflows, thereby obtaining seasonal and monthly values of absolute and relative errors for each analyzed basin. The results show that the average annual error mostly exceeds the 20% threshold declared by the DGA, indicating the need for methodological improvements to reduce forecast errors below the 20% threshold on average. The study also analyzed under which meteorological conditions the forecast presents greater or lesser error; however, no conclusive result was found, highlighting the complexity of the issue. The importance of finding strategies to improve seasonal snowmelt forecasts is emphasized, particularly through the incorporation of methodologies that explicitly include snow accumulation and melt processes, and how these vary spatially and temporally within each basin. This, in turn,

requires continuous improvement in our capacity to monitor snowpack in the Andes Mountains.

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son los cuerpos de agua dulce y salada que se encuentran disponibles en el planeta, pudiendo ser aguas superficiales o subterráneas. Estos recursos son indispensables para el desarrollo de la sociedad, ya sea para consumo humano (agua potable), riego agrícola, minería, hidroelectricidad, industria, pesca, turismo, entre otros.

Una de las grandes dificultades que enfrenta la Humanidad es la falta de agua dulce, más del 97% del agua de la Tierra es salada, cuyo aprovechamiento es complejo, además se estima un aumento creciente de la presión sobre este recurso (sobre explotación, crecimiento de la población, contaminación, cambio climático, otros), pudiendo generar daños irreparables a nuestros ecosistemas acuáticos (Baeza, 2018). Algunas estimaciones hablan de un consumo de agua mundial de aproximadamente 4.000 km³ al año, lo cual es el triple que consumía hace 50 años (Baeza, 2018). Cifra que se espera vayan al alza a una tasa de 1,6 % anual, llegando a tener un aumento en la demanda de un 55 % entre el 2000 y 2050 (Baeza, 2018). Por esta razón, es de suma importancia la regulación, planificación, monitoreo y cuidado de las fuentes de agua dulce disponibles en el planeta.

Cabe destacar, que el impacto que genera la extracción o intervención de las fuentes de agua para su posterior uso, es típicamente local, es decir, la gestión de los recursos hídricos y el balance hídrico debe realizarse a escala de cuenca hidrográfica “Un enfoque de cuenca como unidad de análisis, planificación y gestión es a menudo necesario para evitar el riesgo de un

incremento de las externalidades negativas por un inadecuado manejo del agua” (HIDRICA CONSULTORES, ERIDANUS, 2020). Existen algunas excepciones que hay que considerar, por ejemplo, en un trasvase de cuenca, en donde se extrae agua de una cuenca para alimentar otra. En estos casos hay que incorporar el caudal de trasvase en la gestión y balance hídrico dentro de una cuenca.

Una cuenca hidrográfica es la unidad espacial básica o elemental de la hidrología, que consiste en toda la superficie terrestre dentro de la cual las aguas precipitadas son drenadas por un río o una red de cauces hasta un punto de salida, que típicamente está definido por una estación fluviométrica. Estas se definen en función de su topografía, debido a que son las condiciones geomorfológicas las que permiten que las aguas continentales fluyan superficialmente. (Dirección General de Aguas, 2015).

La cuenca hidrográfica se compone principalmente por un área aportante (que contribuye con escorrentía), un cauce principal (que le da el nombre a la cuenca) y una línea divisoria de aguas (que separa una cuenca de otra). Bajo estos parámetros Chile posee 101 cuencas hidrográficas que ocupan 756.102 km² de territorio (Dirección General de Aguas, 2015). La red de drenaje se compone de 1.251 ríos, 12.784 cuerpos de agua (lagos y lagunas) y además de 24.114 glaciares. Toda la escorrentía que circula en forma superficial por las diferentes cuencas, es generada directa o indirectamente por la precipitación, teniendo esta un promedio a nivel país de 1.525 mm/año y un caudal de escorrentía promedio a nivel país de 29.245 m³/s (Dirección

General de Aguas, 2015). Cifra con la cual se podría llenar en un año 165 veces la Laguna de La Laja (Dirección General de Aguas, 2015).

Según el Atlas de Agua de Chile 2016, somos una nación privilegiada en materia de recursos hídricos debido a que la escorrentía media total, equivale a un promedio de 51.218 m³/persona/año, mayor que la media mundial de 6.600 m³/persona/año y muy superior al valor de 2.000 m³/persona/año considerado internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible. No obstante, al analizar la escorrentía por región, estos valores tienen una desviación estándar alta con respecto al promedio nacional, lo cual refleja la heterogeneidad hídrica y geográfica del país. A modo de ejemplo, desde la Región Metropolitana hacia el norte, se considera zona de escasez debido a que la escorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m³/persona/año, mientras que las regiones de O'Higgins hacia el sur superan los 7.000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m³/persona/año en la Región de Aysén (Dirección General de Aguas, 2015). Esto se produce debido a lo extenso que es Chile longitudinalmente hablando, alcanzando los 4.270 km de largo (Dirección General de Aguas, 2015).

Los recursos hídricos en Chile son disputados por diferentes usuarios para distintos propósitos, los cuales captan, consumen y en algunos casos devuelven el agua a la cuenca alterando el ciclo hidrológico. El consumo de agua que luego de ser captada deja de estar disponible para otros usuarios en la cuenca, se le denomina Huella Hídrica, y esta se puede clasificar en

huella hídrica azul, que es cuando el consumo de agua dulce es extraído de fuentes superficiales y/o subterráneas, y huella hídrica verde, que se refiere al consumo de aguas lluvia (Fundación Chile, 2022). La huella hídrica azul de nuestro país se observa en detalle en la figura 1, mientras que la huella hídrica verde se puede apreciar en la figura 2.

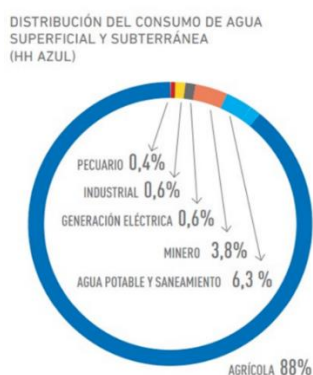


Figura 1. Distribución de la Huella Hídrica Azul en Chile (Fundación Chile, 2022).

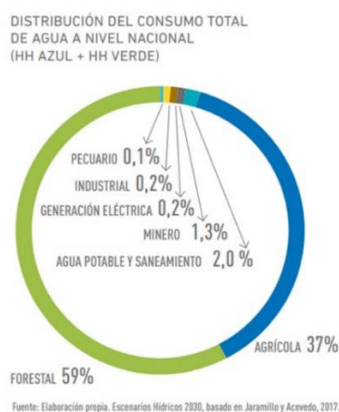


Figura 2. Distribución del consumo total de agua en Chile (Huella Hídrica Azul más Huella Hídrica Verde) (Fundación Chile, 2022).

Para el caso de la macrozona centro de Chile (zona de riego agrícola), con una superficie de 78.482 km², precipitación promedio de 943 mm/año y compuesta por las regiones de Valparaíso, Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins y del Maule, el recurso de agua de toda la temporada de riego (Septiembre-Marzo) depende principalmente del derretimiento de la nieve acumulada en la época invernal, debido a que esta zona posee un clima mediterráneo, que se caracteriza por precipitaciones moderadas que se concentran en invierno y una estación seca prolongada de 7 a 8 meses (Dirección General de Aguas, 2015). Por lo tanto, el factor determinante de esta zona para hacer una buena planificación hídrica, es cuantificar el caudal del río producto de los deshielos. Si se logra tener una adecuada predicción de éste, se podrá tener una mejor gestión hídrica. Es por esta razón que es muy importante conocer el estado de la acumulación de nieve en la cordillera y sus dinámicas de derretimiento, para poder así estimar la cantidad de agua que aportará al caudal de los ríos en los periodos de mayor demanda.

Los caudales de deshielo en Chile se generan principalmente en la Cordillera de los Andes, abasteciendo de recursos hídricos a un 70% de la población (Bórquez, Larraín, Polanco, Urquidi, 2006). Debido a su altura, este cordón montañoso posee gran cantidad de glaciares, fuentes de agua congelada y acumulación nival, que a través del proceso de acumulación y derretimiento estacional, permiten la regulación hídrica de las cuencas, el abastecimiento

de los ecosistemas, la población y las actividades productivas en gran parte del país (Bórquez, Larraín, Polanco, Urquidi, 2006).

El derretimiento de glaciares y nieve tiene mayor importancia para el abastecimiento de agua en las zonas con estaciones secas, las cuales son periodos anuales de pocas precipitaciones que se dan principalmente en verano. Para los períodos de menor caída de nieve, aflora el hielo más antiguo y sucio, generándose menor reflectancia, y mayor absorción solar por parte del glaciar, y con ello mayor derretimiento (Milana, 1998). En caso contrario, durante los años con mayor caída de nieve, la reflectancia aumenta, disminuyendo la fusión y la esorrentía de agua desde los glaciares (Milana, 1998).

1.1. Modelación del manto de nieve

Existen varias metodologías para calcular la cantidad de nieve o hielo derretido, dependiendo de la ubicación geográfica, el clima, la topografía del lugar, entre otros. No siempre las fórmulas teóricas se adecuan bien al terreno en estudio, razón por la cual se han desarrollan ecuaciones empíricas que funcionan de manera adecuada, pero solo para una cuenca en particular. En términos generales, existen dos que se utilizan de manera universal para el cálculo de derretimiento de nieve, una es la metodología del balance energía y la otra es el método del factor Grado-día (Alvarado, Kurosawa, 2005).

El balance de energía consiste en cuantificar todos los flujos de energía que entran y salen del manto nival. Una vez que el manto nival llega a cero grados (es considerado isoterma a 0°C), cualquier remanente de energía del balance es utilizado para derretir la nieve.

La Ecuación de balance de energía del manto nival, asumiendo un cambio interno de energía despreciable, es:

$$Q_m = Q_{rol} + Q_{roc} + Q_H + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{\Delta t} + Q_s \quad [1]$$

Los componentes del balance de energía se presentan a continuación:

Q_m = Energía para el derretimiento (W/m^2).

Q_{rol} = Radiación de onda larga neta (incidente – reflejada) (W/m^2).

Q_{roc} = Radiación de onda corta neta (incidente – reflejada) (W/m^2).

Q_H = Energía otorgada por la lluvia (W/m^2).

Q_{cond} = Flujo de calor latente turbulento (energía utilizada en procesos de condensación, evaporación y sublimación) (W/m^2).

$Q_{\Delta t}$ = Flujo de calor sensible turbulento (energía utilizada al cambiar la temperatura de un cuerpo) (W/m^2).

Q_{conv} = Calor cedido por convección (W/m^2).

Q_s = Intercambio de calor entre la nieve y el suelo (W/m^2).

El método del balance de energía necesita una gran cantidad de datos meteorológicos para ser utilizado, los cuales pueden ser difíciles de obtener, razón por la cual históricamente se han utilizado metodologías más

simplificadas como el método del factor grado-día. Este método representa una relación empírica entre la temperatura media del día, una temperatura de referencia y cuanta nieve se derrite en cada intervalo de tiempo

La Ecuación del método del grado-día es la siguiente:

$$M = DDF * (t_a - t_b) \quad [2]$$

El factor de grado día debe ser calibrado para cada aplicación en particular, y sus componentes son:

M= Derretimiento (mm/día).

DDF= Factor grado-día (mm/°C día).

t_a= Temperatura media diaria del aire (°C).

t_b= Temperatura base (°C).

Si bien este método ha sido y sigue siendo muy utilizado, la mayor disponibilidad actual de datos meteorológicos ha permitido la implementación de modelos más robustos basado en el balance de energía, basado en los principios físicos y termodinámicos de la nieve.

Una vez calculada la cantidad de nieve o hielo derretido, se debe determinar cuánto de este derretimiento se convierte en escorrentía que llega a los ríos, es decir, saber los caudales aportante por deshielos. Tener un conocimiento anticipado de estos, nos permitirá planificar y optimizar su uso, favoreciendo principalmente la generación de energía y la agricultura.

Al tener un buen registro de caudales en épocas de deshielo y estadísticas de variables meteorológicas, se puede generar un pronóstico de caudales,

que nos permitirá determinar con la máxima exactitud los caudales que se producirán en el periodo de deshielo en una cuenca determinada.

1.2. Pronóstico de Caudales de Deshielo en otros países

Existen múltiples modelos matemáticos y computacionales específicos para el área en estudio, que simulan los caudales que se generaran en un cierto periodo de tiempo, a través de datos de entrada, factores climáticos y meteorológicos.

A modo de comparación, en otros países destacan otros métodos para predecir la respuesta hidrológica de las cuencas en estudio. En Estados Unidos, el Modelo Nacional de Agua (NWM, por sus siglas en inglés) es un marco de modelación hidrológico que simula el caudal observado y pronosticado en todo el territorio continental de los Estados Unidos (CONUS), utilizando el modelo hidrológico de pronóstico e investigación meteorológica (WRF-Hydro). WRF-Hydro consiste en simular el ciclo del agua con representaciones matemáticas de los diferentes procesos físicos, tales como el derretimiento de la nieve, la infiltración y el movimiento del agua en las capas de suelo, considerando factores como cambio de elevaciones, suelos, tipos de vegetación, variabilidad de precipitaciones en tiempos y distancias cortas, etc.

El NWM produce una guía hidrológica a una escala espacial y temporal muy fina, ya que ejecuta análisis desacoplados (simulaciones de las condiciones

actuales) con períodos retrospectivos que van desde 28 horas hasta 3 horas y proporciona información hidrológica en cuadrículas de 1 km y 250 m (Office of Water Prediction, 2023).

En Sudamérica, destaca la predicción de caudales medios mensuales totales en los ríos de Colombia, para una mejor gestión en el sector hidroeléctrico. Se analizan cinco metodologías: Redes Neuronales Artificiales, Redes Adaptativas Neuro-Difusas, Análisis Espectral Singular, Modelo Estructural y Modelo Físico (Smith, Vélez, Velásquez, Ceballos, Correa, Góez, Hernández, Solazar, Zapata, 2004). Además de un software que apoya la predicción de caudales incluyendo las metodologías mencionadas, acompañadas de variables macroclimáticas predichas. Estos modelos fueron aplicados con datos de estaciones de medición de caudal pertenecientes al Sistema de Generación de Energía Eléctrica de Colombia, para intervalos de predicción de uno, tres, seis y doce meses (Smith, Vélez, Velásquez, Ceballos, Correa, Góez, Hernández, Solazar, Zapata, 2004). Debido a la complejidad de las relaciones por modelar, no son suficientes los resultados que se obtienen con un solo modelo, es por eso que se utilizó varios modelos que puedan ofrecer un conocimiento más acertado de lo que está sucediendo, para así lograr un buen pronóstico de caudales medios mensuales que mejore la toma de decisiones en el Mercado Mayorista de Energía en Colombia.

1.3. Pronóstico de Caudales de Deshielo en Chile

En el contexto nacional, la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), realiza todos los años un pronóstico de caudales de deshielo para la temporada de riego en Chile, a partir del registro y análisis de los datos de las estaciones fluviométricas y meteorológicas de la “Red Nacional

Hidrométrica DGA”, ubicadas en las zonas altas de las cuencas. Este organismo del Estado, es el encargado de promover la gestión y administración de los recursos hídricos del país en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, destacando en: mejorar la información de los recursos hídricos, gestión estratégica para las cuencas, promover la constitución de OUA (Organizaciones de Usuarios de Agua), fiscalización, tramitación, y legislación del agua, contribuyendo al buen funcionamiento del mercado del agua (Dirección General de Aguas, 2021).

Con respecto al pronóstico que realizan, este tiene el objetivo de ser una herramienta de trabajo para todos los usuarios y actores vinculados al agua, pudiendo así realizar una mejor gestión hídrica en los próximos meses.

El pronóstico de caudales de deshielo se realiza para la temporada de riego, correspondiente al periodo entre los meses de Septiembre del año en curso y Marzo de próximo año, con datos recopilados hasta el 31 de agosto del año en curso. Las proyecciones de caudales se entregan junto a los promedios históricos a modo de comparación (normales climáticas 1991-2020), y la

distribución mensual de caudales medios puede tener fluctuaciones debido a irregularidades de las variables meteorológicas. El pronóstico ha sido elaborado para las zonas de riego del país, que considera 19 cuencas cordilleranas comprendidas desde los ríos Copiapó y Ñuble, sin considerar subdivisiones, por lo cual los resultados no se aplican a cuencas más pequeñas, intermedias o de secano, que presenten condiciones hidrológicas diferentes (Dirección General de Aguas, 2021).

El error esperado de este pronóstico es del 20% máximo, y esto depende de la cantidad y calidad de datos disponibles en cada cuenca. Los volúmenes que se pronostican corresponden al régimen natural de río, es decir, sin considerar intervenciones o extracciones, aguas arriba de las estaciones de monitoreo (Dirección General de Aguas, 2021).

La relevancia de la seguridad hídrica que se da en esta investigación va de la mano con mediciones históricas sobre déficit de lluvias y desertización en Chile, que se suma a las constantes disputas de los diferentes actores por el agua debido al déficit hídrico. Un mejor pronóstico de caudales de deshielo para la temporada de riego, que es cuando aumenta de la demanda por el recurso, podría contribuir a una mejor gestión y planificación de los recursos hídricos en Chile.

1.4. Área de estudio

El área de estudio comprende desde el río Copiapó en la III región del país, en el inicio del norte chico, hasta el río Ñuble ubicado en la XVI región perteneciente a la zona central, incluyendo las principales cuencas precordilleranas de Chile. En estas zonas, la DGA lleva realizando el pronóstico de caudales de deshielo desde la temporada de riego 1974-1975 y hasta la fecha han analizado 30 cuencas, de las cuales solo continúan 19 (ver Tabla 1). Las cuencas vigentes se encuentran ubicadas entre los ríos Copiapó y Ñuble, abarcando la Zona del Norte Chico y Zona Central del país, las cuales corresponden a la zona de riego agrícola en Chile. Recalcar que todas las estaciones fluviométricas analizadas están ubicadas en las zonas precordilleranas de nuestro país, donde el deshielo domina la respuesta hidrológica. Las cuencas analizadas por este estudio se especifican en la Tabla 2.

Tabla1. Cuencas analizadas por el Pronóstico de Caudales de la DGA desde la temporada 1974 hasta la temporada 2023 (temporada de riego inicia en Septiembre del año en curso y termina en Marzo del año siguiente), con sus respectivas características generales obtenidas de la red hidrométrica nacional y la base de datos CAMELS-CL.

Nº	Cuenca	Código BNA estación	Elevación estación (m s.n.m.)	Elevación media (m s.n.m.)	Área aportante (km2)	Región	Periodo con pronósticos	Nº de años con pronósticos	Vigente
1	Copiapó en Pastillo	03430003-8	1300	3650	7463,9	III	2011-2023	13	Si
2	Huasco en Algodones	03820001-1	750	3394	7199,7	III	1980-1991/1996-2021	38	No
3	Huasco en el Maitén	03820009-7	S/I	S/I	S/I	III	2022-2023	2	Si
4	Elqui en Algarrobal	04320001-1	760	3418	5669,7	IV	1977-2023	47	Si
5	Hurtado en San Agustín	04501001-5	2035	3724	672,4	IV	2014-2023	10	Si
6	Grande en las Ramadas	04511002-8	1380	3098	568,5	IV	1974-1981/2006-2023	26	Si
7	Choapa en Cuncumén	04703002-1	1200	3142	1131,6	IV	1974-2023	50	Si
8	Aconcagua en Chacabuquito	05410002-7	950	3178	2113,4	V	1979-2023	45	Si
9	Putando Resguardo Patos	05414001-0	1218	2921	885,3	V	1974/2013-2023	12	Si
10	Juncal en Juncal	05401003-6	1800	3662	343,1	V	2014-2024	11	Si
11	Mapocho en los Almendros	05722002-3	966	2779	638	RM	1974-2023	50	Si
12	Maipo en el Manzano	05710001-k	850	3181	4839	RM	1974-2023	50	Si
13	Colorado antes junta Maipo	05707002-1	908	3419	1662,8	RM	2013-2023	11	Si

Continuación tabla anterior.

14	Cachapoal en Puente Termas	06008005-4	697	2640	2461,6	VI	1984- 1999/2004- 2023	36	Si
15	Claro en Hacienda Las Nieves	06013001-9	720	2078	245	VI	2013-2023	11	Si
16	Tinguiririca en B. Briones	06028001-0	560	2550	1438,3	VI	1974-2023	50	Si
17	Teno después de Junta	07104002-k	647	2090	1205,3	VII	1975-2023	49	Si
18	Claro en Los Queñes	07103001-6	664	1857	354,4	VII	2014-2023	10	Si
19	Maule en Armerillo	07321002-k	470	2047	5469	VII	1975-2023	49	Si
20	Ñuble en San Fabián 2	08106002-9	442	1601	1645,6	XVI	1974-2023	50	Si
21	Copiapó en la Puerta	03431001-7	874	3477	8347	III	1984-2010	27	No
22	Grande en Puntilla S.J.	04523002-3	423	2484	3529,4	IV	1982-2005	24	No
23	Huasco en Santa Juana	03820003-8	553	3344	7383,9	III	1992-1995	4	No
24	Yeso en Embalse	05703008-9	2486	S/I	S/	RM	1984-1992	9	No
25	Hurtado en Angostura de Pangue	04503001-6	497	2554	1837,3	IV	1984-1987	4	No
26	Tránsito en Angostura de Pinte	03804002-2	1195	3640	3044,3	III	1984	1	No
27	Carmen en San Felix	3814001	1098	3614	2796	III	1984	1	No
28	Aconcagua en Rio Blanco	05403002-9	1411	3468	894,7	V	1974-1978	5	No
29	Claro en Montegrande	4314001	1074	3329	1249,1	VII	1975-1976	2	No

Continuación tabla anterior.

30	Molles en Ojos de Agua	04520001-9	2372	3678	155,3	IV	1974	1	No
----	---------------------------	------------	------	------	-------	----	------	---	----

Donde S/I significa sin información, ya que ni en la red hidrométrica nacional ni en la base de datos CAMELS-CL se encontraron dichas características de la cuenca.

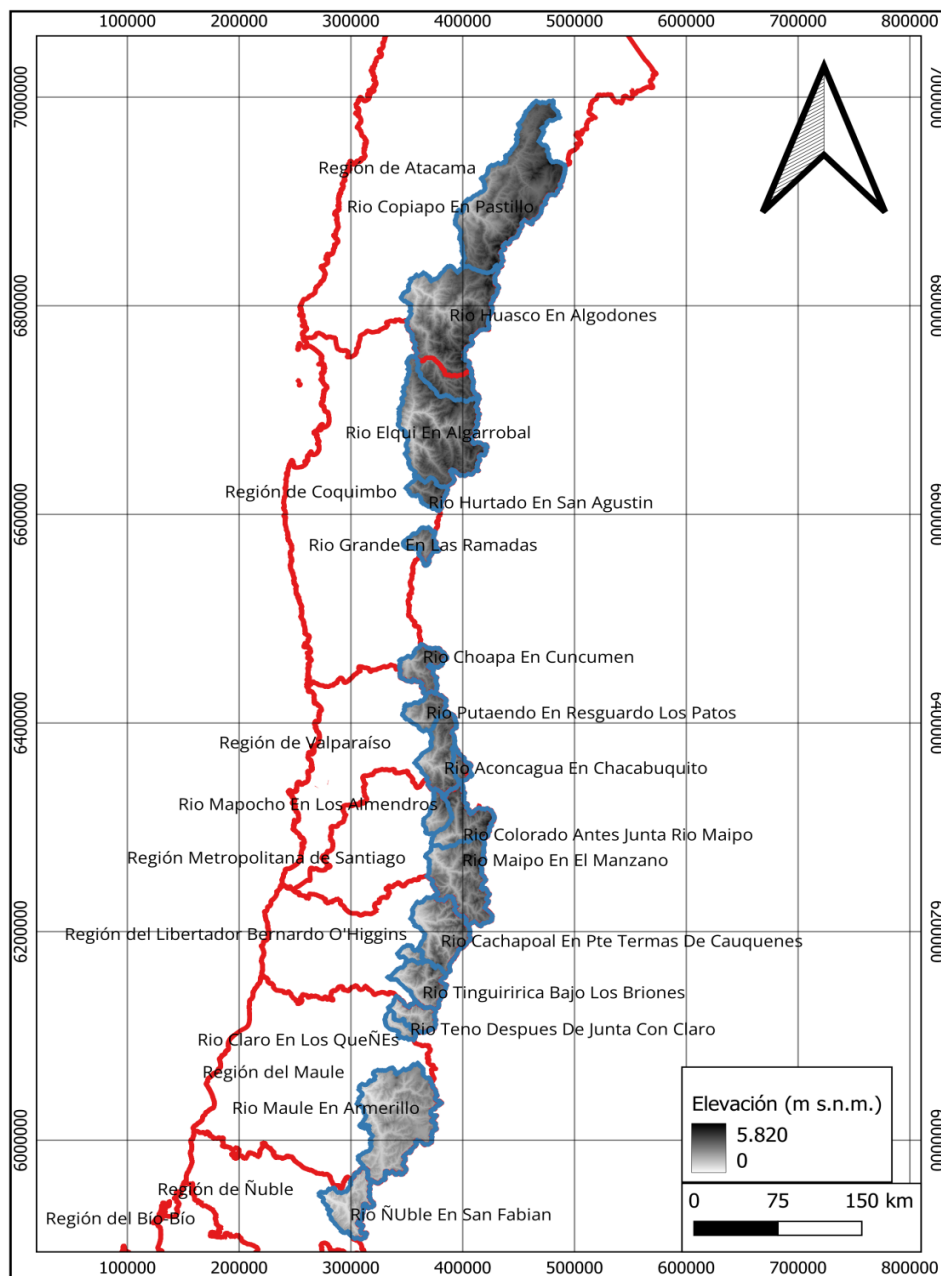


Figura 3. Ubicación de las cuencas de estudio, incluyendo el modelo digital de elevaciones en el actual Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, comprendidas entre los ríos Copiapó y Ñuble (SRC: WGS 84 Huso 19S).

Tabla 2. Cuencas analizadas (20) en este estudio.

Nº	Cuenca	Intervenciones aguas arriba	Comentarios
1	Copiapó en Pastillo	No	
2	Huasco en Algodones	No	
3	Huasco en el Maitén	No	
4	Elqui en Algarrobal	No	
5	Hurtado en San Agustín	No	
6	Grande en las Ramadas	No	
7	Choapa en Cuncumén	No	
8	Aconcagua en Chacabuquito	No	
9	Putando Resguardo Patos	No	
10	Juncal en Juncal	No	
11	Mapocho en los Almendros	No	
12	Maipo en el Manzano	No	
13	Colorado antes junta Maipo	No	
14	Cachapoal en Puente Termas	Si	Intervención de Central Hidroeléctrica Coya
15	Claro en Hacienda Las Nieves	No	
16	Tinguiririca en B. Briones	No	
17	Teno después de Junta	No	
18	Claro en Los Queñes	No	
19	Maule en Armerillo	Si	Mineras y desvíos de aguas para embalses varios
20	Ñuble en San Fabián 2	No	

Fuente: Elaboración propia.

1.5. Consideraciones del estudio

Las actuales cuencas analizadas por el Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, que corresponde a la temporada de riego 2023-2024, suman un total de 19. Sin embargo, para efectos de esta investigación se analizarán 20, incluyendo la cuenca Huasco en Algodones, debido a que tiene un gran

número de pronósticos (38), es más, el último fue en la temporada 2021-2022 que se consideran como datos recientes.

Las cuencas de Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, no se consideran en el análisis y en la discusión de resultados, debido a que su caudal de salida está intervenido aguas arriba de la estación fluviométrica, y como el pronóstico de caudales de deshielo de la DGA es para régimen natural de río, los resultados del error del pronóstico son incongruentes. La cuenca Cachapoal en Puente Termas presenta intervenciones de la Central Hidroeléctrica Coya y la cuenca Maule en Armerillo presenta intervenciones de mineras y desvíos de agua para embalses varios.

Para el caso puntual de la cuenca Ñuble en San Fabián, se tuvo que trabajar con datos de 2 estaciones fluviométricas, las cuales son Ñuble en San Fabián y Ñuble en San Fabián N° 2, debido a que la primera estación mencionada se dejó de operar por la DGA el año 1999, reemplazándose por la segunda estación mencionada que se ubica río arriba a pocos kilómetros de distancia. La estación Ñuble en San Fabián tiene un área aportante de 1657,9 km², un punto de salida ubicado a 428 m s.n.m. y datos de caudales desde el año 1979 hasta el 1999, por otro lado, la estación Ñuble en San Fabián N° 2 tiene un área aportante de 1645,6 km², un punto de salida a 442 m s.n.m. y datos de caudales desde el año 1999 hasta la actualidad. Para tener consistencia en los resultados se realizó una transposición de caudales por área para solo trabajar con los caudales medios mensuales de la estación Ñuble en San Fabián N° 2, de manera que los caudales de la

cuenca Ñuble en San Fabián se corrigen multiplicándose por el cociente entre las áreas aportantes de la cuenca Ñuble en San Fabián N° 2 y la cuenca Ñuble en San Fabián, por otro lado, los caudales de la cuenca Ñuble en San Fabián N° 2 se mantienen igual. En la siguiente fórmula se puede apreciar la transposición de caudales por área:

$$\frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_1}{A_1} \quad [3]$$

Dónde:

Q_2 = Caudal de salida medido por la estación fluviométrica Ñuble en San Fabián N° 2.

Q_1 = Caudal de salida medido por la estación fluviométrica Ñuble en San Fabián.

A_2 = Área aportante de la cuenca Ñuble en San Fabián N° 2.

A_1 = Área aportante de la cuenca Ñuble en San Fabián.

Posteriormente se despeja Q_2 :

$$Q_2 = Q_1 * \frac{A_2}{A_1} \quad (4)$$

De esta forma obtenemos un caudal representativo de la cuenca Ñuble en San Fabián N° 2 a partir de los caudales de la cuenca Ñuble en San Fabián.

2. HIPOTESIS

El error del pronóstico estacional de deshielo es altamente variable de cuenca en cuenca y de año en año, debido a la gran variabilidad de las características locales de cada una, y por la limitada capacidad que tenemos de cuantificar debidamente las variables meteorológicas a escala de cuenca. Por otro lado, ya que el pronóstico no considera de manera explícita la heterogeneidad y evolución del manto nival durante la temporada de acumulación y deshielo en cada cuenca aportante, es que se espera que el error en el pronóstico estacional de deshielo pueda estar por sobre el umbral del 20% para algunas cuencas o años en particular.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la capacidad de predicción del pronóstico de caudales de deshielo estacional realizado por la DGA en las zonas de riego del norte chico y la zona central del país (entre los ríos Copiapó y Ñuble).

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Cuantificar el poder predictivo del pronóstico estacional de deshielo de la DGA, identificando aquellas cuencas donde el pronóstico sea más acertado.
- Evaluar si existe una relación estadística entre la precipitación y la temperatura estacional con el error del pronóstico de deshielo.
- Identificar bajo qué condiciones meteorológicas (ej., año seco vs año húmedo, año cálido vs año frío) el pronóstico de caudales de deshielo estacional de la DGA es más acertado.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción de bases de datos

4.1.1. CAMELS-CL

La base de datos CAMELS-CL, integra información física e hidrometeorológica de cuencas de todo Chile, específicamente de las cuencas aportantes de 516 estaciones fluviométricas, conteniendo registros de caudales diarios que en conjunto con distintos productos grillados, imágenes satelitales, modelos matemáticos, reanálisis atmosféricos, datos públicos de derechos de agua, ubicación de embalses e información topográfica y geológica, generan series hidrometeorológicas promediadas a escala de cuenca. Estas series son las siguientes: series de precipitación diaria, series diarias de temperatura extremas (máximas y mínimas), series de evapotranspiración potencial (acumulada a 8 días y a escala diaria), y series diarias de equivalente en agua de nieve (Alvarez-Garreton, Mendoza, Boisier, Addor, Galleguillos, Zambrano-Bigiarini, Lara, Puelma, Cortes, Garreaud, McPhee, Ayala, 2018).

4.1.2. Red hidrométrica nacional

La red hidrométrica nacional de la DGA, cuenta con 1330 estaciones que transmiten datos en línea a través del sistema satelital o de GPRS, que miden los siguientes parámetros: fluviométricas (caudal, nivel y temperatura

del agua), meteorológicos (precipitación, temperatura y humedad relativa del aire), calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, turbiedad y otros), nivométricos (altura de nieve y nieve equivalente en agua), como así también, los niveles y volúmenes de embalses y lagos. En su mayoría, los datos se entregan cada 1 hora y puede sufrir modificaciones (Dirección General de Aguas, 2024).

4.1.3. CR2MET v2.5 beta

CR2MET es un conjunto de datos que incluyen dos productos distribuidos espacialmente, uno de precipitación diaria y otro de temperaturas máximas/mínimas cercanas a la superficie. La distribución espacial de estos datos meteorológicos, consiste en grillas o cuadrículas regulares de 0,05 grados de latitud-longitud, dentro del territorio continental de Chile, entre el período de 1960 a 2021. Estos productos de precipitación y temperatura se generaron con modelos estadísticos, los cuales fueron calibrados con registros de observaciones controladas por calidad, aparte de lo dicho anteriormente, estos modelos se nutren con una combinación de datos que incluyen diferentes variables del reanálisis ECMWF ERA5, parámetros topográficos y estimaciones de temperatura de la superficie terrestre del sensor satelital de radiómetro de imagen de resolución moderada (MODIS) (Boisier, 2023).

4.1.4. ERA 5

ERA5 es la quinta generación de reanálisis del ECMWF (Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Mediano Plazo) para el clima global y el tiempo de las últimas ocho décadas. Los datos están disponibles desde 1940 en adelante. ERA5 reemplaza al reanálisis ERA-Interim.

El reanálisis combina datos de modelos con observaciones de todo el mundo en un conjunto de datos globalmente completo y coherente utilizando las leyes de la física. Este principio, llamado asimilación de datos, se basa en el método empleado por los centros de predicción numérica del tiempo, donde cada cierto número de horas (12 horas en el ECMWF) un pronóstico previo se combina con observaciones recientemente disponibles de manera óptima para producir una nueva estimación del estado de la atmósfera, denominada análisis, a partir de la cual se emite un pronóstico actualizado y mejorado. El reanálisis funciona de la misma manera, pero con una resolución reducida para permitir la provisión de un conjunto de datos que abarque varias décadas. El reanálisis no tiene la restricción de emitir pronósticos oportunos, lo que permite más tiempo para recopilar observaciones y, al retroceder más en el tiempo, para incluir versiones mejoradas de las observaciones originales, lo que beneficia la calidad del producto de reanálisis (Hersbach y otros, 2020).

4.2. Recopilación de datos y diagnóstico del pronóstico de deshielo

El primer paso de esta investigación, consistió en recopilar y descargar todos los Pronósticos de Caudales realizados por la DGA, a través de la Biblioteca Digital de la DGA (Dirección General de Aguas, 2024). En total se encontraron 50 Pronósticos, el más antiguo correspondía a la temporada de riego 1974-1975 y continuaban anualmente hasta llegar a la temporada 2023-2024, que sería el informe más reciente. Cada documento era un informe detallado de la situación hidrológica del país, en el cual se incluía un pronóstico de caudales mensuales en formato de tabla, correspondientes a los meses de Septiembre a Marzo, para cada estación fluviométrica analizada. Dicho pronóstico en formato de tabla, se ordenó cuidadosamente en un archivo Excel, en el cual cada hoja de cálculo le correspondía a una temporada de riego. Después de un estudio exhaustivo de la información recopilada, se tomó la decisión que para esta investigación, se trabajará con 20 cuencas hidrográficas de un universo de 30, debido a que hay cuencas con pocos pronósticos y además muy antiguos, por lo cual no es relevante estudiarlas. Este diagnóstico se centró en las 19 estaciones fluviométricas analizadas en el Pronóstico de Caudales 2023-2024, más la cuenca Huasco en Algodones que se dejó de pronosticar en la temporada 2021-2022, debido a que el objetivo de esta investigación, es proporcionar información reciente y actual de la predicción de caudales en los ríos de Chile.

Una vez recopilados los datos de caudales pronosticados, se requieren los datos de caudales observados, para así poder diagnosticar la capacidad de

predicción del pronóstico cuantificando su error, por lo cual, los antecedentes históricos de caudales medios mensuales se descargaron de la red hidrométrica nacional (Dirección General de Aguas, 2024) y de la base de datos CAMELS-CL (Alvarez-Garreton, Mendoza, Boisier, Addor, Galleguillos, Zambrano-Bigiarini, Lara, Puelma, Cortes, Garreaud, McPhee, Ayala, 2018). Los valores de caudales mensuales, tanto pronosticados como observados, se analizaron uno a uno usando las siguientes formulas:

$$EA = |Q_P - Q_O| \quad [5]$$

$$ER = \frac{|Q_P - Q_O|}{Q_O} * 100 \quad [6]$$

Dónde:

EA= Error absoluto entre el caudal pronosticado y observado de una cuenca específica, para un determinado mes y año (m³/s).

ER= Error relativo entre el caudal pronosticado y observado de una cuenca específica, para un determinado mes y año (%).

Q_P= Caudal medio mensual pronosticado de una cuenca específica, para un determinado mes y año (m³/s).

Q_O= Caudal medio mensual observado de una cuenca específica, para un determinado mes y año (m³/s).

Luego, para cada una de las cuencas en estudio, se calculan los errores estacionales y volúmenes estacionales, los cuales engloban una temporada de riego de Septiembre a Marzo, y los errores mensuales que son representativos de un mes en particular.

$$EA \text{ m. e.} = \frac{\sum_{i=1}^7 EA_i}{7} \quad [7]$$

$$V_P = \sum_{i=1}^7 86400 * ND_i * Q_{P_i} \quad [8]$$

$$V_O = \sum_{i=1}^7 86400 * ND_i * Q_{O_i} \quad [9]$$

$$ER \text{ m. e.} = \frac{|V_P - V_O|}{V_O} * 100 \quad [10]$$

$$EA \text{ m. c.} = \frac{\sum_{j=1}^n EA \text{ m. e.}_j}{n} \quad [11]$$

$$ER \text{ m. c.} = \frac{\sum_{j=1}^n ER \text{ m. e.}_j}{n} \quad [12]$$

$$EA \text{ m. m.} = \frac{\sum_{k=1}^m EA_k}{m} \quad [13]$$

$$ER \text{ m. m.} = \frac{\sum_{k=1}^m ER_k}{m} \quad [14]$$

Dónde:

EA m.e.= Error absoluto medio estacional, corresponde al promedio de los errores absolutos (EA) de una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular (m³/s).

V_P= Volumen pronosticado medio estacional, corresponde al volumen de agua pronosticado para una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular (m³).

V_o = Volumen observado medio estacional, corresponde al volumen de agua observado para una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular (m^3).

ER m.e.= Error relativo medio estacional, corresponde al error relativo entre el volumen pronosticado medio estacional (V_P) y el volumen observado medio estacional (V_o) de una temporada de riego de Septiembre a Marzo, para una cuenca y año en particular (%).

86400= segundos de un día (s/día).

ND= Número de días de un determinado mes (día).

i = contador de meses de una temporada de riego, donde 1 es Septiembre, 2 es Octubre, 3 es Noviembre, 4 es Diciembre, 5 es Enero, 6 es Febrero y 7 es Marzo.

EA m.c.= Error absoluto medio de la cuenca, corresponde al promedio de todos los errores absolutos medios estacionales (EA m.e.) disponibles, de una determinada cuenca (m^3/s).

ER m.c.= Error relativo medio de la cuenca, corresponde al promedio de todos los errores relativos medios estacionales (ER m.e.) disponibles, de una determinada cuenca (%).

j = contador de temporadas de riego de Septiembre a Marzo, con pronóstico de deshielo.

n = número de temporadas de riego de Septiembre a Marzo, con pronóstico de deshielo disponible por cuenca.

EA m.m.= Error absoluto medio mensual, corresponde al promedio de todos los errores absolutos (EA) disponibles, para un mes en específico de una determinada cuenca (m^3/s).

ER m.m.= Error relativo medio mensual, corresponde al promedio de todos los errores relativos (ER) disponibles, para un mes en específico de una determinada cuenca (%).

k= contador de errores absolutos (EA) y errores relativos (ER) para un determinado mes.

m= número de errores absolutos (EA) y errores relativos (ER) disponibles, para un mes en específico de una determinada cuenca.

Los resultados de este análisis serían la primera fase del diagnóstico, debido a que se logró cuantificar el error del Pronóstico de Caudales de la DGA. Esta información se ordenó en dos tablas resumen, una para cada tipo de error, en las cuales se logra visualizar los errores medios mensuales y los errores medios de la cuenca, para las 20 cuencas estudiadas.

4.3. Correlación del error del pronóstico de deshielo con variables meteorológicas

La segunda etapa de esta investigación, consistió en recopilar información meteorológica de las cuencas analizadas, específicamente datos de temperatura media y precipitación acumulada, con el fin de establecer una correlación entre estas variables meteorológicas y el error del pronóstico.

Las temperaturas mensuales de las 20 cuencas en estudio, para un periodo de 1979 hasta el 2024, se obtuvieron del producto grillado ERA5 global reanalysis (Hersbach, Bell, Berrisford, Hirahara, Horányi, Muñoz-Sabater, Nicolas, Peubey, Radu, Schepers, Simmons, Soci, Abdalla, Abellan, Balsamo, Bechtold, Biavati, Bidlot, Bonavita, De Chiara, Dahlgren, Dee, Diamantakis, Dragani, Flemming, Forbes, Fuentes, Geer, Haimberger, Healy, Hogan, Hólm, Janisková, Keeley, Laloyaux, Lopez, Lupu, Radnoti, De Rosnay, Rozum, Vamborg, Villaume, Thépaut, 2020). Con estos datos de temperatura se calcularon las temperaturas y Abril-Marzo:

$$T_{\text{media Abr-Ago}} = \frac{T_{\text{Abr}} + T_{\text{May}} + T_{\text{Jun}} + T_{\text{Jul}} + T_{\text{Ago}}}{5} \quad [15]$$

$$T_{\text{media Abr-Mar}} = \frac{T_{\text{Abr}} + \dots + T_{\text{Mar}}}{12} \quad [16]$$

Dónde:

$T_{\text{media Abr-Ago}}$ = Temperatura media de Abril a Agosto, corresponde al promedio de las temperaturas medias mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo (°C).

$T_{\text{media Abr-Mar}}$ = Temperatura media de Abril a Marzo, corresponde al promedio de las temperaturas medias mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego, más el promedio de las temperaturas medias mensuales de la temporada de riego de Septiembre a Marzo (°C).

Estas variables de temperatura se analizan a escala de cuenca, y buscan relacionar de qué manera su comportamiento, tanto previo como durante el pronóstico de caudales, afectan la capacidad de predicción de este mismo.

Las precipitaciones acumuladas mensuales de las 20 cuencas en estudio, para un periodo de 1979 hasta 2020, se obtuvieron del producto grillado CR2MET v2.5 beta (Boisier, 2023). Con estos datos se calculó la precipitación estacional entre los meses de abril a agosto de la siguiente forma:

$$Pp_{\text{acum Abr-Ago}} = Pp_{\text{Abr}} + Pp_{\text{May}} + Pp_{\text{Jun}} + Pp_{\text{Jul}} + Pp_{\text{Ago}} \quad [17]$$

Dónde:

$Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$ = Precipitación acumulada de Abril a Agosto, corresponde a la suma de las precipitaciones acumuladas mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo (mm).

Debido a que el producto grillado CR2MET v2.5 beta solo tiene datos hasta el 2020, las precipitaciones acumuladas del 2021 al 2023 se obtuvieron de una regresión lineal simple, entre la precipitación acumulada del CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional (Dirección General de Aguas, 2024). En esta regresión se relacionan los años de datos en común que tienen estas dos variables, generando una línea de tendencia con su respectiva ecuación ajustada, la cual nos permite obtener una variable de respuesta como la precipitación acumulada de Abril a Agosto, para los años en los cuales el CR2MET v2.5

beta no tiene datos. La regresión lineal simple se observa en la ecuación 18, y su respectiva pendiente se define en la ecuación 19:

$$PpL = M * Pp_{\text{acum Abr-Ago DGA}} + N \quad [18]$$

$$M = \frac{\Delta Pp_{\text{acum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta}}}{\Delta Pp_{\text{acum Abr-Ago DGA}}} \quad [19]$$

Dónde:

PpL= Regresión lineal simple de la precipitación acumulada de Abril a Agosto, obtenida a partir de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional (mm).

$Pp_{\text{acum Abr-Ago DGA}}$ = Precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida de la red hidrométrica nacional, correspondiente a la variable independiente de la regresión lineal simple (mm).

$Pp_{\text{acum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta}}$ = Precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida de producto grillado CR2MET v2.5 beta, correspondiente a la variable dependiente de la regresión lineal simple (mm).

M= Pendiente de la recta ajustada, entre las variables de precipitación acumulada obtenida del producto grillado CR2MET v2.5 beta y la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional (mm/mm).

N= punto de intersección con el eje "Y", de la recta ajustada entre las variables de precipitación acumulada obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional (mm).

Con esta recopilación de información meteorológica se realizó una serie de regresiones múltiples lineales, que relacionan una variable de respuesta como el error del pronóstico, tanto absoluto como relativo, con un conjunto de variables independientes llamadas predictores, que corresponden a la precipitación acumulada y temperatura media.

De este análisis se obtuvieron cuatro regresiones múltiples lineales por cuenca analizada, los cuales son los siguientes:

$$\text{ERL m. e.} = a_1 + b_1 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_1 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [20]$$

$$\text{ERL m. e.} = a_2 + b_2 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_2 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [21]$$

$$\text{EAL m. e.} = a_3 + b_3 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_3 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [22]$$

$$\text{EAL m. e.} = a_4 + b_4 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_4 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [23]$$

La descripción de estas ecuaciones se encuentra en anexos y apéndices como Ecuación 20, 21, 22 y 23.

Cada regresión múltiple lineal viene acompañada de sus respectivas estadísticas de la regresión, y un análisis de la significancia estadística de los coeficientes que acompañan a las variables independientes.

4.4. Análisis de tipo de año y su relación con el pronóstico de deshielo

Con la información meteorológica recopilada de las cuencas en estudio y el error relativo medio estacional (ER m.e.), se generó una clasificación de tipo de año meteorológico, definiendo si es año cálido o año frío, y si es año

húmedo o año seco, con el objetivo de identificar bajo qué condiciones de temperatura y precipitación el pronóstico de caudales de deshielo es más acertado.

Para poder realizar esta clasificación, se tuvieron que analizar los datos de precipitación y temperatura del periodo de Abril a Agosto, los cuales corresponden a los meses previos al pronóstico de caudales. Si la precipitación acumulada entre Abril-Agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$) es superior al promedio de esta misma, se considera como que ese año es de tipo húmedo, y si es igual o inferior se considera como año de tipo seco. El promedio de la precipitación acumulada para el periodo de Abril-Agosto se calcula de la siguiente forma:

$$\overline{Pp_{\text{acum Abr-Ago}}} = \frac{\sum_{i=1}^n Pp_{\text{acum Abr-Ago}}}{n} \quad [24]$$

$$Pp_{\text{acum Abr-Ago}} > \overline{Pp_{\text{acum Abr-Ago}}} \rightarrow \text{año húmedo} \quad [25]$$

$$Pp_{\text{acum Abr-Ago}} \leq \overline{Pp_{\text{acum Abr-Ago}}} \rightarrow \text{año seco} \quad [26]$$

Dónde:

$\overline{Pp_{\text{acum Abr-Ago}}}$ = Promedio de la Precipitación acumulada de Abril a Agosto (mm).

$Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$ = Precipitación acumulada de Abril a Agosto, corresponde a la suma de las precipitaciones acumuladas mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo (mm).

n = número de años con pronóstico de deshielo disponible por cuenca.

Para el caso de la temperatura media durante el periodo Abril-Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), si esta es superior a su promedio, se considera como que ese año es de tipo cálido, y si es igual o inferior se considera como año de tipo frío. El promedio de la temperatura media del periodo de Abril-Agosto se calcula de la siguiente manera:

$$\overline{T_{\text{media Abr-Ago}}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{media Abr-Ago}}}{n} \quad [27]$$

$$T_{\text{media Abr-Ago}} > \overline{T_{\text{media Abr-Ago}}} \rightarrow \text{año cálido} \quad [28]$$

$$T_{\text{media Abr-Ago}} \leq \overline{T_{\text{media Abr-Ago}}} \rightarrow \text{año frío} \quad [29]$$

Dónde:

$\overline{T_{\text{media Abr-Ago}}}$ = Promedio de la Temperatura media de Abril a Agosto (°C).

$T_{\text{media Abr-Ago}}$ = Temperatura media de Abril a Agosto, corresponde al promedio de las temperaturas medias mensuales de los meses que anteceden a la temporada de riego de Septiembre a Marzo (°C).

n = número de años con pronóstico de deshielo disponible por cuenca.

En consecuencia de esta clasificación, se generaron 4 combinaciones para definir un tipo de año meteorológico analizado por el pronóstico de caudales de deshielo de la DGA. Dichas combinaciones son: año seco-cálido, año seco-frío, año húmedo-cálido y año húmedo-frío.

Posteriormente, para cada cuenca en estudio se calculó el promedio de los errores relativos medios estacionales (ER m.e.) correspondiente a cada combinación de tipo de año.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Error relativo y absoluto del pronóstico de caudales de la DGA

El error relativo medio de cada cuenca (ER m.c.), se presenta en la figura 4, con su respectiva desviación estándar, y una línea en el 20% que representa el error máximo que declara la DGA en su informe anual de pronóstico de caudales de deshielo. El error absoluto medio de cada cuenca (EA m.c.), se presenta en la Figura 5 con una distribución en escala logarítmica en base 10, y con su respectiva desviación estándar. Debido a que los logaritmos no pueden ser negativos, tanto en la Figura 4 como en la 5, ciertas cuencas no presentan desviación estándar del promedio hacia abajo, ya que su límite inferior es menor a cero.

Las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo no se presentan ni en la Figura 4 ni en la 5, ya que sus resultados carecen de toda lógica debido a intervenciones aguas arriba de su estación de monitoreo.

La distribución mensual del error relativo medio (ER m.m.) y el error absoluto medio (EA m.m.) para 18 de las 20 cuencas en estudio, se puede ver en las Tablas 3 y 4 respectivamente. Las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, no se presentan en dichas tablas por intervenciones río arriba.

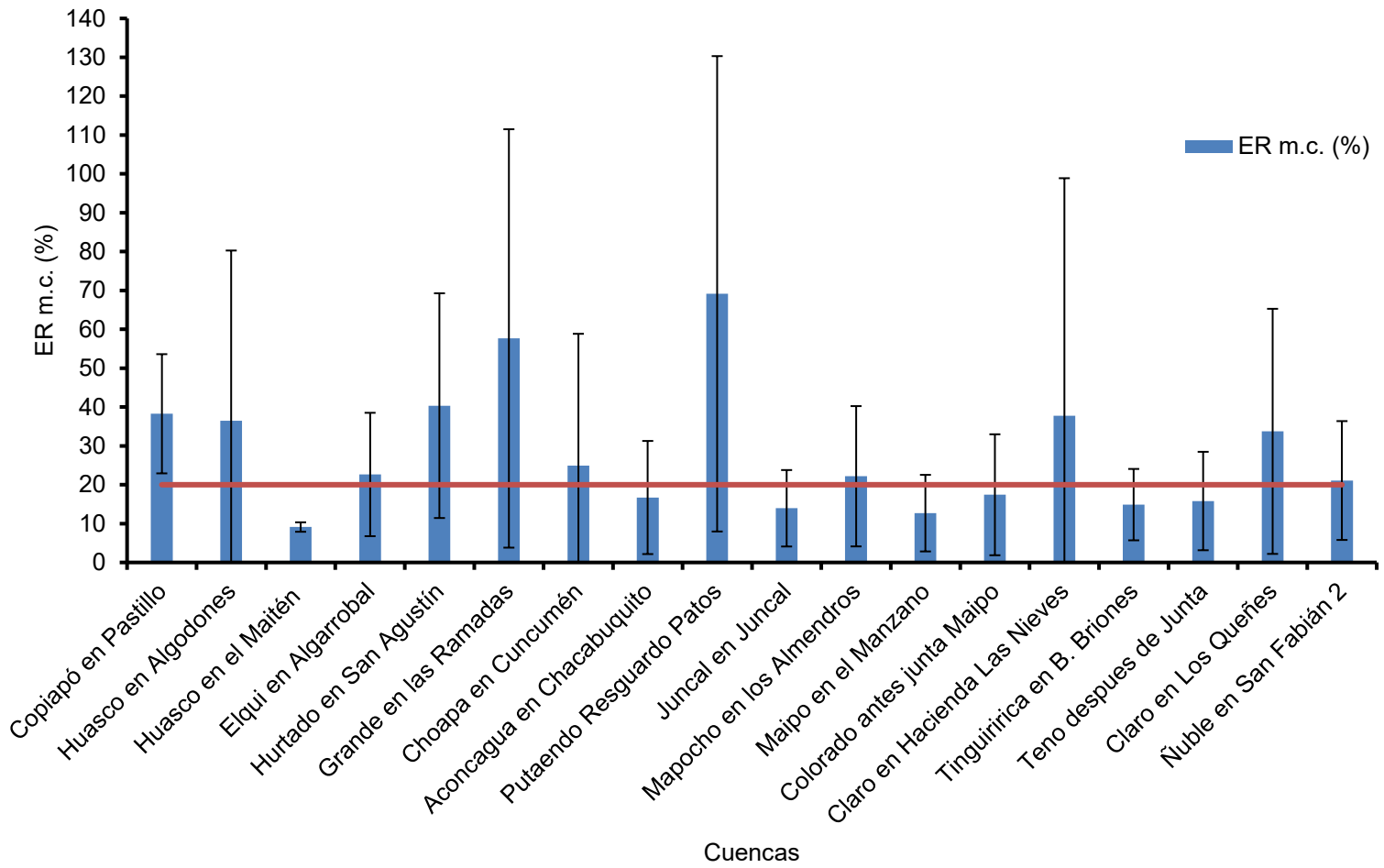


Figura 4. Error relativo medio por cuenca (ER m.c., %), con su respectiva desviación estándar, para cada 18 de las 20 cuencas en estudio, exceptuando Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

De la Figura 4, se puede observar que las cuencas Huasco en el Maitén, Aconcagua en Chacabucuito, Juncal en Juncal, Maipo en el Manzano, Colorado antes junta Maipo, Tinguiririca en B. Briones y Teno después de Junta, presentan un Error relativo medio de la cuenca (ER m.c.) inferior al 20%, por ende, siete de las 20 cuencas en estudio, cumplen con el parámetro de error que declara la DGA para su pronóstico de caudales de deshielo. El límite superior del error anteriormente mencionado, es decir, el Error relativo medio de la cuenca más su respectiva desviación estándar, llega hasta 130% aproximadamente en la cuenca Putaendo Resguardo Patos, dicho valor es el más alto de todas las estaciones analizadas. Para el caso de las dos cuencas que no aparecen en la figura, las cuales son Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, estas presentan un Error relativo medio de la cuenca de 499,4% y 2330,5% respectivamente, estas cifras que carecen de sentido, se atribuyen a las intervenciones que existen aguas arriba de la estación de monitoreo que mide la respuesta hidrológica de dichas cuencas. La estación fluviométrica Cachapoal en Puente termas, es intervenida por la Central Hidroeléctrica Coya, y la estación Maule en Armerillo, es intervenida por mineras y desvíos de agua para embalse.

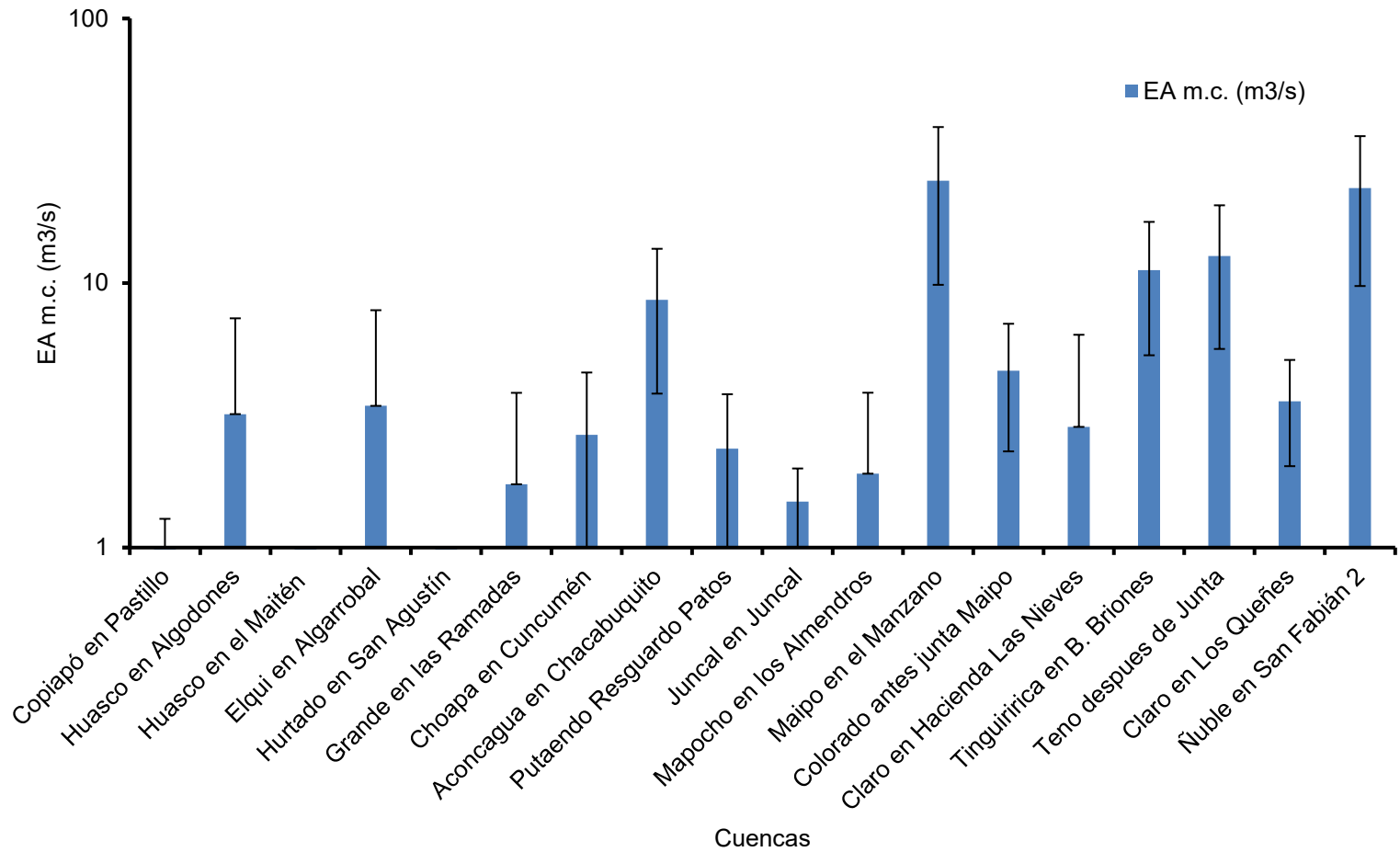


Figura 5. Distribución en escala logarítmica en base 10 del Error absoluto medio por cuenca (EA m.c., m³/s) con su respectiva desviación estándar, para cada 18 de las 20 cuencas en estudio, exceptuando Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo.

En la Figura 5, se aprecia que los valores más altos de Error absoluto medio de la cuenca (EA m.c.), corresponden a las cuencas Maipo en el Manzano y Ñuble en San Fabián 2, con errores de 24,36 m³/s y 22,83 m³/s respectivamente. Esto se debe a que son ríos caudalosos, ya que en términos relativos, tanto Maipo en el Manzano como Ñuble en San Fabián 2, presentan cifras de error bajas en comparación a las demás cuencas, con valores de 17,3% y 28,9% en el orden dado. Las estaciones Copiapó en Pastillo, Huasco en el Maitén y Hurtado en San Agustín, presentan errores menores a 1 m³/s, debido a que tienen un caudal muy bajo, razón por la cual no se logran distinguir en la figura. El límite superior del error anteriormente mencionado, es decir, el Error absoluto medio de la cuenca más su respectiva desviación estándar, llega hasta 32 m³/s aproximadamente en la cuenca Maipo en el Manzano, dicho valor es el más alto de todas las estaciones analizadas. Para el caso de las dos cuencas que no aparecen en la figura, las cuales son Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, estas presentan un Error absoluto medio de la cuenca de 58,22 m³/s y 193,73 m³/s respectivamente.

Tabla 3. Error relativo medio mensual (%) y Error relativo medio de la cuenca (%), para 18 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, ordenadas de Norte a Sur.

Nº	Cuenca	Error relativo medio mensual (%)							Error relativo medio de la cuenca (%)
		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
1	Copiapó en Pastillo	18,7	31,4	51,4	89,1	54,6	47	50,3	38,3
2	Huasco en Algodones	24,9	63,7	87,4	96,7	51,1	74,9	54,9	36,5
3	Huasco en el Maitén (estación nueva)	17,8	17	44,3	85,1	143	28,5	16,9	9,1
4	Elqui en Algarrobal	16,2	31	34,7	34,6	30,1	27,4	27,4	22,6
5	Hurtado en San Agustín	40	37,4	47,9	49,7	44,2	43,2	47	40,4
6	Grande en las Ramadas	23,2	42,2	71,3	96,1	57,2	52,2	46,8	57,6
7	Choapa en Cuncumén	18,9	32,8	48	48,9	32	26,9	23,3	24,9
8	Aconcagua en Chacabuquito	14,9	21,6	23,8	27,5	24,5	23	19,9	16,7
9	Putando Resguardo Patos	56,6	99,1	115,1	98,3	72,4	61,2	44,3	69,1
10	Juncal en Juncal	28,3	27,5	30,3	18,5	19,8	33	57,1	13,9
11	Mapocho en los Almendros	24,8	27	36,6	32,6	30,7	33,5	36,6	22,2
12	Maipo en el Manzano	11,9	14,6	18,2	21,1	21,2	19	16,7	12,7
13	Colorado antes junta Maipo	28,9	20,9	23,3	17,5	23,6	19,6	35,9	17,4
15	Claro en Hacienda Las Nieves	69,5	81,9	55,4	60,5	45,7	55,1	57,4	37,7
16	Tinguiririca en B. Briones	18,9	18,5	15,9	20,9	20,9	18	16,2	14,9
17	Teno después de Junta	21,5	15,6	21,9	33,5	28	25	25,8	15,8
18	Claro en Los Queñes	18,3	23,1	11,8	42,7	141,2	571,5	1064,8	33,7
20	Ñuble en San Fabián 2	22,4	20,4	34,2	36,4	38,3	27,6	23,2	21,1

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 3, al desglosar el error relativo a escala mensual (ER m.m.), se puede observar que dichos valores difieren mucho del promedio a escala de cuenca (ER m.c.), teniendo meses con cifras de error muy superiores al 20%, y otros muy inferiores. El caso donde más se acentúa esta tendencia, es en Claro en los Queñes, teniendo un Error relativo medio de la cuenca de 33,7 %, y Errores relativos medios mensuales de 18,3%, 23,1% y 11,8%, correspondientes a los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre. Ya del mes de Diciembre en adelante, el error aumenta significativamente llegando a los 1064,8% para el mes de Marzo. Para este tipo de variaciones del error tan altas de un mes a otro, se sospechan intervenciones al lecho de río en ciertos periodos de la temporada de riego.

Tabla 4. Error absoluto medio mensual (m^3/s) y Error absoluto medio de la cuenca (m^3/s), para 18 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA, ordenadas de Norte a Sur.

Nº	Cuenca	Error absoluto medio mensual (m^3/s)							Error absoluto medio de la cuenca (m^3/s)
		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
1	Copiapó en Pastillo	0,28	0,36	0,70	1	1,08	0,81	1,06	0,76
2	Huasco en Algodones	1,20	3,12	3,75	5,53	3,98	2,91	2,13	3,20
3	Huasco en el Maitén (estación nueva)	0,26	0,18	0,24	0,39	0,35	0,36	0,17	0,28
4	Elqui en Algarrobal	1,32	2,94	4,38	5,02	4,30	3,31	2,37	3,43
5	Hurtado en San Agustín	0,36	0,34	0,49	0,47	0,30	0,31	0,32	0,37
6	Grande en las Ramadas	0,58	1,84	3,04	2,88	1,	0,65	0,52	1,73
7	Choapa en Cuncumén	1,21	3,54	5,03	4,31	2,30	1,32	0,94	2,67
8	Aconcagua en Chacabuquito	2,74	6,52	11,73	15,53	12,21	7,36	4,19	8,65
9	Putando Resguardo Patos	0,96	1,78	3,56	4,55	2,79	1,88	1,02	2,37
10	Juncal en Juncal	0,58	1,06	1,88	1,56	1,63	1,82	1,92	1,49
11	Mapocho en los Almendros	1,61	2,43	3,39	2,28	1,70	1,29	0,84	1,90
12	Maipo en el Manzano	8,83	14,22	26,48	37,14	40,33	30,28	17,52	24,36
13	Colorado antes junta Maipo	2,48	2,34	5,06	5,29	7,73	4,67	5,06	4,66
15	Claro en Hacienda Las Nieves	1,98	3,12	3,72	2,92	2,18	2,11	3,96	2,86
16	Tinguiririca en B. Briones	7,23	7,61	11,72	17,27	18,78	9,68	5,65	11,18
17	Teno después de Junta	13,07	10,30	16,72	18,86	14,98	9,35	6,36	12,65
18	Claro en Los Queñes	3,27	4,74	2,66	4,26	3,60	2,54	2,56	3,58
20	Ñuble en San Fabián 2	35,94	30,70	39,78	26,47	15,10	7,23	5,24	22,83

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se puede observar que dependiendo del mes, el Error absoluto medio mensual (EA m.m.) difiere de gran manera en comparación con el Error absoluto medio de la cuenca (EA m.c.), lo que indica que esta última cifra, no siempre es representativa de toda la temporada de riego de Septiembre a Marzo. Esta diferencia de errores a escala mensual y de cuenca, en términos absolutos, se acentúa más en estaciones fluviométricas que miden un alto caudal, como Aconcagua en Chacabuquito, Maipo en el Manzano, Tinguiririca en B. Briones, Teno después de Junta y Ñuble en San Fabián 2. En contraposición, las estaciones con un bajo caudal, presentan una diferencia absoluta irrelevante, entre los valores de error de cada mes y el error de toda la cuenca.

5.1.1. Cuenca Copiapó en Pastillo

La cuenca Copiapó en Pastillo, para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo el mes de Septiembre cumple con dicho parámetro, con un error del 18,7%. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 89,1%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 190% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Recalcar que para este último mes, la dispersión de

los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 6).

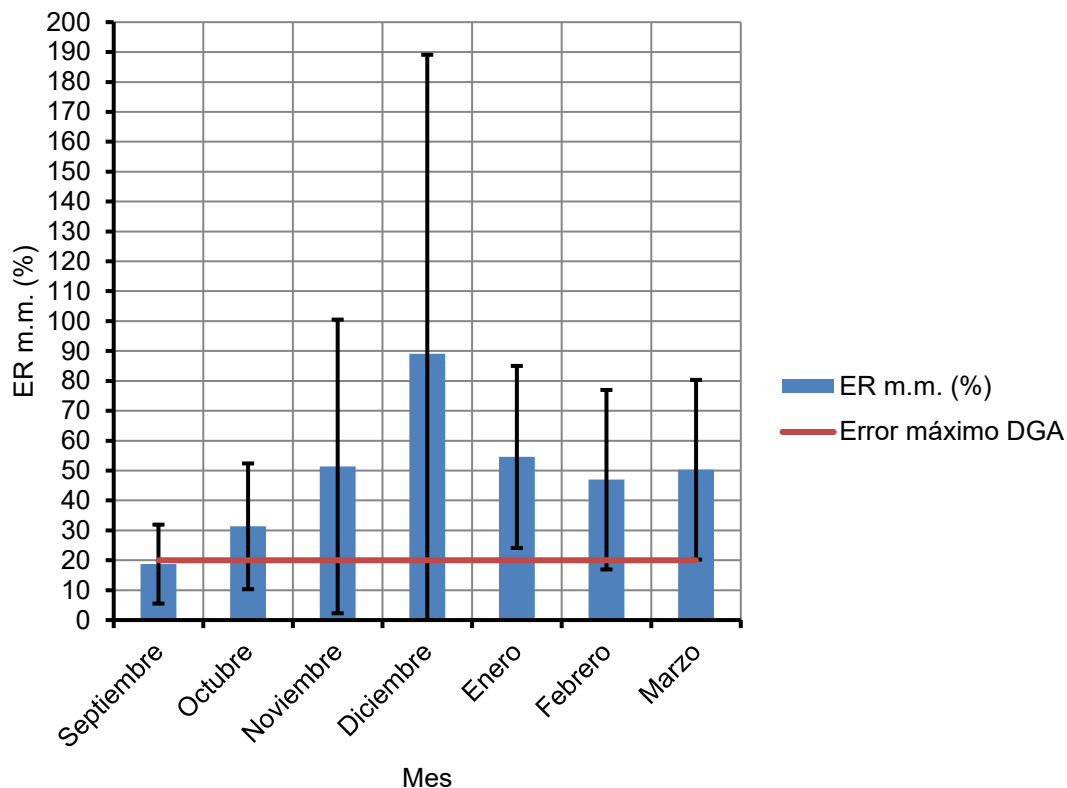


Figura 6. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Copiapó en Pastillo, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Enero con $1,08 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales,

es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 2,1 m³/s aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Septiembre, Noviembre y Diciembre, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 7).

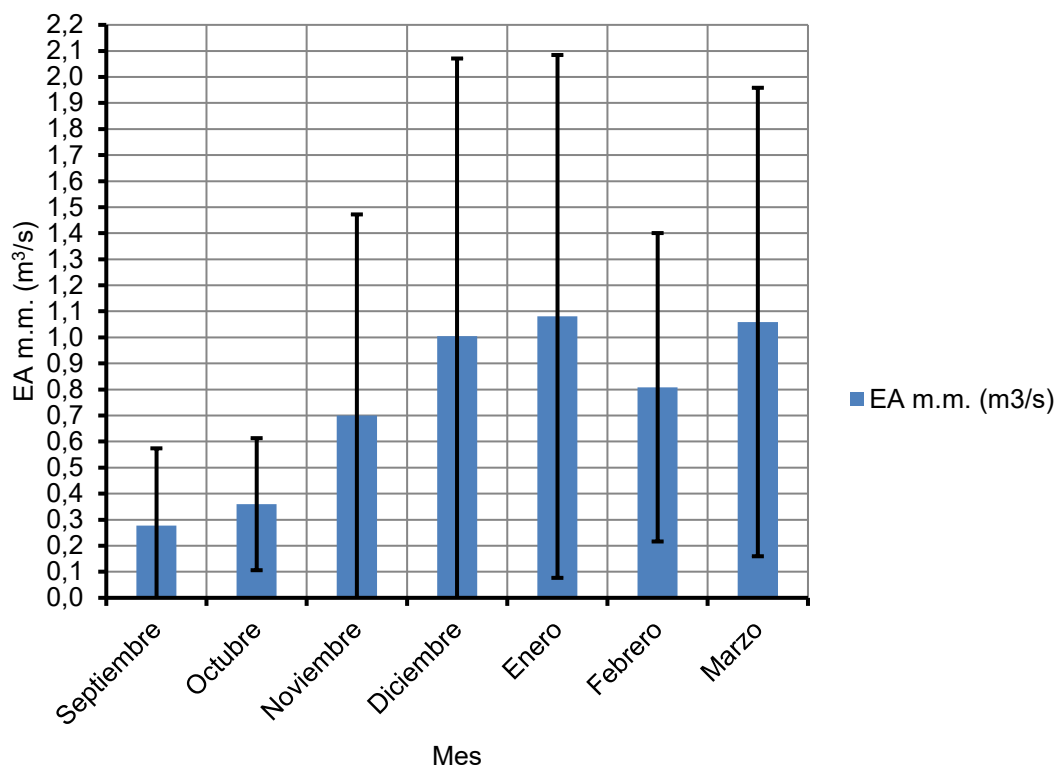


Figura 7. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m³/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Copiapó en Pastillo.

5.1.2. Cuenca Huasco en Algodones

La cuenca Huasco en Algodones, para cada uno de los meses de la temporada de riego de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El mes de Septiembre, es ligeramente superior al parámetro de error antes mencionado, con un error del 24,85%, dicho mes es el que presenta el error más bajo, y en contraposición, el error más alto se da en el mes de Diciembre con un 96,65%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 270% aproximadamente en el mes de Febrero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe señalar que para los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 8).

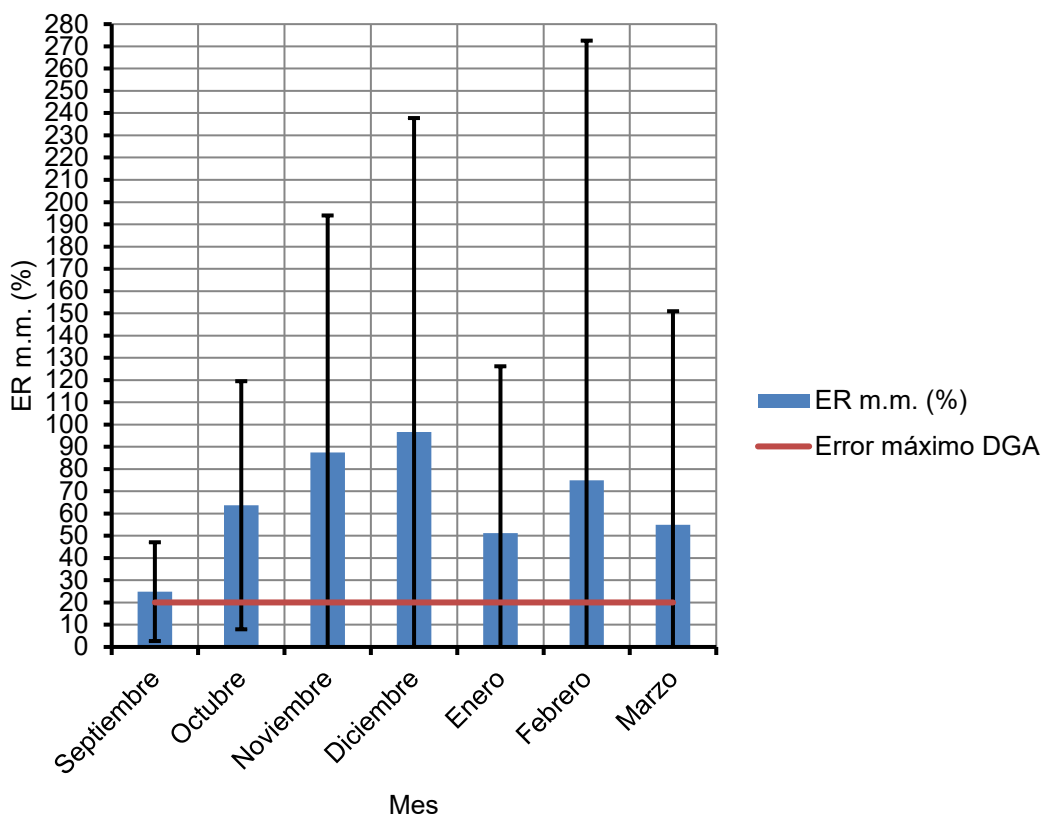


Figura 8. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en Algodones, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Diciembre con $5,53 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $15 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presentan una dispersión de datos

muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 9).

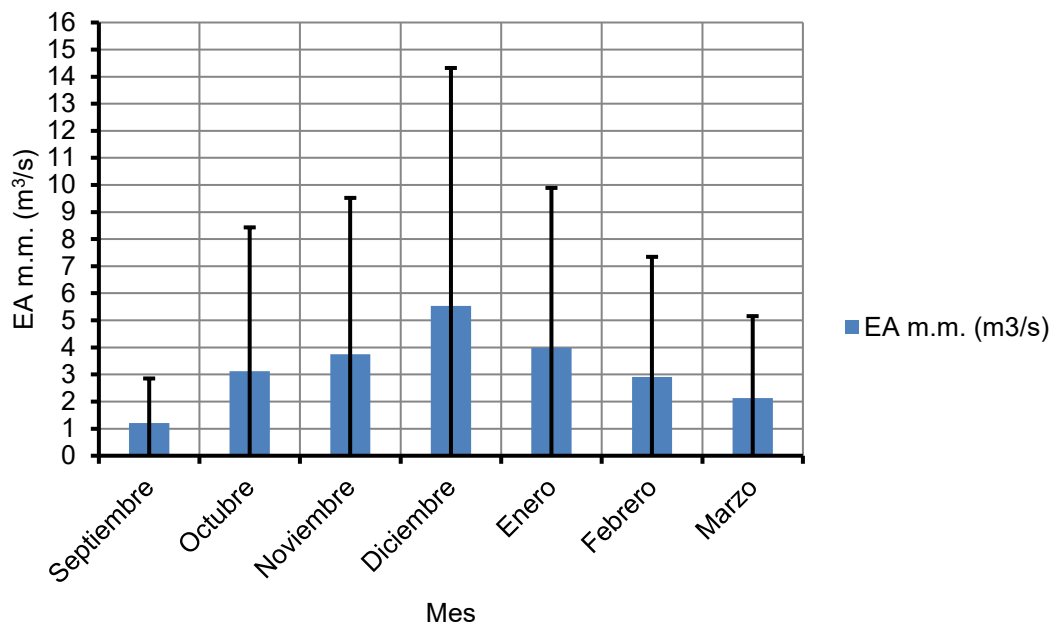


Figura 9. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en Algodones.

5.1.3. Cuenca Huasco en el Maitén

La cuenca Huasco en el Maitén, para los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, y Febrero, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo los meses de Septiembre, Octubre y Marzo, cumplen con dicho parámetro, con un error de

17,8%, 17%, y 16,9%, en el orden dado. El error más alto se da en el mes de Enero con un 143%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 260% aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 10).

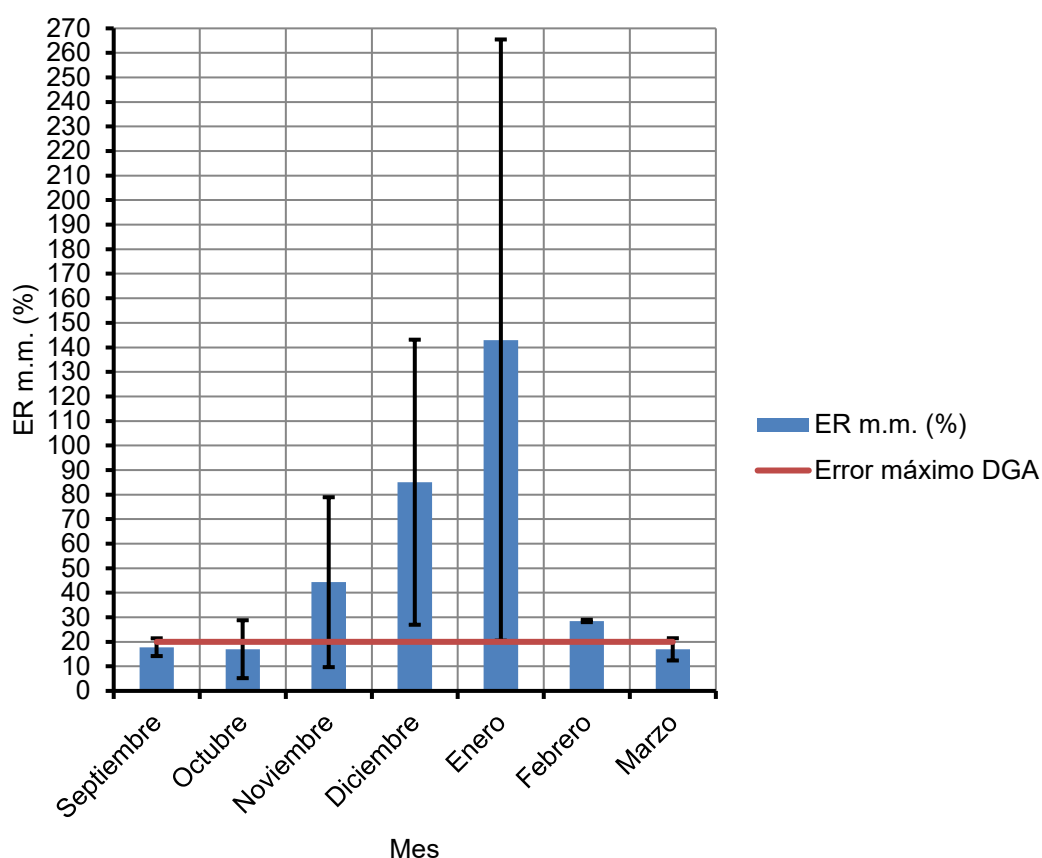


Figura 10. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en el Maitén, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Diciembre con $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 11).

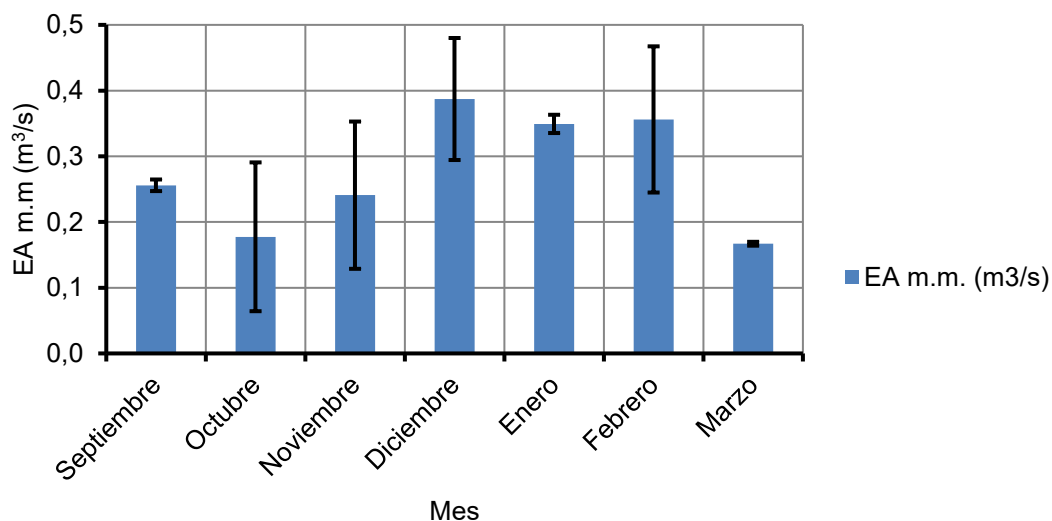


Figura 11. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Huasco en el Maitén.

5.1.4. Cuenca Elqui en Algarrobal

La cuenca Elqui en Algarrobal, para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio

mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo el mes de Septiembre cumple con dicho parámetro, con un error del 16,17%. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 34,55%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 65% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 12).

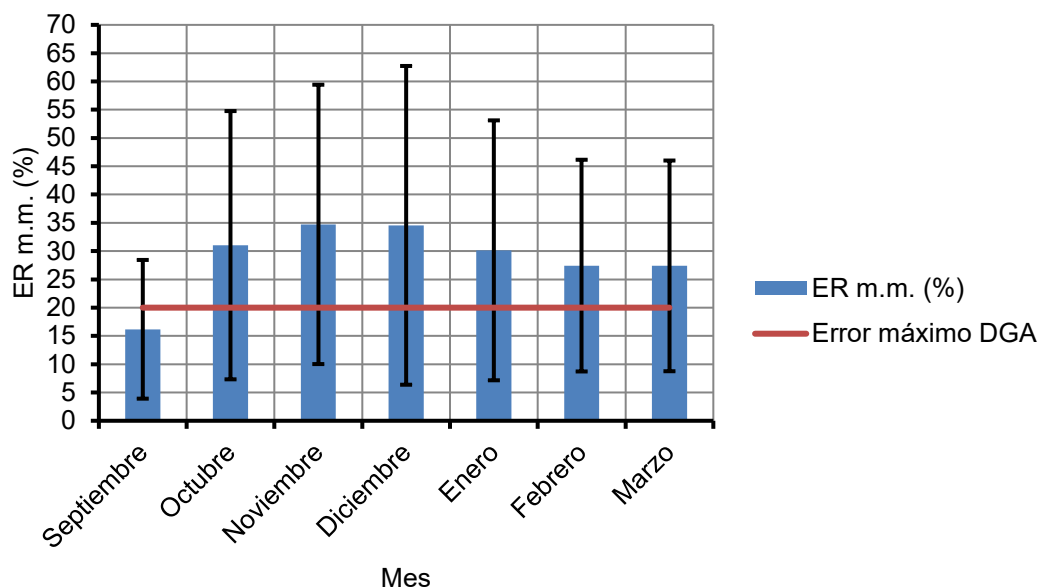


Figura 12. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Elqui en Algarrobal, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con 1,31 m³/s, y el valor más alto se da en el

mes de Diciembre con 5,01 m³/s. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 13 m³/s aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 13).

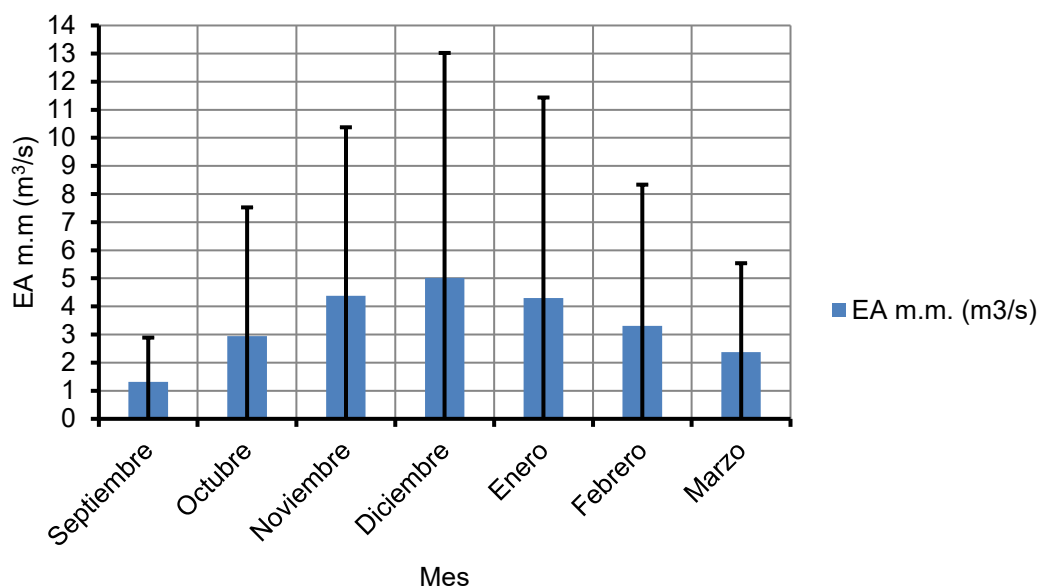


Figura 13. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m³/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Elqui en Algarrobal.

5.1.5. Cuenca Hurtado en San Agustín

La cuenca Hurtado en San Agustín, para cada uno de los meses de la temporada de riego de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El mes con un error más bajo es Octubre con un 37,43%, y el más alto corresponde a Diciembre con un 49,74%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 87% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe indicar que para el mes de Octubre, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 14).

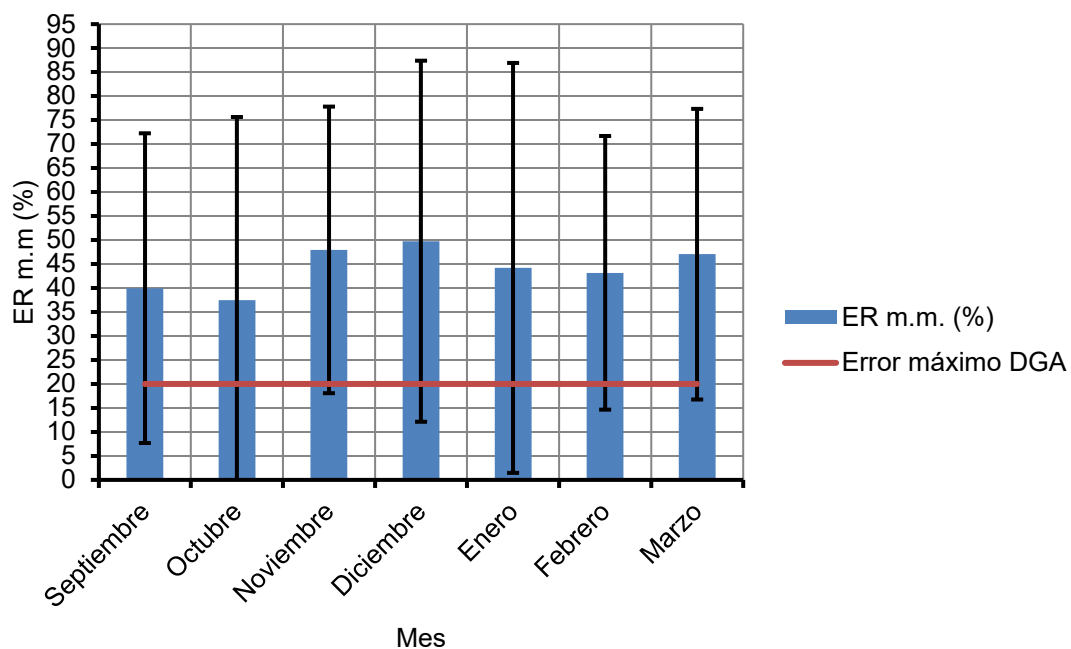


Figura 14. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Hurtado en San Agustín, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Enero con $0,302 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Noviembre con $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 15).

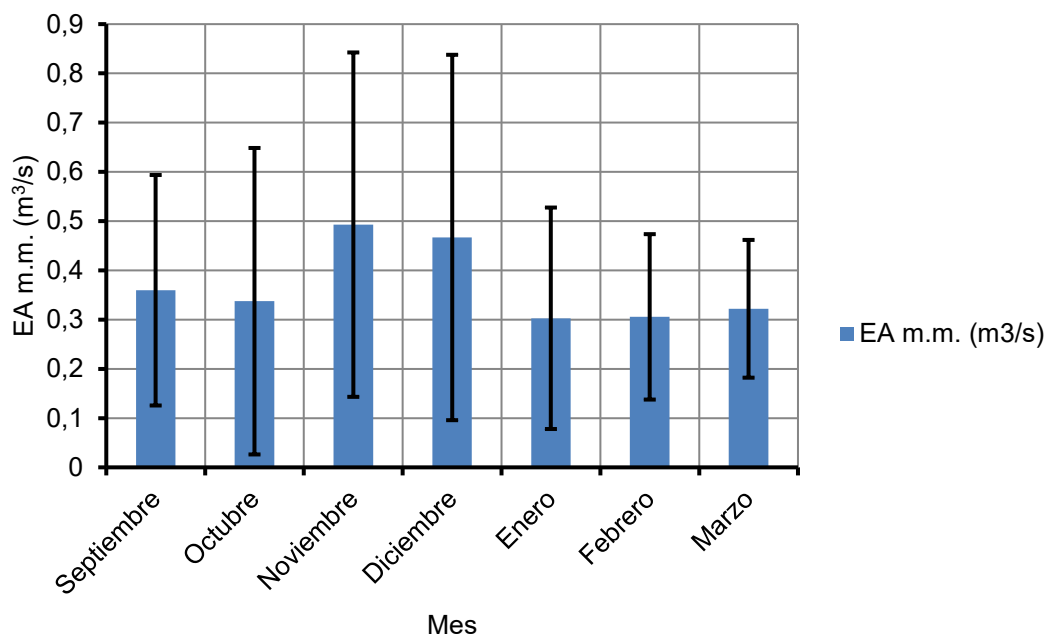


Figura 15. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Hurtado en San Agustín.

5.1.6. Cuenca Grande en las Ramadas

La cuenca Grande en las Ramadas, para cada uno de los meses de la temporada de riego de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El mes de Septiembre es ligeramente superior al parámetro anteriormente mencionado, con un error del 23,17%, y en contraposición, el mes con el error más alto corresponde a Diciembre con un 96,12%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 205% aproximadamente en el

mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe destacar que para los meses de Noviembre y Diciembre, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 16).

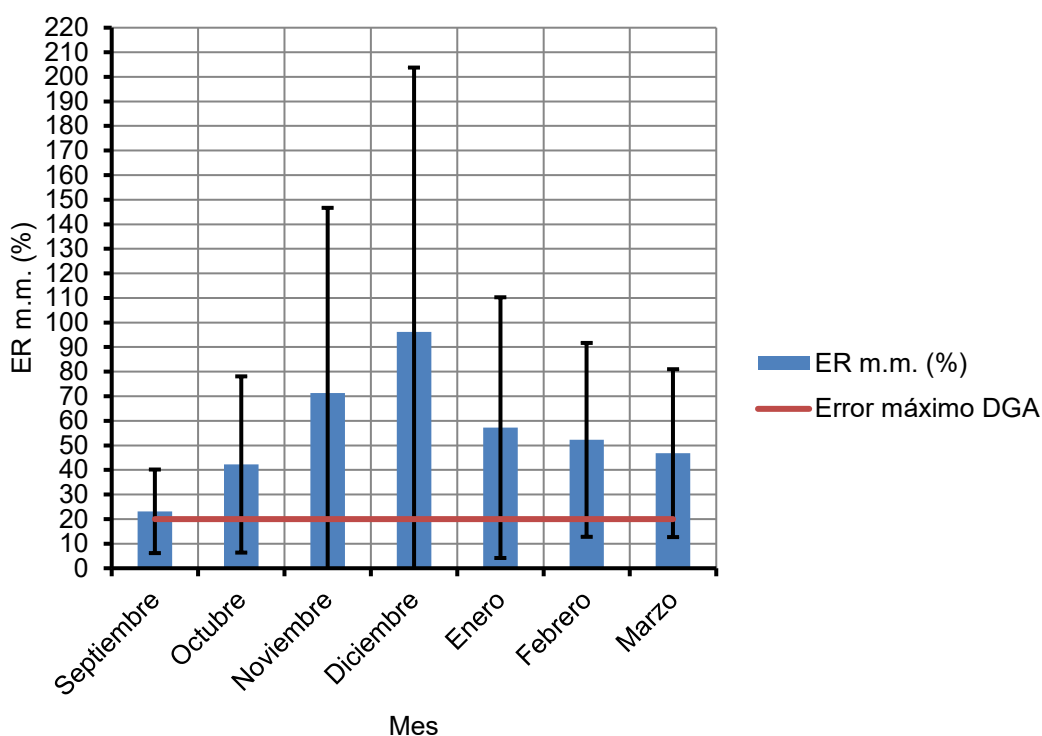


Figura 16. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Grande en las Ramadas, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes

de Noviembre con $3,04 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $7 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 17).

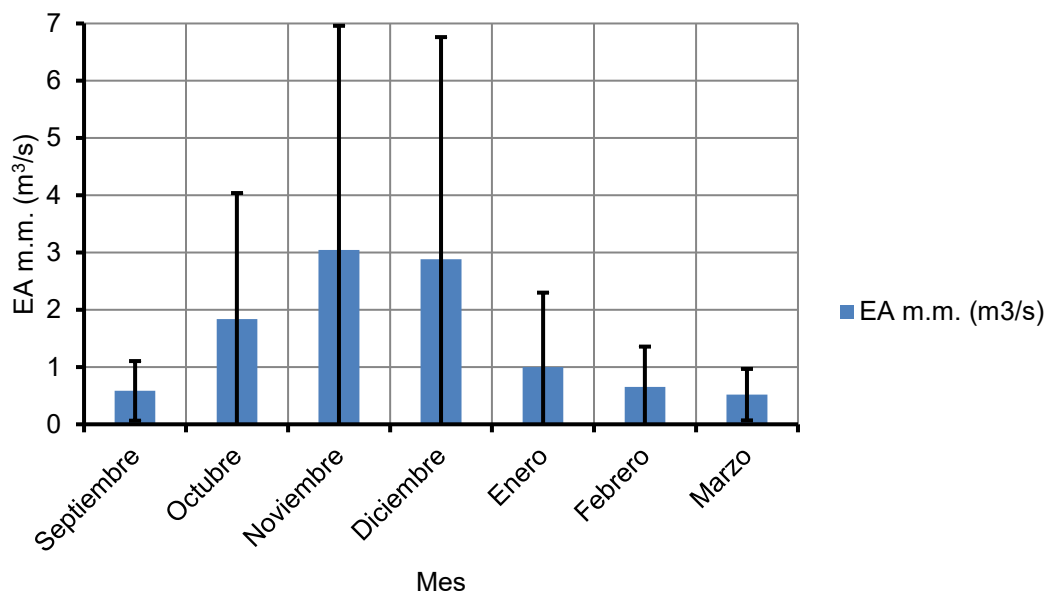


Figura 17. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Grande en las Ramadas.

5.1.7. Cuenca Choapa en Cuncumén

La cuenca Choapa en Cuncumén, para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo el mes de Septiembre cumple con dicho parámetro, con un error del 18,85%. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 48,94%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 120% aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe mencionar que para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 18).

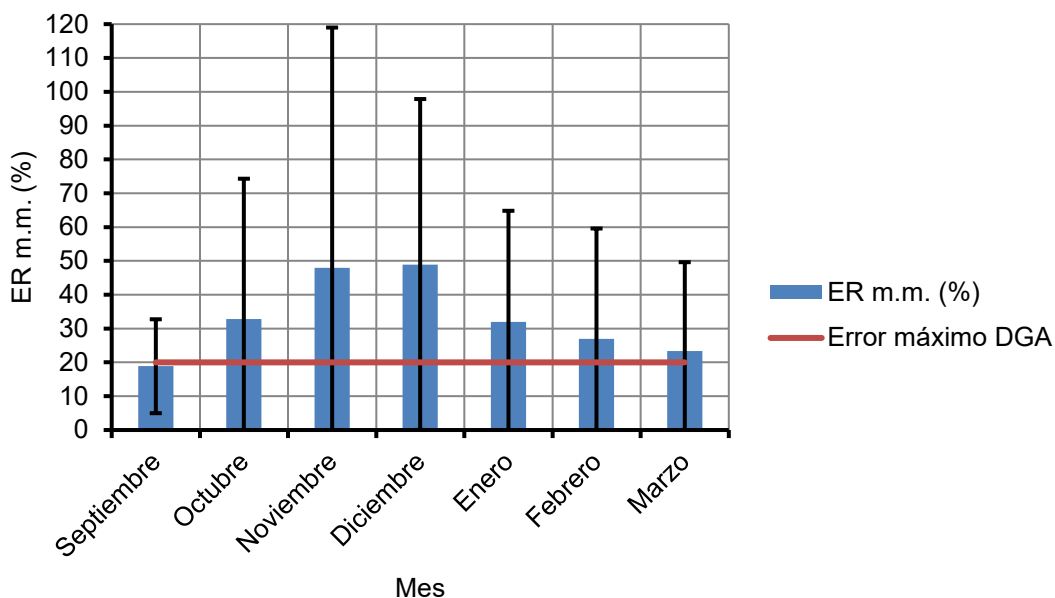


Figura 18. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Choapa en Cuncumén, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Noviembre con $5,02 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Enero, Febrero y Marzo, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo

cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 19).

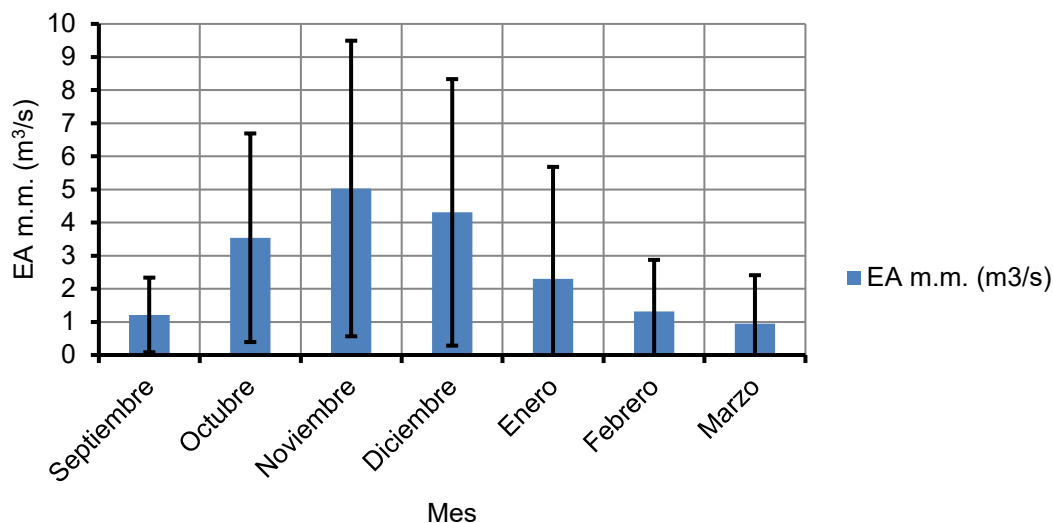


Figura 19. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Choapa en Cuncumén.

5.1.8. Cuenca Aconcagua en Chacabuquito

La cuenca Aconcagua en Chacabuquito, para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo los meses de Septiembre y Marzo cumplen con dicho parámetro, con un error del 14,94% y 19,93% respectivamente. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 27,5%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva

desviación estándar, llega hasta 52% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 20).

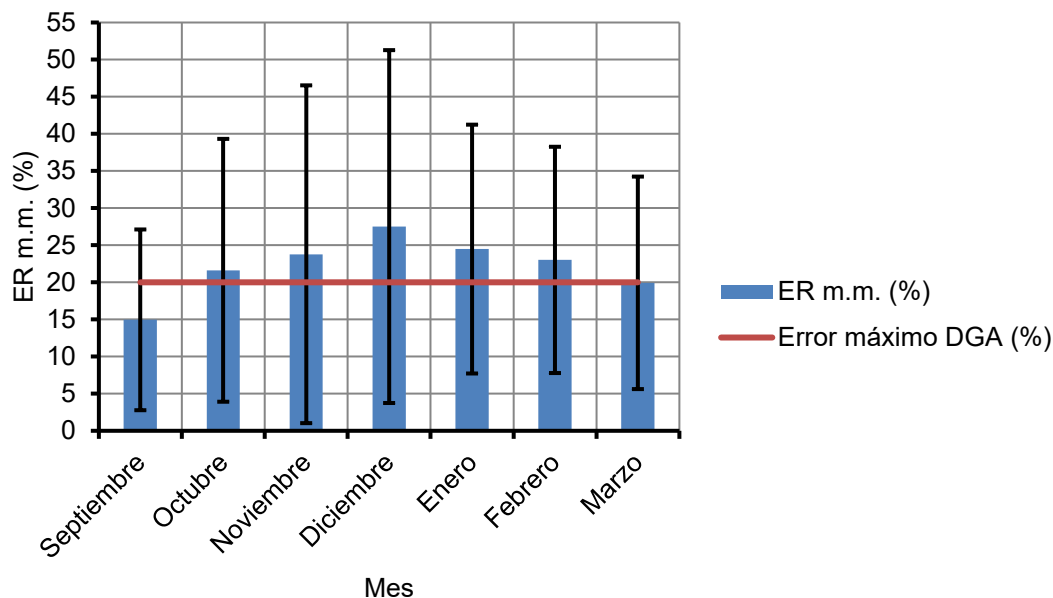


Figura 20. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Aconcagua en Chacabuco, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con $2,74 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Diciembre con $15,53 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $27 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de

Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 21).

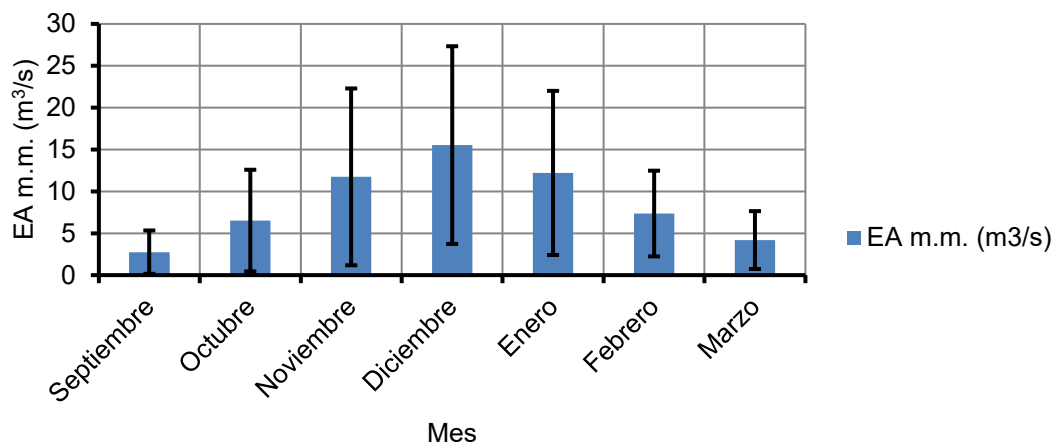


Figura 21. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Aconcagua en Chacabuco.

5.1.9. Cuenca Putaendo Resguardo Patos

La cuenca Putaendo Resguardo Patos, para cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El error más alto se da en el mes de Noviembre con un 115,1%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 240% aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe señalar que para los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, la

dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 22).

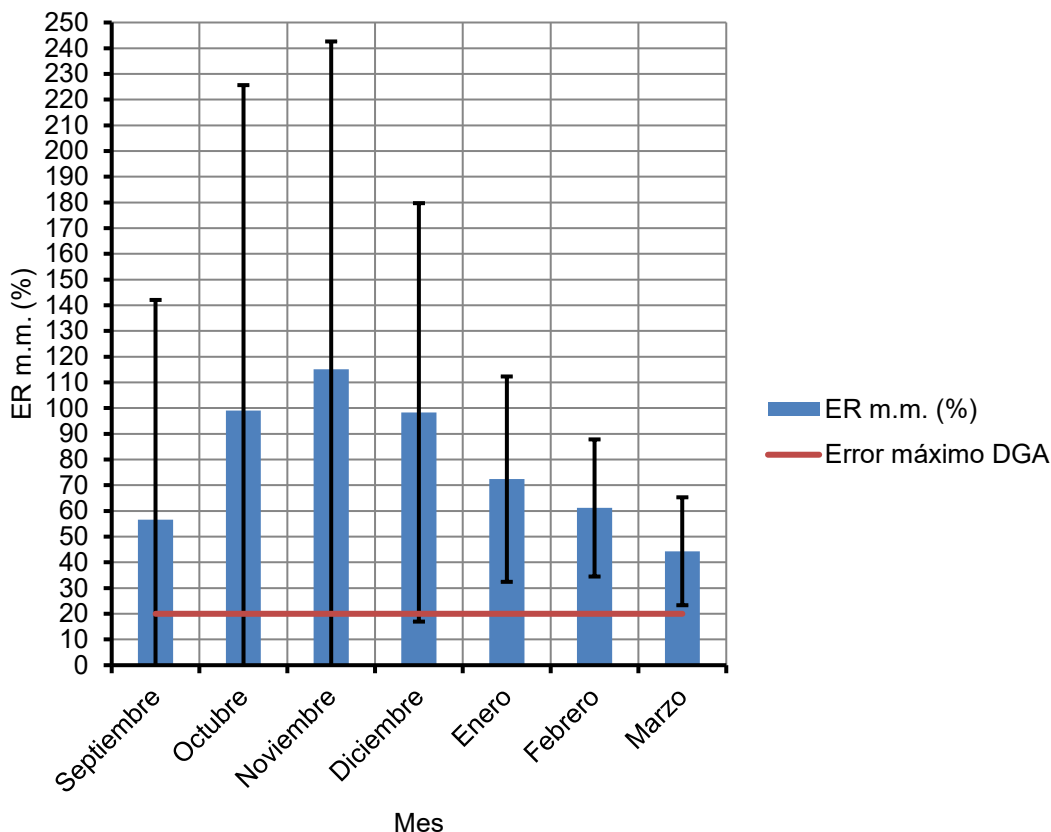


Figura 22. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Putaendo Resguardo Patos, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con $0,96 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el

mes de Diciembre con $4,54 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. El mes de Septiembre, presenta una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 23).

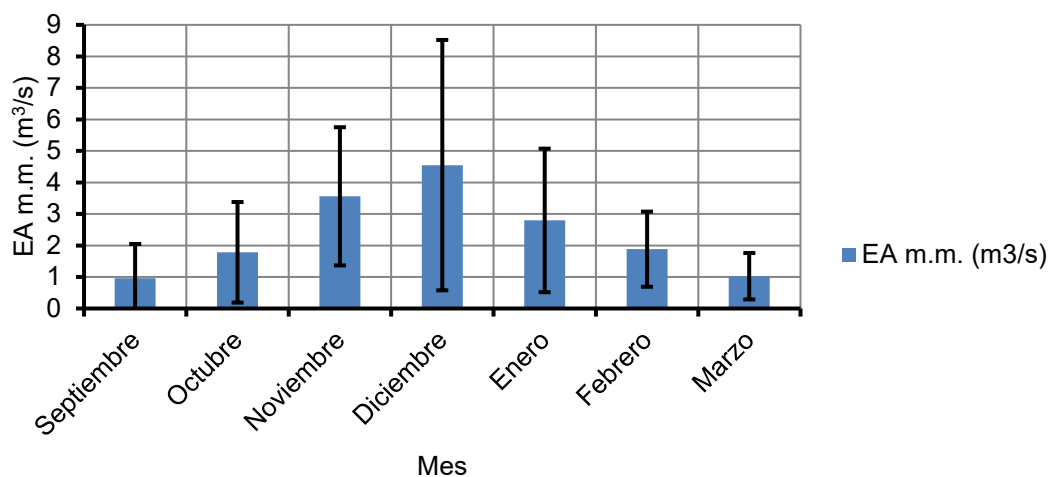


Figura 23. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Putaendo Resguardo Patos.

5.1.10. Cuenca Juncal en Juncal

La cuenca Juncal en Juncal, para los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER

m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo los meses de Diciembre y Enero cumplen con dicho parámetro, con un error del 18,47% y 19,82% respectivamente. El error más alto se da en el mes de Marzo con un 57,07%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 110% aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 24).

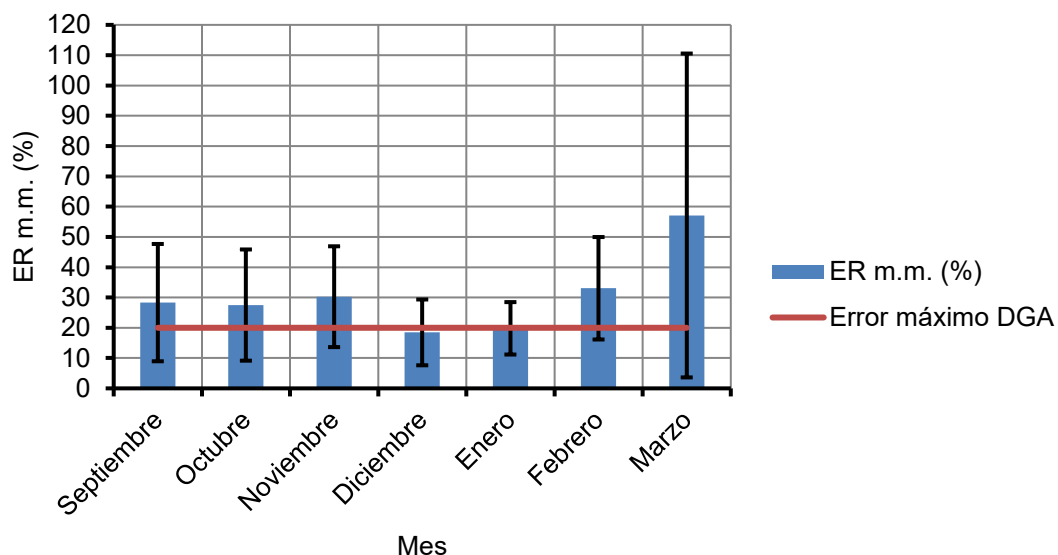


Figura 24. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Juncal en Juncal, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con 0,58 m³/s, y el valor más alto se da en el

mes de Marzo con 1,92 m³/s. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 3 m³/s aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 25).

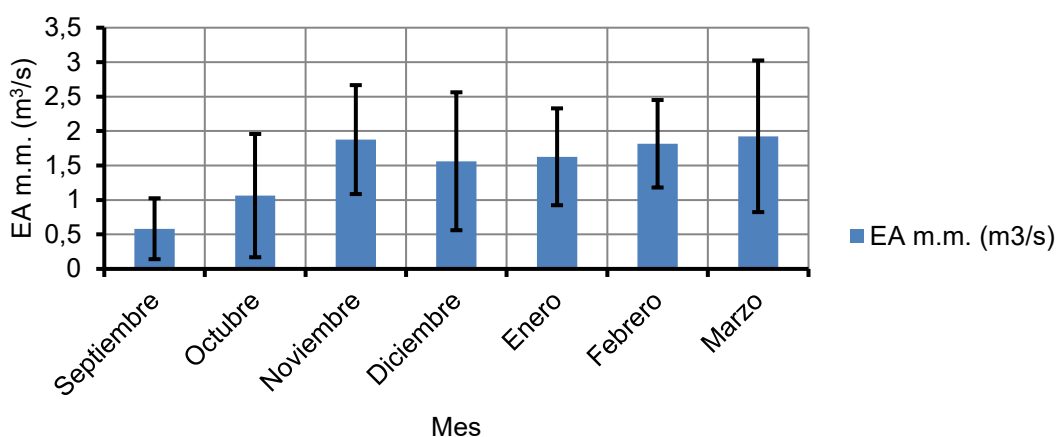


Figura 25. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m³/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Juncal en Juncal.

5.1.11. Cuenca Mapocho en los Almendros

La cuenca Mapocho en los Almendros, para cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El error más alto se da en el mes de Marzo con un 36,63%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva

desviación estándar, llega hasta 75% aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Recalcar que para el mes de Marzo, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 26).

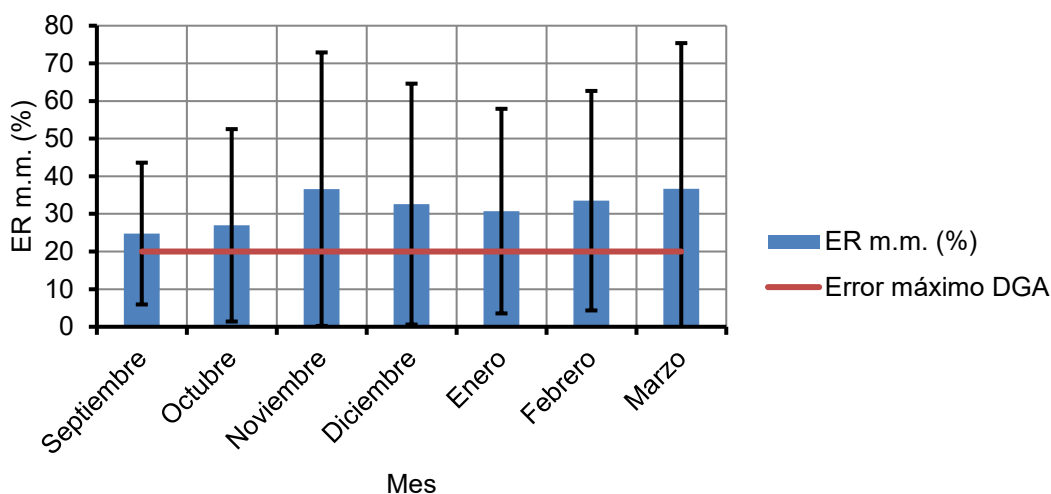


Figura 26. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Mapocho en los Almendros, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $0,84 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Noviembre con $3,39 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Noviembre,

dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 27).

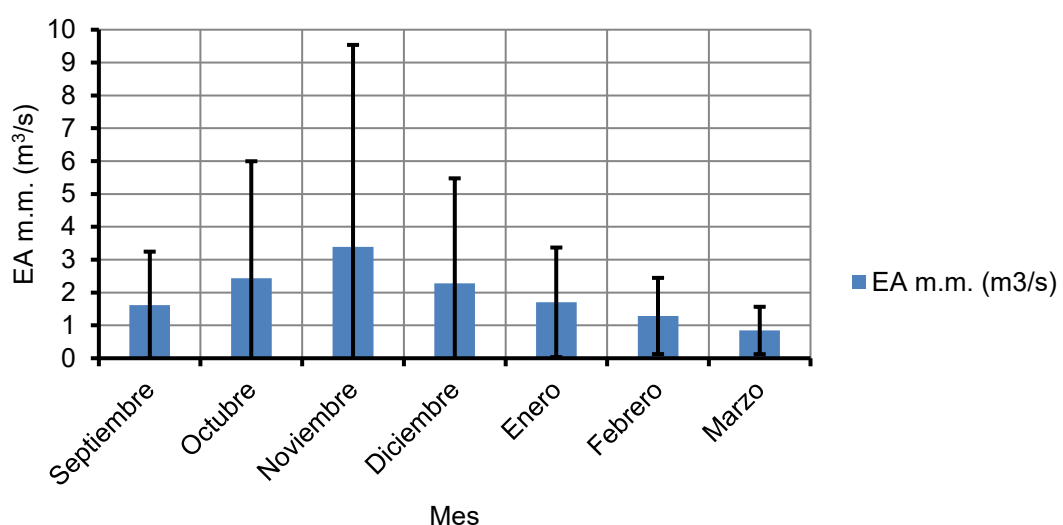


Figura 27. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Mapocho en los Almendros.

5.1.12. Cuenca Maipo en el Manzano

La cuenca Maipo en el Manzano, para los meses de Diciembre y Enero, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, en cambio los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Febrero y Marzo, cumplen con dicho parámetro, con un

error de 11,91%, 14,57%, 18,17%, 18,97% y 16,72% respectivamente. El error más alto se da en el mes de Enero con un 21,24%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 40% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 28).

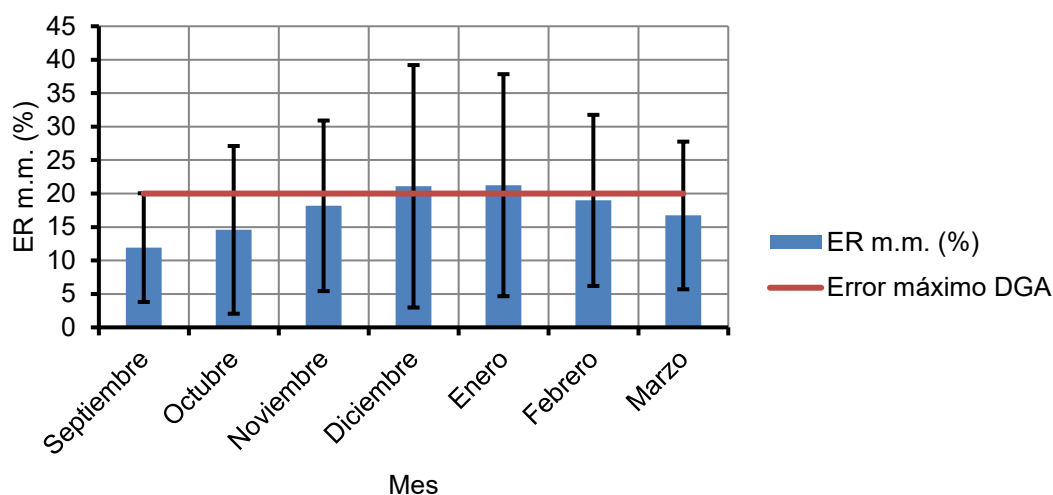


Figura 28. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Maipo en el Manzano, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con 8,82 m³/s, y el valor más alto se da en el mes de Enero con 40,32 m³/s. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación

estándar, llega hasta 77 m³/s aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 29).

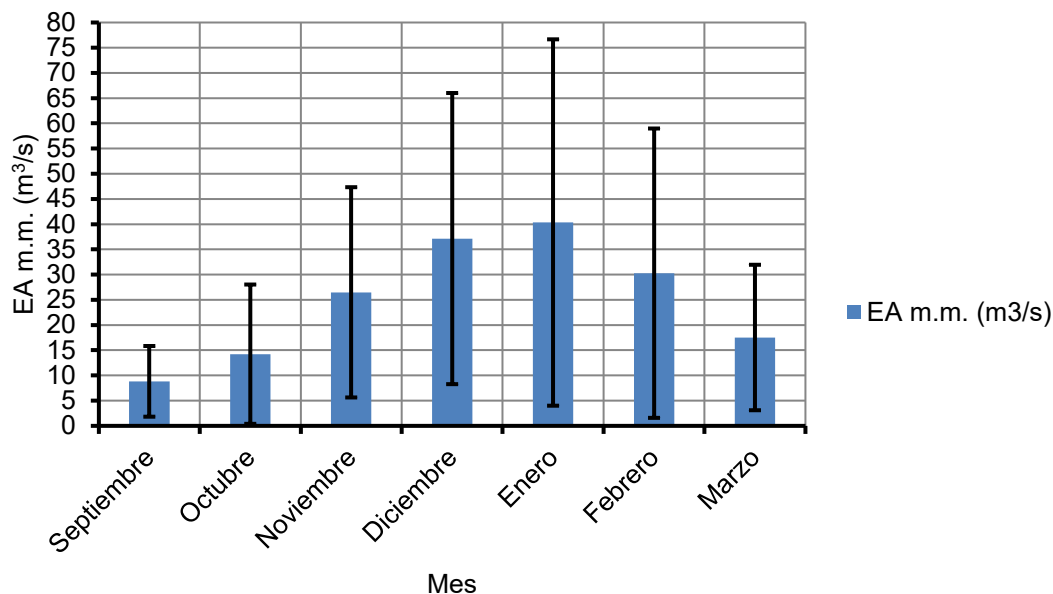


Figura 29. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m³/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Maipo en el Manzano.

5.1.13. Cuenca Colorado antes junta Maipo

La cuenca Colorado antes junta Maipo, para los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Enero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo los meses de Diciembre y Febrero cumplen con dicho parámetro, con un error del 17,51% y 19,58% respectivamente. El error más alto se da en el

mes de Marzo con un 35,87%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 92% aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe destacar que para los meses de Septiembre, Octubre, Febrero y Marzo, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 30).

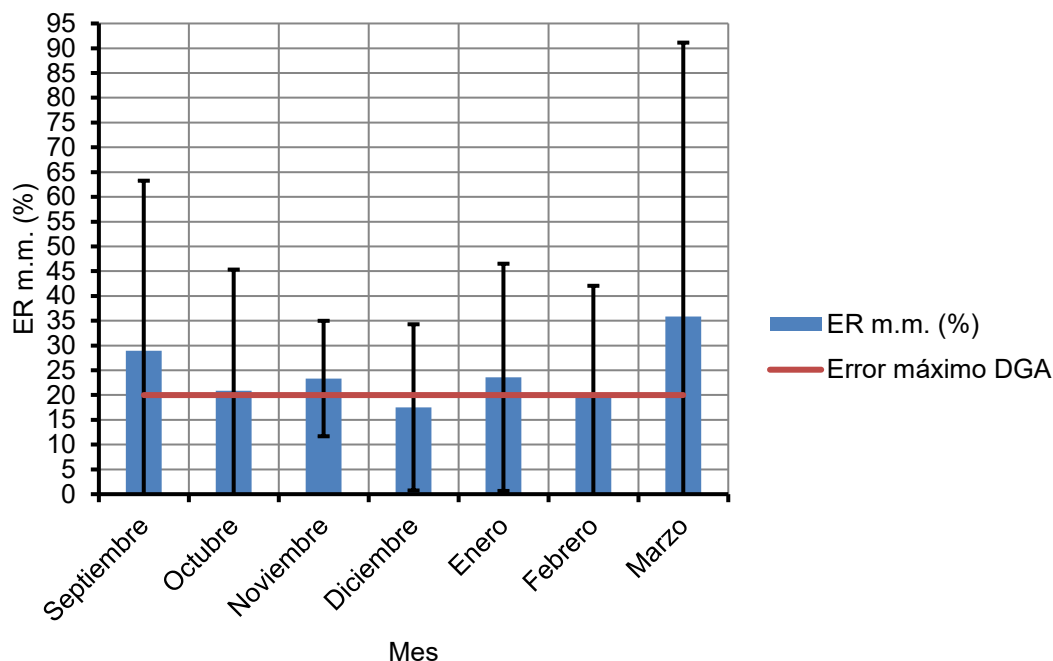


Figura 30. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Colorado antes junta Maipo, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Octubre con $2,34 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Enero con $7,72 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $14 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 31).

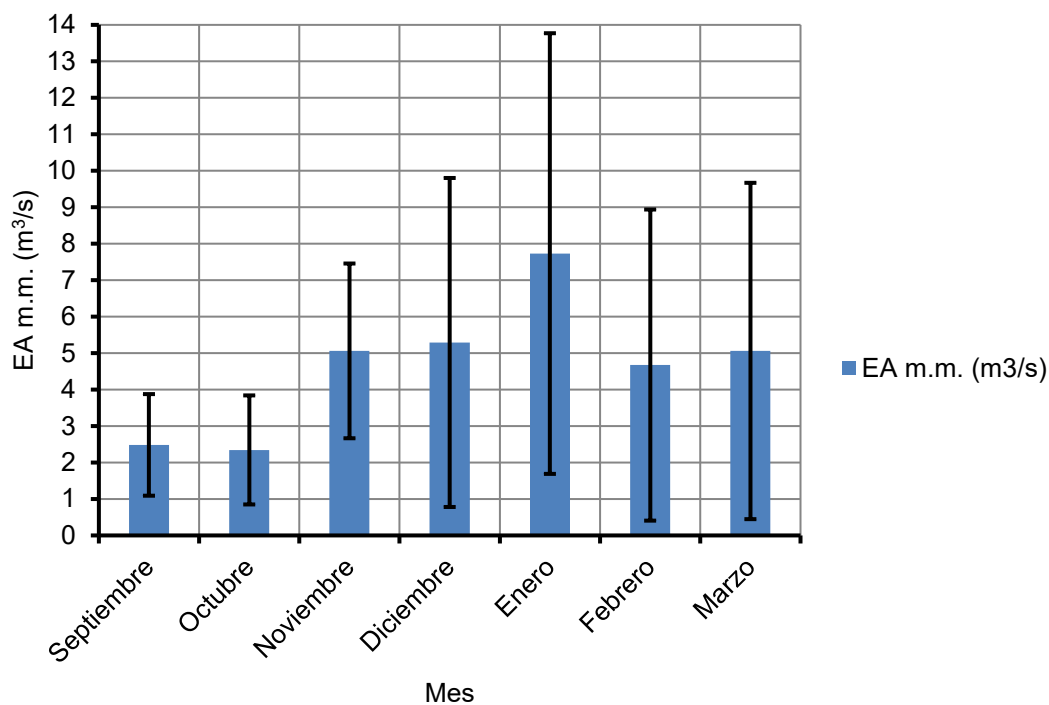


Figura 31. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Colorado antes junta Maipo.

5.1.14. Cuenca Claro en Hacienda las Nieves

La cuenca Claro en Hacienda las Nieves, para cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico. El error más alto se da en el mes de Octubre con un 81,89%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 200% aproximadamente en el mes de Octubre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Es importante destacar, que para los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre y Febrero, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 32).

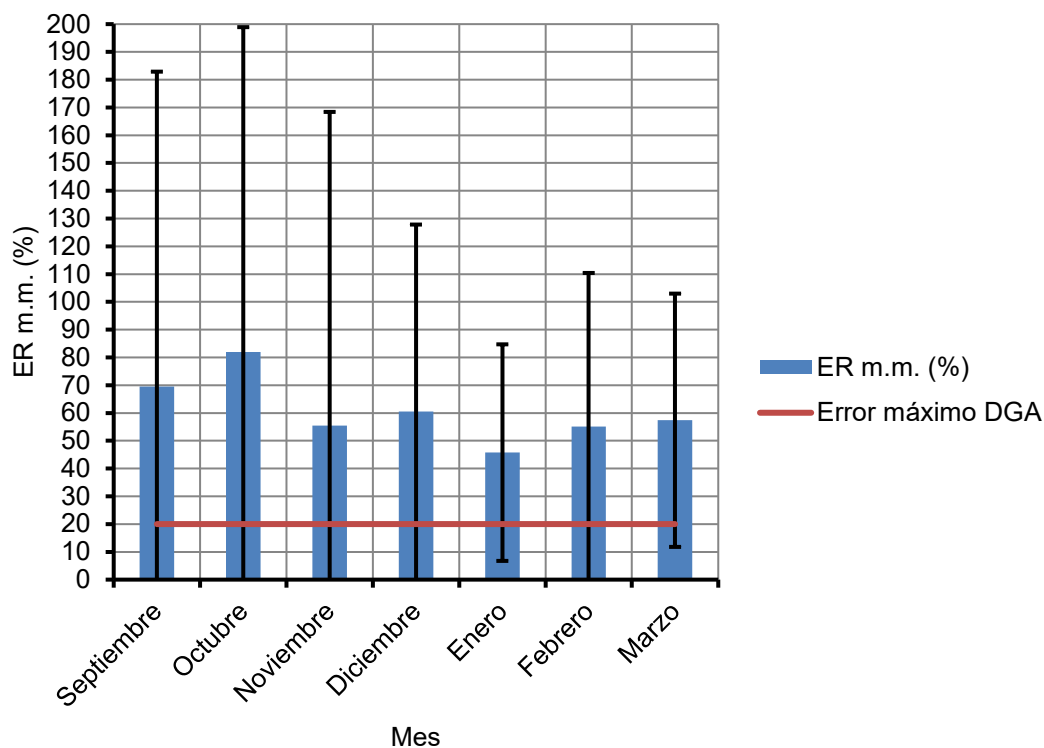


Figura 32. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Septiembre con $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Marzo con $3,96 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $14 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Enero, Febrero y Marzo, presentan una

dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 33).

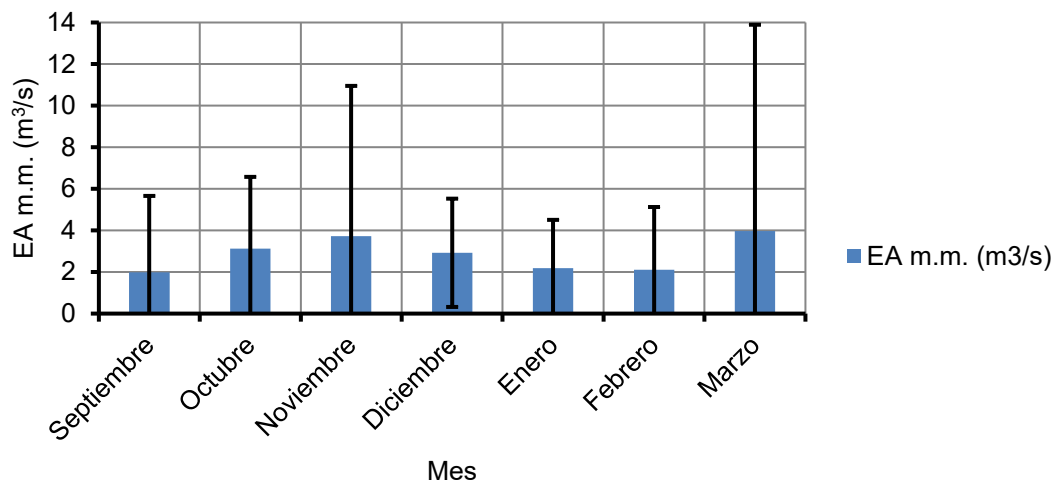


Figura 33. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves.

5.1.15. Cuenca Tinguiririca en B. Briones

La cuenca Tinguiririca en B. Briones, para los meses de Diciembre y Enero, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Febrero y Marzo, cumplen con dicho parámetro, con un error del 18,92%, 18,46%, 15,90%, 17,96% y 16,19%, respectivamente. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 20,92%. El límite superior de estos

errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 37% aproximadamente en el mes de Octubre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe mencionar que para este último mes, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 34).

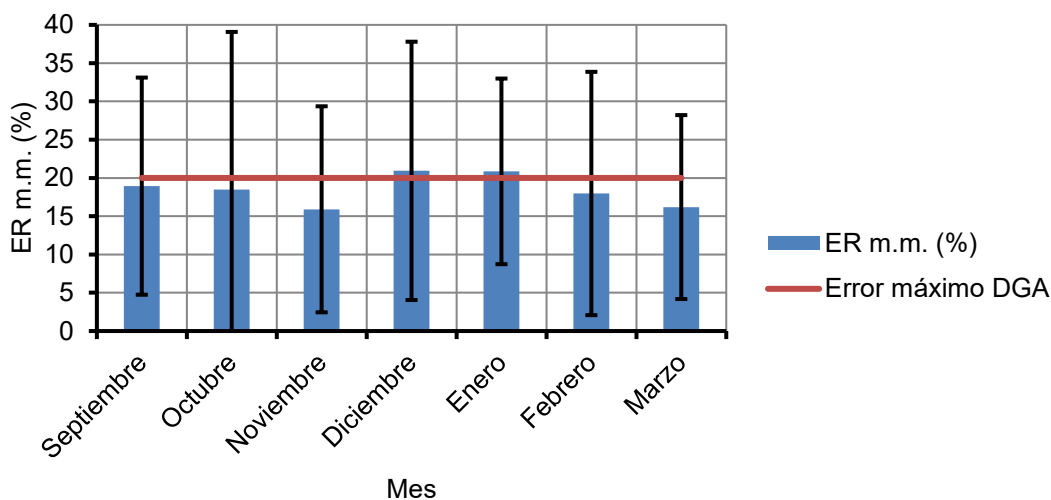


Figura 34. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Tinguiririca en B. Briones, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con 5,64 m³/s, y el valor más alto se da en el mes de Enero con 18,77 m³/s. El límite superior de estos errores mensuales, es

decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 35 m³/s aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Para el caso específico del mes de Septiembre, existe una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 35).

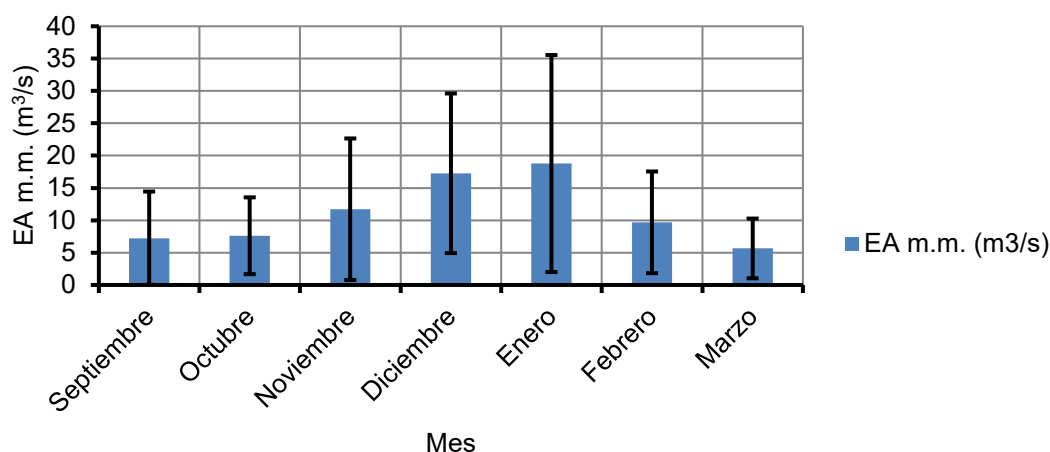


Figura 35. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m³/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Tinguiririca en B. Briones.

5.1.16. Cuenca Teno después de Junta

La cuenca Teno después de Junta, para los meses de Septiembre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo el mes de Octubre cumple con dicho parámetro, con un error

del 15,56%. El error más alto se da en el mes de Diciembre con un 33,45%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 72% aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Cabe señalar que para este último mes, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero (estos resultados se observan en la figura 36).

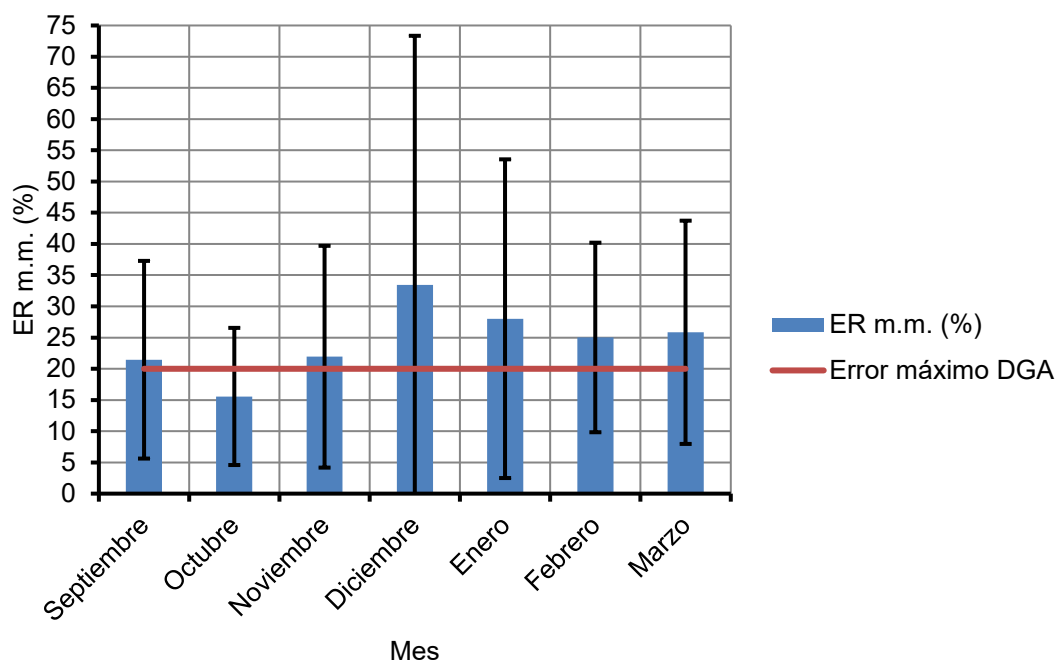


Figura 36. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Teno después de Junta, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $6,35 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Diciembre con $18,86 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $35 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Diciembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Septiembre y Enero, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 37).

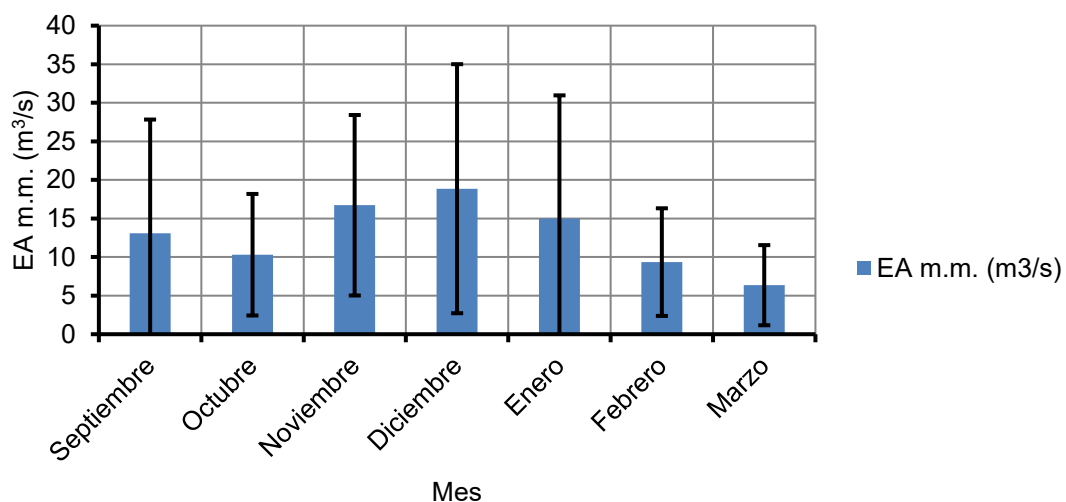


Figura 37. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Teno después de Junta.

5.1.17. Cuenca Claro en los Queñes

La cuenca Claro en los Queñes, para los meses de Octubre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, solo los meses de Septiembre y Noviembre cumplen con dicho parámetro, con un error del 18,28% y 11,83% respectivamente. El error más alto se da en el mes de Marzo con un 1064,8%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 4000% aproximadamente en el mes de Marzo, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Para los meses de Enero, Febrero y Marzo, la dispersión de los datos fue tan alta, que la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por ende su límite inferior es menor a cero. Para esta cuenca en particular, se sospechan intervenciones río arriba de estación de monitoreo, en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, debido a que el Error relativo medio mensual aumenta de forma exponencial en dichos meses, en comparación a Septiembre, Octubre y Noviembre, que presentan valores de error aceptables al parámetro del 20% que declara la DGA para su pronóstico (estos resultados se observan en la figura 38).

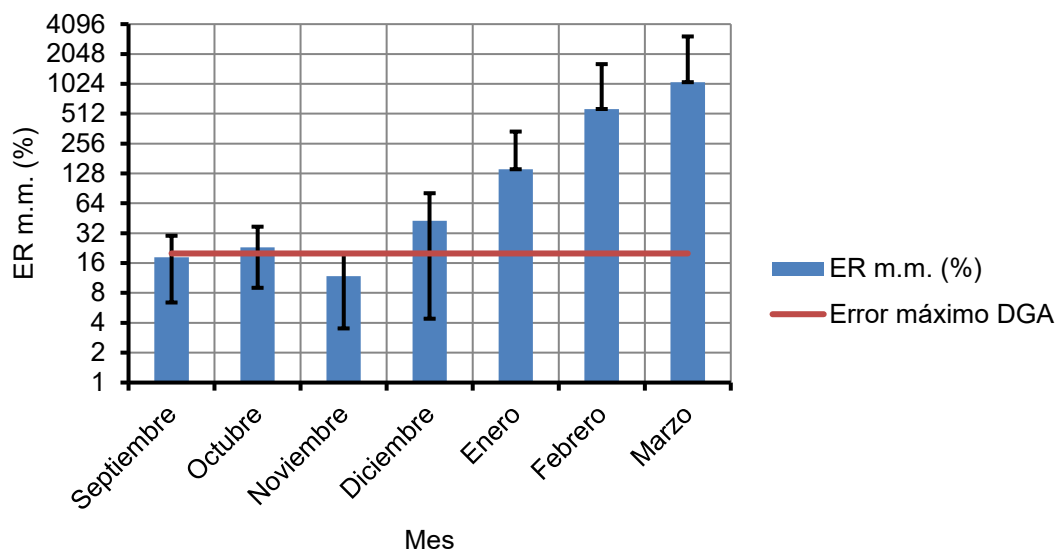


Figura 38. Distribución en escala logarítmica en base 2 del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en los Queñes, con la desviación estándar superior e inferior al promedio de Septiembre a Diciembre, desviación estándar solo superior al promedio de Enero a Marzo y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Febrero con $2,53 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Octubre con $4,74 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $8 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Octubre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 39).

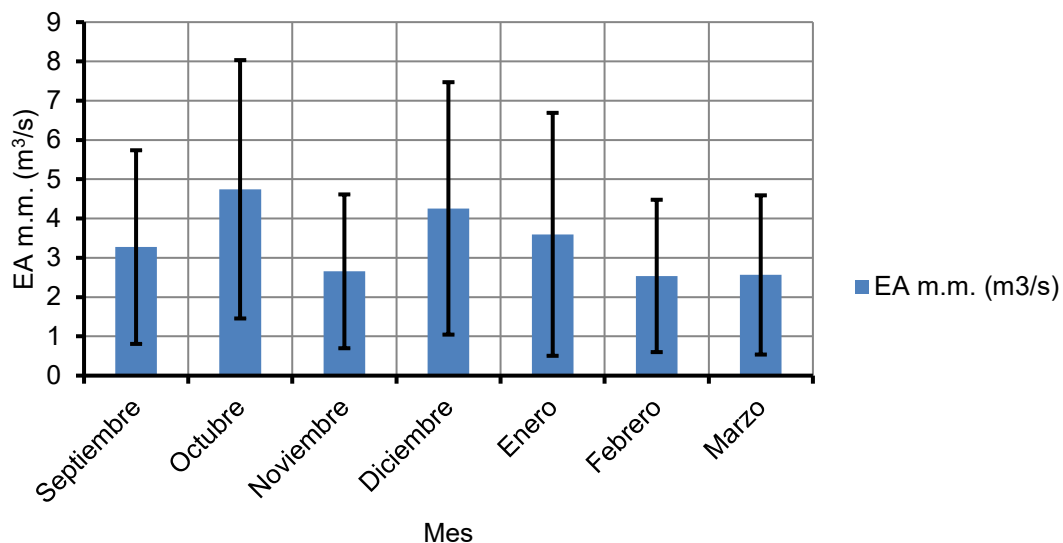


Figura 39. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Claro en los Queñes.

5.1.18. Cuenca Nuble en San Fabián 2

La cuenca Nuble en San Fabián 2, para cada uno de los meses de Septiembre a Marzo, presenta un Error relativo medio mensual (ER m.m.) superior al 20% que reporta la DGA para su pronóstico, el mes de Octubre es el que más se acerca a cumplir con dicho parámetro, con un error del 20,40%. El error más alto se da en el mes de Enero con un 38,28%. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error relativo medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta 70% aproximadamente en el mes de Enero, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego (estos resultados se observan en la figura 40).

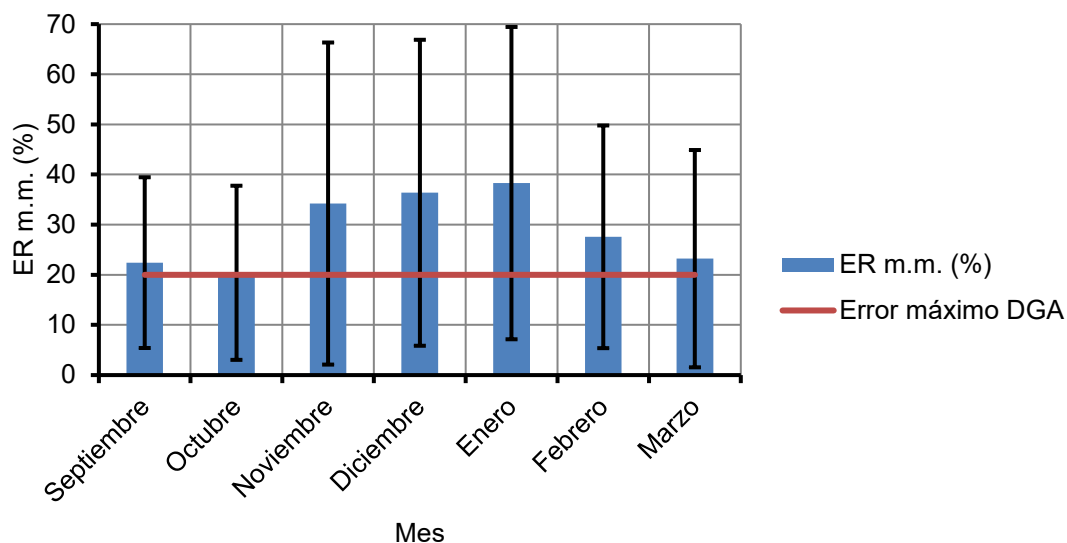


Figura 40. Distribución del Error Relativo medio mensual (%) para el periodo estacional de Septiembre a Marzo, correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Ñuble en San Fabián 2, con su respectiva desviación estándar y error máximo reportado por la DGA (20%) para su pronóstico de caudales de deshielo.

Para el caso del Error absoluto medio mensual (EA m.m.), el valor más bajo se da en el mes de Marzo con $5,23 \text{ m}^3/\text{s}$, y el valor más alto se da en el mes de Noviembre con $39,78 \text{ m}^3/\text{s}$. El límite superior de estos errores mensuales, es decir, el Error absoluto medio mensual más su respectiva desviación estándar, llega hasta $80 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente en el mes de Noviembre, dicho valor es el más alto de toda la temporada de riego. Los meses de Septiembre y Noviembre, presentan una dispersión de datos muy alta, por ende, la desviación estándar es mayor al promedio de estos mismos, por lo cual sus límites inferiores son menores a cero (estos resultados se observan en la figura 41).

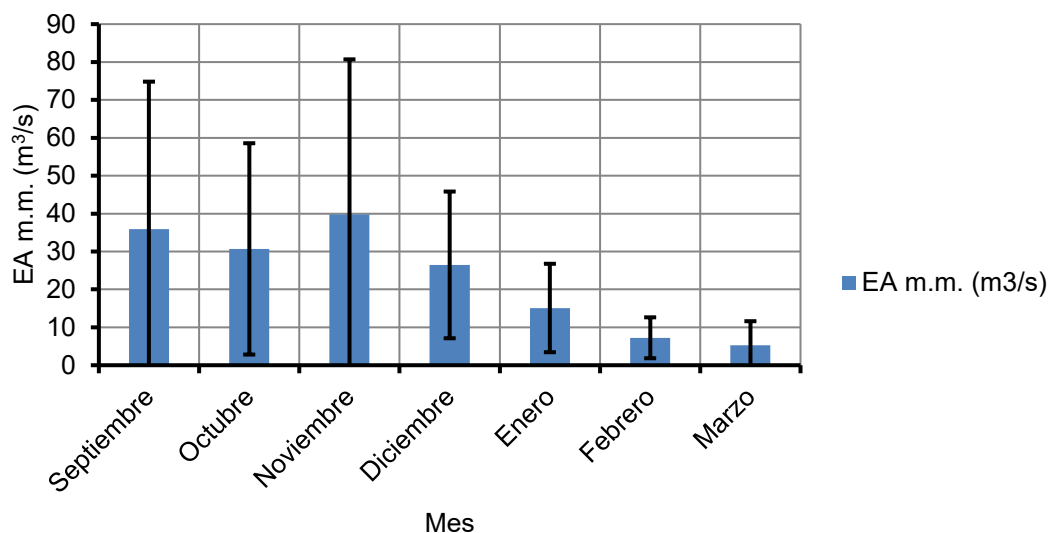


Figura 41. Distribución del Error Absoluto medio mensual (m^3/s) con su respectiva desviación estándar, para el periodo estacional de Septiembre a Marzo correspondiente a la temporada de riego de la cuenca Ñuble en San Fabián 2.

5.2. Reconstrucción de variables meteorológicas de las cuencas en estudio

Las regresiones lineales simples (PpL), con sus respectivos coeficientes de determinación y número de años en común, entre la variable independiente de la Precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida de la red hidrométrica nacional ($P_{pacum\ Abr-Ago\ DGA}$), y la variable dependiente de la Precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida del producto grillado CR2MET v2.5 beta ($P_{pacum\ Abr-Ago\ CR2MET\ v2.5\ beta}$), para 17 de las 20 cuencas en estudio, se muestran en la Tabla 5. La cuenca Huasco en el Maitén no tiene años de datos en común entre estas dos variables, por ende,

no se le puede aplicar una regresión lineal. Para el caso de las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, estas no serán consideradas en el análisis final por tener datos de caudales observados sesgados, esto se debe a intervenciones aguas arriba de sus estaciones de monitoreo, por lo cual, tampoco se analizan sus respectivas variables meteorológicas.

Tabla 5. Coeficiente de determinación (R^2), número de años de datos en común y ecuación de ajuste, de la regresión lineal simple entre la precipitación acumulada obtenida del producto grillado CR2MET v2.5 beta, en función de la precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.

Nº	Cuenca	R^2	Nº años de datos en común	Ecuación de ajuste
1	Copiapó en Pastillo	0,11	5	$PpL = 0,6358 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 49,832$
2	Huasco en Algodones	0,28	13	$PpL = 0,684 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 27,563$
4	Elqui en Algarrobal	0,78	10	$PpL = 0,5697 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 56,797$
5	Hurtado en San Agustín	1	2	$PpL = -0,7722 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 195,87$
6	Grande en las Ramadas	0,91	9	$PpL = 0,5314 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 67,118$
7	Choapa en Cuncumén	0,87	16	$PpL = 0,7731 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 71,624$
8	Aconcagua en Chacabuquito	0,92	21	$PpL = 1,059 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 61,64$
9	Putando Resguardo Patos	0,86	8	$PpL = 1,0457 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 96,16$
10	Juncal en Juncal	0,5	6	$PpL = 1,059 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 192,17$
11	Mapocho en los Almendros	0,88	19	$PpL = 0,6733 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 92,324$
12	Maipo en el Manzano	0,67	9	$PpL = 0,7837 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 153,74$
13	Colorado antes junta Maipo	0,81	7	$PpL = 1,0087 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 87,297$
15	Claro en Hacienda Las Nieves	0,4	5	$PpL = 0,6708 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 332,54$
16	Tinguiririca en B. Briones	0,78	21	$PpL = 1,0435 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 222,73$
17	Teno después de Junta	0,95	20	$PpL = 0,8444 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 202,66$
18	Claro en Los Queñes	0,63	6	$PpL = 0,8619 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 248,58$
20	Ñuble en San Fabián 2	0,66	12	$PpL = 0,7251 * Pp_{acum\ Abr-Ago} DGA + 597,67$

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se puede observar, que 14 de las 17 cuencas a las que se le aplicó la regresión lineal simple, tienen un coeficiente de determinación igual o superior a 0,5, lo que indica que fue una buena regresión, es decir, el conjunto de datos se encuentra cerca de la línea de tendencia ajustada y la ecuación de ajuste representa de buena forma los datos. Dicho modelo lineal, se utilizará para obtener la variable meteorológica de la Precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), a partir de los datos de Precipitación acumulada obtenida de la red hidrométrica nacional ($P_{p_{acum\ Abr-Ago\ DGA}}$), para los años en estudio correspondientes al 2020, 2021, 2022 y 2023.

Solo 5 de las 17 cuencas analizadas, presentaron 15 o más años de datos en común entre las precipitaciones acumuladas de CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, y en todas ellas hubo una buena regresión, con un coeficiente de determinación cercano a 1, lo que indica que en las demás cuencas, su baja cantidad de años de datos en común, imposibilita realizar una mejor regresión lineal. El detalle de la metodología utilizada para recopilar las variables meteorológicas de las cuencas en estudio, se encuentra en el capítulo de anexos y apéndices.

5.3. Regresión Múltiple lineal entre la temperatura y precipitación con el error del pronóstico de caudales de la DGA

Con la información meteorológica recopilada de las cuencas en estudio, se realizaron cuatro regresiones múltiples lineales, en las cuales las variables meteorológicas de temperatura y precipitación, serían los predictores que permiten determinar una variable de respuesta, en este caso, el error del pronóstico de caudales de deshielo. Las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, no se consideran en el análisis, debido a que presentan intervenciones aguas arriba de sus respectivas estaciones de monitoreo, lo que genera que sus valores de error estén sesgados. Para el caso específico de la cuenca Huasco en el Maitén, esta no se puede analizar por carencia de datos de precipitación acumulada.

La Ecuación de la regresión múltiple lineal (ERL m.e.), entre el Error relativo medio estacional (ER m.e.) con respecto a la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$) y la Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), con sus respectivos coeficientes (a_1 , b_1 y c_1) es la siguiente:

$$\text{ERL m. e.} = a_1 + b_1 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_1 * P_{\text{p acum Abr-Ago}} \quad [20]$$

Para la anterior regresión múltiple lineal, el Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), Coeficiente de correlación múltiple, coeficientes a_1 , b_1 y c_1 , con sus respectivos Valor-p de cada uno, para 17 de las 20 cuencas en estudio, se muestran en la Tabla 6. Los valores de coeficiente de determinación mayores a 0,5 se consideran

aceptables, indicando que más de la mitad de la variación observada puede explicarse por las entradas del modelo, por lo cual se destacan en color verde en la Tabla 6, y los valores de valor-p mayores a 0,05 se consideran no aceptables, dado que la relación no es estadísticamente significativa, por esta razón se destacan en color rojo en la Tabla 6.

Tabla 6. Coeficiente de determinación (R^2) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error relativo medio estacional (ERL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.

Nº	Cuenca	R^2	R^2 ajustado	Coeficiente de Correlación múltiple	a_1 (%)	b_1 (%/°C)	c_1 (%/mm)	Valor-p		
								a_1	b_1	c_1
1	Copiapó en Pastillo	0,023	-0,172	0,152	48,852	-1,308	0,015	0,323	0,783	0,901
2	Huasco en Algodones	0,158	0,104	0,398	-218,723	25,423	0,038	0,075	0,033	0,794
4	Elqui en Algarrobal	0,031	-0,016	0,175	29,044	-2,148	0,002	0,011	0,364	0,968
5	Hurtado en San Agustín	0,007	-0,324	0,082	36,414	-2,235	0,023	0,401	0,863	0,926
6	Grande en las Ramadas	0,075	-0,040	0,274	22,027	-4,342	0,171	0,574	0,678	0,441
7	Choapa en Cuncumén	0,103	0,060	0,321	45,365	3,082	-0,065	0,000	0,516	0,090
8	Aconcagua en Chacabuquito	0,047	0,002	0,217	32,906	-2,716	-0,014	0,007	0,233	0,341
9	Putando Resguardo Patos	0,068	-0,164	0,262	-21,946	15,642	0,187	0,862	0,494	0,576
10	Juncal en Juncal	0,092	-0,168	0,303	14,990	-1,035	-0,033	0,638	0,739	0,446
11	Mapocho en los Almendros	0,055	0,010	0,235	56,069	-4,540	-0,019	0,015	0,158	0,332
12	Maipo en el Manzano	0,042	-0,004	0,205	20,540	-0,527	-0,009	0,083	0,756	0,185
13	Colorado antes junta Maipo	0,067	-0,166	0,260	10,507	2,704	-0,032	0,811	0,657	0,546
15	Claro en Hacienda Las Nieves	0,048	-0,190	0,219	-17,449	13,268	-0,082	0,943	0,695	0,575
16	Tinguiririca en B. Briones	0,054	0,005	0,232	11,864	1,511	-0,007	0,287	0,456	0,185
17	Teno después de Junta	0,094	0,051	0,306	25,854	0,233	-0,011	0,030	0,925	0,043
18	Claro en Los Queñes	0,004	-0,329	0,059	36,179	1,471	-0,011	0,687	0,944	0,889
20	Ñuble en San Fabián 2	0,059	0,014	0,243	-3,043	1,690	0,009	0,902	0,635	0,130

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 6 se observa, que las 17 cuencas analizadas con este modelo de regresión lineal, muestran correlaciones insignificantes entre la variable de respuesta (ERL m.e.) y sus respectivos predictores ($T_{\text{media Abr-Ago}}$ y $P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), con valores de R^2 muy inferiores al valor aceptable de 0,5, y coeficientes que en su gran mayoría no presentan una relación estadísticamente significativa con la variable de respuesta del modelo, por lo cual, las variables meteorológicas de $T_{\text{media Abr-Ago}}$ y $P_{\text{pacum Abr-Ago}}$ no son buenos predictores para determinar el Error relativo medio estacional (ER m.e.) de las cuencas en estudio (los coeficientes de determinación se observan en la figura 42).

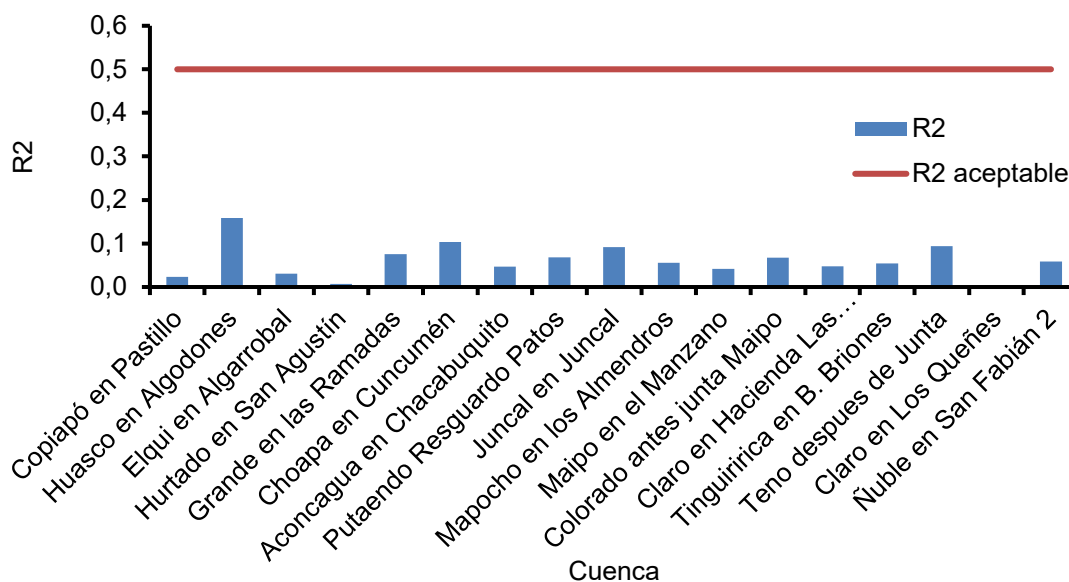


Figura 42. Coeficiente de determinación (R^2) de la regresión múltiple lineal, del error relativo medio estacional (ER m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R^2 aceptable).

La Ecuación de la regresión múltiple lineal (ERL m.e.), entre el Error relativo medio estacional (ER m.e.) con respecto a la Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y la Precipitación acumulada de Abril a agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$), con sus respectivos coeficientes (a_2 , b_2 y c_2) es la siguiente:

$$\text{ERL m. e.} = a_2 + b_2 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_2 * Pp_{\text{acum Abr-Ago}} \quad [21]$$

Para la anterior regresión múltiple lineal, el Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), Coeficiente de correlación múltiple, coeficientes a_2 , b_2 y c_2 , con sus respectivos Valor-p de cada uno, para 17 de las 20 cuencas en estudio, se muestran en la Tabla 7. Los valores de coeficiente de determinación mayores a 0,5 se consideran aceptables, indicando que más de la mitad de la variación observada puede explicarse por las entradas del modelo, por lo cual se destacan en color verde en la Tabla 7, y los valores de valor-p mayores a 0,05 se consideran no aceptables, dado que la relación no es estadísticamente significativa, por esta razón se destacan en color rojo en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente de determinación (R^2) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error relativo medio estacional (ERL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.

Nº	Cuenca	R^2	R^2 ajustado	Coeficiente de Correlación múltiple	a_2 (%)	b_2 (%/°C)	c_2 (%/mm)	Valor-p		
								a_2	b_2	c_2
1	Copiapó en Pastillo	0,053	-0,136	0,231	96,559	-4,464	0,000	0,340	0,541	0,999
2	Huasco en Algodones	0,172	0,118	0,415	-398,836	31,991	0,010	0,042	0,025	0,944
4	Elqui en Algarrobal	0,016	-0,031	0,125	32,493	-1,478	0,012	0,276	0,667	0,740
5	Hurtado en San Agustín	0,002	-0,331	0,044	32,871	0,960	0,023	0,706	0,959	0,926
6	Grande en las Ramadas	0,153	0,059	0,391	5,109	2,060	0,243	0,884	0,820	0,127
7	Choapa en Cuncumén	0,133	0,091	0,364	-1,227	11,013	-0,046	0,971	0,178	0,263
8	Aconcagua en Chacabuquito	0,056	0,011	0,236	69,253	-5,318	-0,018	0,065	0,181	0,240
9	Putando Resguardo Patos	0,151	-0,061	0,389	-289,744	40,430	0,276	0,365	0,280	0,412
10	Juncal en Juncal	0,080	-0,183	0,282	27,644	0,729	-0,030	0,303	0,877	0,499
11	Mapocho en los Almendros	0,023	-0,023	0,152	76,171	-4,582	-0,017	0,246	0,437	0,406
12	Maipo en el Manzano	0,069	0,025	0,263	55,007	-3,464	-0,011	0,104	0,255	0,127
13	Colorado antes junta Maipo	0,043	-0,196	0,207	30,824	-0,240	-0,030	0,802	0,983	0,568
15	Claro en Hacienda Las Nieves	0,031	-0,212	0,175	161,467	-7,628	-0,063	0,801	0,890	0,652
16	Tinguiririca en B. Briones	0,049	0,001	0,222	-0,387	2,151	-0,006	0,991	0,542	0,241
17	Teno después de Junta	0,095	0,052	0,308	35,003	-0,983	-0,012	0,366	0,830	0,043
18	Claro en Los Queñes	0,132	-0,158	0,363	-277,235	39,933	-0,032	0,448	0,382	0,648
20	Ñuble en San Fabián 2	0,085	0,042	0,292	-68,002	7,249	0,011	0,291	0,235	0,085

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 7 se observa, que las 17 cuencas analizadas con este modelo de regresión lineal, muestran correlaciones insignificantes entre la variable de respuesta (ERL m.e.) y sus respectivos predictores ($T_{\text{media Abr-Mar}}$ y $P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), con valores de R^2 muy inferiores al valor aceptable de 0,5, y coeficientes que en su gran mayoría no presentan una relación estadísticamente significativa con la variable de respuesta del modelo, por lo cual, las variables meteorológicas de $T_{\text{media Abr-Mar}}$ y $P_{\text{pacum Abr-Ago}}$ no son buenos predictores para determinar el Error relativo medio estacional (ER m.e.) de las cuencas en estudio (los coeficientes de determinación se observan en la figura 43).

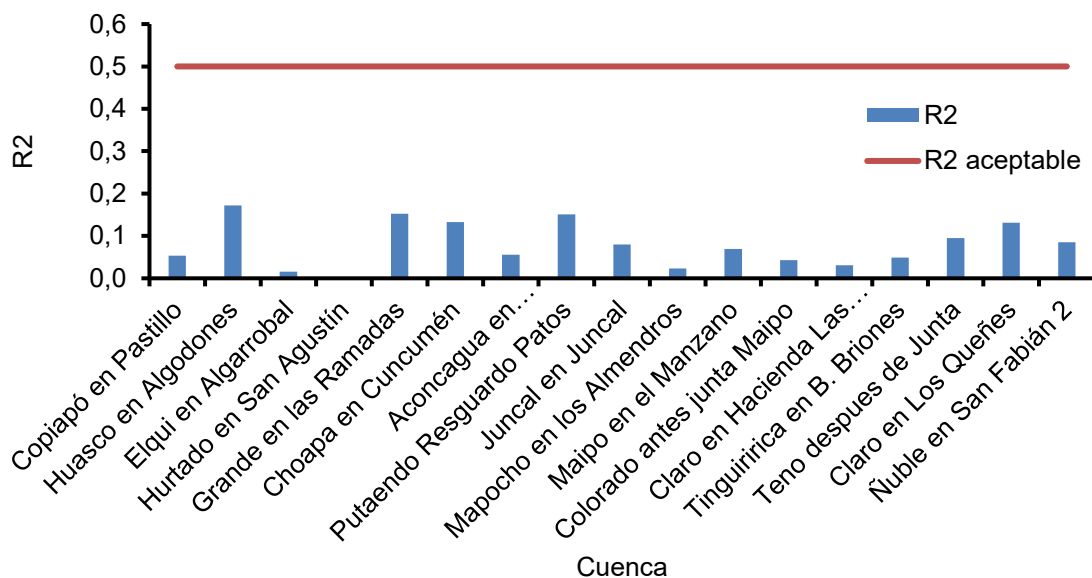


Figura 43. Coeficiente de determinación (R^2) de la regresión múltiple lineal, del error relativo medio estacional (ER m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y la precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R^2 aceptable).

La Ecuación de la regresión múltiple lineal (EAL m.e.), entre el Error absoluto medio estacional (EA m.e.) con respecto a la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$) y la Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), con sus respectivos coeficientes (a_3 , b_3 y c_3) es la siguiente:

$$\text{EAL m. e.} = a_3 + b_3 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_3 * P_{\text{p acum Abr-Ago}} \quad [22]$$

Para la anterior regresión múltiple lineal, el Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), Coeficiente de correlación múltiple, coeficientes a_3 , b_3 y c_3 , con sus respectivos Valor-p de cada uno, para 17 de las 20 cuencas en estudio, se muestran en la Tabla 8. Los valores de coeficiente de determinación mayores a 0,5 se consideran aceptables, indicando que más de la mitad de la variación observada puede explicarse por las entradas del modelo, por lo cual se destacan en color verde en la Tabla 8, y los valores de valor-p mayores a 0,05 se consideran no aceptables, dado que la relación no es estadísticamente significativa, por esta razón se destacan en color rojo en la tabla 8.

Tabla 8. Coeficiente de determinación (R^2) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error absoluto medio estacional (EAL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.

Nº	Cuenca	R^2	R^2 ajustado	Coeficiente de Correlación múltiple	a_3 (m ³ /s)	b_3 (m ³ /s/°C)	c_3 (m ³ /s/mm)	Valor-p		
								a_3	b_3	c_3
1	Copiapó en Pastillo	0,363	0,235	0,602	-0,599	0,095	0,007	0,656	0,475	0,050
2	Huasco en Algodones	0,642	0,619	0,801	-11,551	1,067	0,064	0,125	0,141	0,000
4	Elqui en Algarrobal	0,711	0,697	0,843	-6,513	0,937	0,054	0,000	0,012	0,000
5	Hurtado en San Agustín	0,252	0,003	0,502	0,118	-0,080	0,001	0,654	0,342	0,351
6	Grande en las Ramadas	0,465	0,406	0,682	-1,855	0,014	0,019	0,077	0,960	0,002
7	Choapa en Cuncumén	0,596	0,577	0,772	0,177	0,200	0,010	0,659	0,268	0,000
8	Aconcagua en Chacabuquito	0,539	0,517	0,734	1,979	-0,019	0,022	0,466	0,970	0,000
9	Putando Resguardo Patos	0,769	0,711	0,877	-4,690	1,264	0,013	0,010	0,001	0,006
10	Juncal en Juncal	0,713	0,631	0,844	-1,117	-0,120	0,004	0,238	0,197	0,007
11	Mapocho en los Almendros	0,496	0,472	0,704	-2,796	0,291	0,009	0,114	0,248	0,000
12	Maipo en el Manzano	0,276	0,241	0,525	-9,973	2,775	0,034	0,504	0,206	0,000
13	Colorado antes junta Maipo	0,020	-0,224	0,143	3,113	0,322	-0,001	0,649	0,731	0,829
15	Claro en Hacienda Las Nieves	0,545	0,431	0,738	-24,475	3,198	0,005	0,031	0,038	0,317
16	Tinguiririca en B. Briones	0,278	0,241	0,527	-3,185	1,336	0,010	0,605	0,237	0,000
17	Teno después de Junta	0,167	0,127	0,408	-0,756	1,449	0,007	0,901	0,275	0,012
18	Claro en Los Queñes	0,040	-0,279	0,200	3,162	0,386	-0,001	0,470	0,701	0,669
20	Ñuble en San Fabián 2	0,290	0,257	0,539	-10,275	1,097	0,018	0,578	0,677	0,000

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 8 se puede analizar, que la anterior regresión múltiple lineal presenta 7 cuencas con una buena correlación de datos, las cuales son Huasco en Algodones, Elqui en Algarrobal, Choapa en Cuncumén, Aconcagua en Chacabuquito, Putaendo Resguardo Patos, Juncal en Juncal y Claro en Hacienda Las Nieves.

La cuenca Huasco en Algodones, con un R^2 de 0,642, solo correlaciona bien con el coeficiente c_3 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_3 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$), el valor-p es de 0,141, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Elqui en Algarrobal, con un R^2 de 0,711, correlaciona bien con los 3 coeficientes, lo que significa que cada uno de ellos presenta una relación estadísticamente significativa, por ende, las variables meteorológicas de Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$) y Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$), son buenos predictores para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.). Los valor-p de los coeficientes a_3 , b_3 y c_3 son 0,000, 0,012 y 0,000 respectivamente.

La cuenca Choapa en Cuncumén, con un R^2 de 0,596, solo correlaciona bien con el coeficiente c_3 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_3 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor-p es de 0,268, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Aconcagua en Chacabuquito, con un R^2 de 0,539, solo correlaciona bien con el coeficiente c_3 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_3 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor-p es de 0,970, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Putaendo Resguardo Patos, con un R^2 de 0,769, correlaciona bien con los 3 coeficientes, lo que significa que cada uno de ellos presenta una relación estadísticamente significativa, por ende, las variables meteorológicas de Precipitación acumulada de Abril a agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$) y Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), son buenos predictores

para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.). Los valor-p de los coeficientes a_3 , b_3 y c_3 son 0,010, 0,001 y 0,006 respectivamente.

La cuenca Juncal en Juncal, con un R^2 de 0,713, solo correlaciona bien con el coeficiente c_3 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$), teniendo un valor-p de 0,007 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_3 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$), el valor-p es de 0,197, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Claro en Hacienda Las Nieves, con un R^2 de 0,545, correlaciona bien con los coeficiente a_3 y b_3 , con valores-p de 0,031 y 0,038 respectivamente, lo que significa que presentan una relación estadísticamente significativa, por ende, la variable meteorológica de Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.). Para el caso de coeficiente c_3 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$), teniendo un valor-p de 0,317, su relación no es estadísticamente significativa, por lo cual, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

Las demás cuencas analizadas con este modelo de regresión muestran correlaciones insignificantes, con valores de R^2 muy inferiores al valor aceptable de 0,5 (estos coeficientes de determinación se observan en la figura 44).

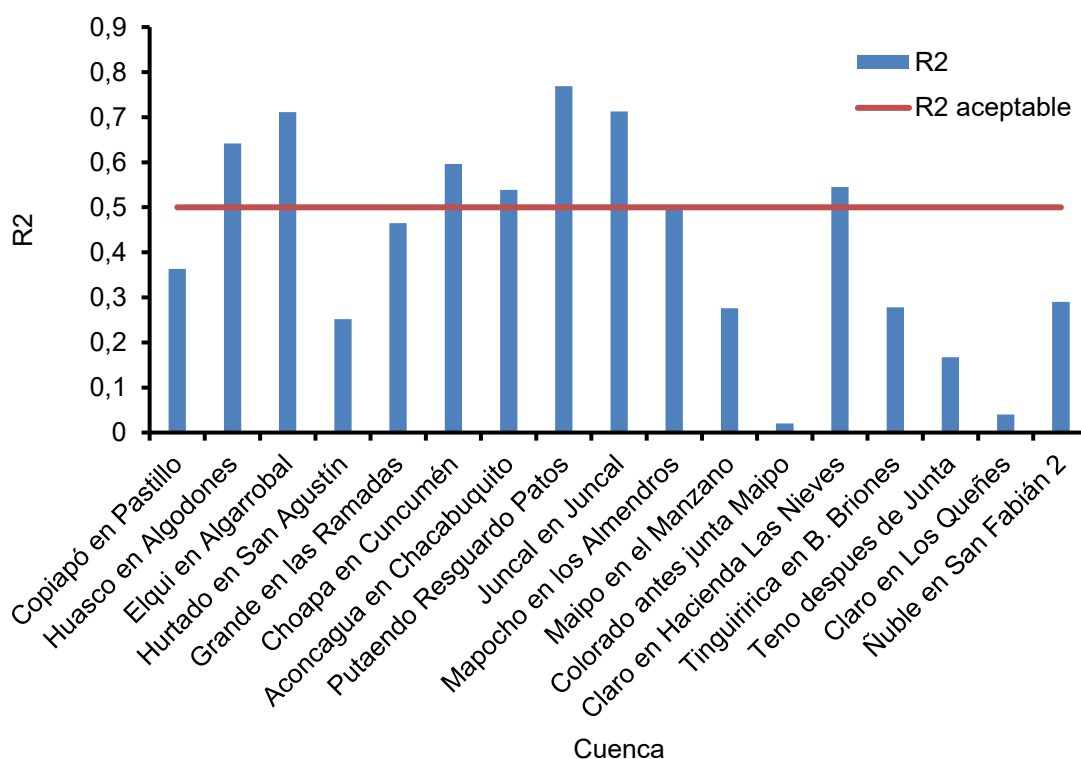


Figura 44. Coeficiente de determinación (R^2) de la regresión múltiple lineal, del error absoluto medio estacional (EA m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R^2 aceptable).

La Ecuación de la regresión múltiple lineal (EAL m.e.), entre el Error absoluto medio estacional (EA m.e.) con respecto a la Temperatura media de Abril a

Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y la Precipitación acumulada de Abril a agosto ($Pp_{\text{acum Abr-Ago}}$), con sus respectivos coeficientes (a_4 , b_4 y c_4) es la siguiente:

$$EAL \text{ m. e.} = a_4 + b_4 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_4 * Pp_{\text{acum Abr-Ago}} \quad [23]$$

Para la anterior regresión múltiple lineal, el Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), Coeficiente de correlación múltiple, coeficientes a_4 , b_4 y c_4 , con sus respectivos Valor-p de cada uno, para 17 de las 20 cuencas en estudio, se muestran en la Tabla 9. Los valores de coeficiente de determinación mayores a 0,5 se consideran aceptables, indicando que más de la mitad de la variación observada puede explicarse por las entradas del modelo, por lo cual se destacan en color verde en la Tabla 9, y los valores de valor-p mayores a 0,05 se consideran no aceptables, dado que la relación no es estadísticamente significativa, por esta razón se destacan en color rojo en la Tabla 9.

Tabla 9. Coeficiente de determinación (R^2) (en color verde los mayores a 0,5), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y coeficiente de correlación múltiple, de la regresión múltiple lineal entre el error absoluto medio estacional (EAL m.e.) con respecto a las variables meteorológicas de temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), con sus respectivos coeficientes y valor-p (en color rojo los mayores a 0,05) de cada uno, para 17 de las 20 cuencas analizadas en este estudio de diagnóstico del Pronóstico de Caudales de Deshielo de la DGA.

Nº	Cuenca	R^2	R^2 ajustado	Coeficiente de Correlación múltiple	a_4 (m ³ /s)	b_4 (m ³ /s/°C)	c_4 (m ³ /s/mm)	Valor-p		
								a_4	b_4	c_4
1	Copiapó en Pastillo	0,385	0,262	0,621	-2,229	0,189	0,007	0,423	0,354	0,033
2	Huasco en Algodones	0,648	0,625	0,805	-20,213	1,422	0,063	0,093	0,100	0,000
4	Elqui en Algarrobal	0,694	0,679	0,833	-11,712	1,077	0,052	0,014	0,049	0,000
5	Hurtado en San Agustín	0,330	0,107	0,575	0,723	-0,144	0,001	0,191	0,218	0,405
6	Grande en las Ramadas	0,468	0,409	0,684	-1,128	-0,147	0,018	0,668	0,767	0,004
7	Choapa en Cuncumén	0,584	0,565	0,764	-0,121	0,042	0,010	0,928	0,893	0,000
8	Aconcagua en Chacabuquito	0,550	0,528	0,741	10,240	-0,901	0,021	0,226	0,318	0,000
9	Putando Resguardo Patos	0,422	0,278	0,650	-11,463	1,514	0,012	0,085	0,055	0,083
10	Juncal en Juncal	0,685	0,595	0,827	-0,692	-0,148	0,004	0,377	0,305	0,010
11	Mapocho en los Almendros	0,490	0,466	0,700	-5,625	0,433	0,010	0,270	0,345	0,000
12	Maipo en el Manzano	0,252	0,217	0,502	-14,882	2,098	0,034	0,734	0,599	0,000
13	Colorado antes junta Maipo	0,006	-0,241	0,082	7,331	-0,191	-0,001	0,698	0,909	0,849
15	Claro en Hacienda Las Nieves	0,417	0,272	0,646	-50,019	4,105	0,009	0,107	0,121	0,170
16	Tinguiririca en B. Briones	0,258	0,220	0,508	-6,550	1,098	0,010	0,723	0,579	0,000
17	Teno después de Junta	0,144	0,103	0,379	0,130	0,599	0,007	0,994	0,807	0,011
18	Claro en Los Queñes	0,156	-0,124	0,395	-11,974	2,053	-0,002	0,494	0,353	0,525
20	Ñuble en San Fabián 2	0,298	0,265	0,546	-40,668	3,582	0,019	0,398	0,431	0,000

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 9 se puede analizar, que la anterior regresión múltiple lineal presenta 5 cuencas con una buena correlación de datos, las cuales son Huasco en Algodones, Elqui en Algarrobal, Choapa en Cuncumén, Aconcagua en Chacabuquito y Juncal en Juncal.

La cuenca Huasco en Algodones, con un R^2 de 0,648, solo correlaciona bien con el coeficiente c_4 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_4 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$), el valor-p es de 0,100, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Elqui en Algarrobal, con un R^2 de 0,694, correlaciona bien con los 3 coeficientes, lo que significa que cada uno de ellos presenta una relación estadísticamente significativa, por ende, las variables meteorológicas de Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$) y Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$), son buenos predictores para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.). Los valor-p de los coeficientes a_4 , b_4 y c_4 son 0,014, 0,049 y 0,000 respectivamente.

La cuenca Choapa en Cuncumén, con un R^2 de 0,584, solo correlaciona bien con el coeficiente c_4 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de

Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_4 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$), el valor-p es de 0,893, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Aconcagua en Chacabucito, con un R^2 de 0,550, solo correlaciona bien con el coeficiente c_4 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,000 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_4 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$), el valor-p es de 0,318, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

La cuenca Juncal en Juncal, con un R^2 de 0,685, solo correlaciona bien con el coeficiente c_4 , que acompaña al predictor Precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$), teniendo un valor-p de 0,010 que significa que la relación es estadísticamente significativa, pero para el coeficiente b_4 que acompaña al predictor Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$), el valor-p es de 0,305, lo que significa que la relación no es estadísticamente significativa y por ende, esta variable no es un buen predictor para

determinar una variable de respuesta como el Error absoluto medio estacional (EA m.e.).

Las demás cuencas analizadas con este modelo de regresión muestran correlaciones insignificantes, con valores de R^2 muy inferiores al valor aceptable de 0,5 (estos coeficientes de determinación se observan en la figura 45).

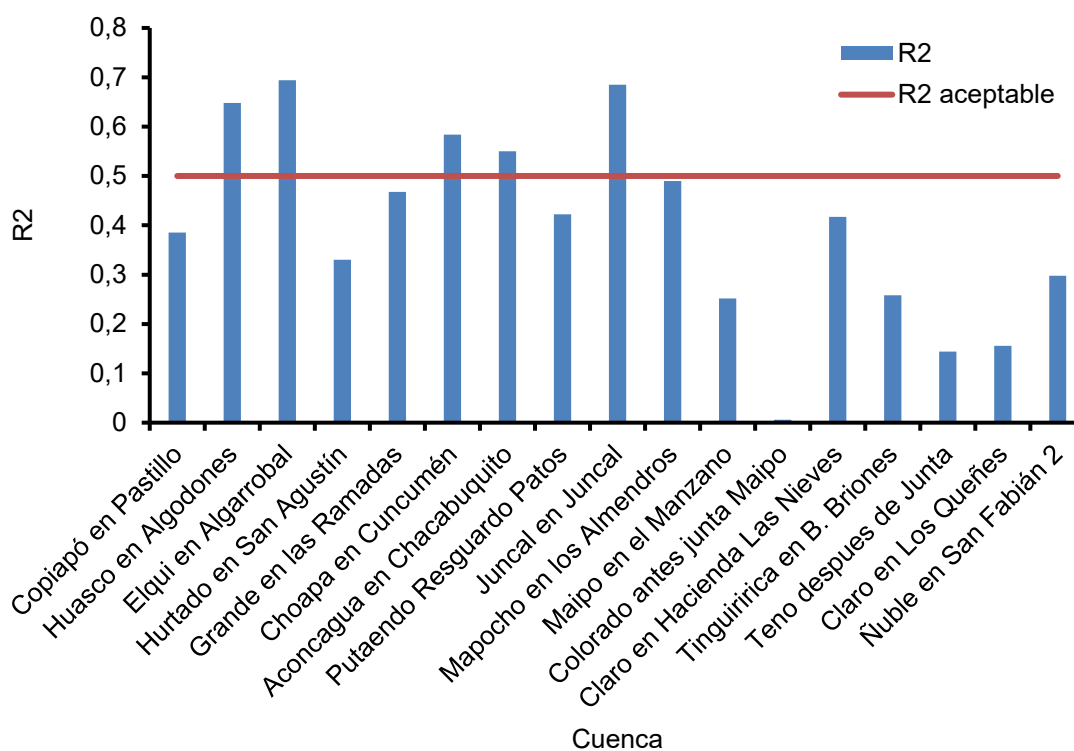


Figura 45. Coeficiente de determinación (R^2) de la regresión múltiple lineal, del error absoluto medio estacional (EA m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{acum Abr-Ago}}$), para 17 de las 20 cuencas en estudio, en comparación con el coeficiente de determinación aceptable (R^2 aceptable).

5.4. Correlación entre el tipo de año meteorológico y el error del pronóstico de caudales de la DGA

Los valores promedio del error relativo medio estacional de cada tipo de año meteorológico, se comparan entre cuencas para visualizar en donde el pronóstico de caudales de deshielo estacional de la DGA es más acertado (dicha comparación se observa en la Tabla 10).

Tabla 10. Promedio del error relativo medio estacional (%) de los tipos de años meteorológicos seco-cálido, seco-frío, húmedo-cálido y húmedo-frío, correspondientes a cada cuenca en estudio.

Nº	Cuenca	Promedio del error relativo medio estacional (%)			
		año seco-cálido	año seco-frío	año húmedo-cálido	año húmedo-frío
1	Copiapó en Pastillo	29,2	43,7	69,3	35,8
2	Huasco en Algodones	53,7	20,2	24,5	28,2
3	Huasco en el Maitén (estación nueva)	7,9	-	-	10,3
4	Elqui en Algarrobal	18,2	27,4	6,2	27,0
5	Hurtado en San Agustín	12,5	51,5	46,7	47,5
6	Grande en las Ramadas	32,3	25,7	89,9	81,4
7	Choapa en Cuncumén	31,5	39,6	14,3	9,4
8	Aconcagua en Chacabuquito	15,1	20,0	18,2	14,3
9	Putaendo Resguardo Patos	66,1	52,4	234,3	34,8
10	Juncal en Juncal	18,6	16,1	9,5	6,6
11	Mapocho en los Almendros	18,9	31,9	26,7	10,5
12	Maipo en el Manzano	11,1	16,7	14,4	7,9

Continuación tabla anterior.

13	Colorado antes junta Maipo	23,8	11,5	26,0	7,1
15	Claro en Hacienda Las Nieves	90,7	22,0	19,7	13,3
16	Tinguiririca en B. Briones	17,3	13,0	13,2	14,7
17	Teno después de Junta	17,1	22,4	13,5	9,2
18	Claro en Los Queñes	3,1	33,2	60,1	14,5
20	Ñuble en San Fabián 2	16,6	21,3	26,5	22,8

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 10 se puede analizar que dentro de una misma cuenca varía el promedio del error relativo medio estacional dependiendo del tipo de año, en algunas cuencas esta variación es muy marcada y en otras es leve, lo cual indica que las condiciones meteorológicas estacionales, dependiendo de la cuenca, influyen en la certeza del pronóstico de caudales de deshielo.

Para el tipo de año seco-cálido, 11 cuencas presentan un error relativo medio estacional inferior al 20% que declara la DGA para su pronóstico de caudales de deshielo, las cuales son: Huasco en el Maitén (7,9%), Elqui en Algarrobal (18,2%), Hurtado en San Agustín (12,5%), Aconcagua en Chacabuquito (15,1%), Juncal en Juncal (18,6%), Mapocho en los Almendros (18,9%), Maipo en el Manzano (11,1%), Tinguiririca en B. Briones (17,3%), Teno después de Junta (17,1%), Claro en los Queñes (3,1%) y Ñuble en San Fabián 2 (16,6%).

Para el tipo de año seco-frío, cinco cuencas presentan un error relativo medio estacional inferior al 20% que declara la DGA para su pronóstico de

caudales de deshielo, las cuales son: Aconcagua en Chacabuquito (20%), Juncal en Juncal (16,1%), Maipo en el Manzano (16,7%), Colorado antes Junta Maipo (11,5%) y Tinguiririca en B. Briones (13%).

Para el tipo de año húmedo-cálido, ocho cuencas presentan un error relativo medio estacional inferior al 20% que declara la DGA para su pronóstico de caudales de deshielo, las cuales son: Elqui en Algarrobal (6,2%), Choapa en Cuncumén (14,3%), Aconcagua en Chacabuquito (18,2%), Juncal en Juncal (9,5%), Maipo en el Manzano (14,4%), Claro en Hacienda las Nieves (19,7%), Tinguiririca en B. Briones (13,2%) y Teno después de Junta (13,5%).

Para el tipo de año húmedo-frío, 11 cuencas presentan un error relativo medio estacional inferior al 20% que declara la DGA para su pronóstico de caudales de deshielo, las cuales son: Huasco en el Maitén (10,3%), Choapa en Cuncumén (9,4%), Aconcagua en Chacabuquito (14,3%), Juncal en Juncal (6,6%), Mapocho en los Almendros (10,5%), Maipo en el Manzano (7,9%), Colorado antes junta Maipo (7,1%), Claro en Hacienda las Nieves (13,3%), Tinguiririca en B. Briones (14,7%), Teno después de Junta (9,2%) y Claro en los Queñes (14,5%).

Las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo, no son consideradas en este análisis, debido a que sus valores de Error relativo medio estacional, están sesgados por intervenciones aguas arriba de sus respectivas estaciones fluviométricas. Para el caso de la cuenca Huasco en el Maitén, esta cuenta solo con dos años de pronósticos de caudales, los

cuales son de tipo año seco-cálido y año húmedo-frío, por lo cual no se tienen registros de años meteorológicos de tipo seco-frío y húmedo-cálido.

5.5. Discusión de resultados

Los resultados de esta investigación, que tiene como fin diagnosticar la calidad del pronóstico de caudales de deshielo realizado por la Dirección General de Aguas (DGA), en el cual se analizan cuencas cordilleranas ubicadas en la zona de riego en Chile, arrojaron que la capacidad de predicción del pronóstico varía mucho por dos razones en particular, la primera son las condiciones meteorológicas estacionales propias de cada cuenca, y la segunda son los factores externos, principalmente intervenciones aguas arriba del punto de salida de cada cuenca, lo que genera que las respectivas estaciones fluviométricas midan una respuesta hidrológica sesgada, y por ende, los caudales pronosticados presenten valores de error incoherentes, debido a que los volúmenes que pronostica la DGA corresponden a un régimen natural de los ríos.

Del universo de 20 cuencas, solo 17 son sometidas a este análisis final, ya que la cuenca Huasco en el Maitén, por presentar solo dos años de pronósticos, imposibilitó realizar una evaluación más profunda, pero sí se logró cuantificar el error en la predicción de caudales de dichos años. Por otro lado, las cuencas Cachapoal en Puente Termas y Maule en Armerillo,

tampoco fueron consideradas en el análisis final, debido a que presentan intervenciones aguas arriba de sus respectivas estaciones fluviométricas.

Los resultados obtenidos del error relativo medio de la cuenca, dieron a conocer que siete de las 20 cuencas en estudio, cumplieron con el estándar del 20% máximo de error que declara la DGA para su pronóstico, dichas cuencas fueron: Huasco en el Maitén, Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal, Maipo en el Manzano, Colorado antes junta Maipo, Tinguiririca en B. Briones y Teno después de Junta. Cabe destacar que en la gran mayoría de las cuencas, la distribución mensual del error relativo, muestra que algunos meses son inferiores al estándar de error y otros muy superiores, lo que indica que dentro del periodo estacional, la calidad del pronóstico varía de gran manera, y que el error relativo medio de la cuenca, no es un buen indicador para representar la capacidad de predicción del pronóstico para cada mes en particular. El ejemplo más claro de esta situación, es la cuenca Claro en los Queñes, que presenta un error relativo medio de la cuenca de 33,7%, pero en los meses de Enero, Febrero y Marzo, los valores de error son de 141,2%, 571,5% y 1064,8% en el orden dado. Esto se podría explicar por varios factores, tales como, intervenciones al río que no fueron consideradas por la DGA, comportamientos irregulares de las variables meteorológicas dentro del periodo estacional, o simplemente porque la metodología del pronóstico es muy sencilla y no logra capturar la variación mes a mes de manera adecuada.

Si analizamos el comportamiento del error, tanto relativo como absoluto, dentro del periodo estacional de Septiembre a Marzo, nos podemos dar cuenta que la gran mayoría de las cuencas siguen un patrón estadístico definido, en el cual los errores medios mensuales, son bajos en los meses iniciales (Septiembre y Octubre), alcanzan su máximo valor a la mitad del periodo (Noviembre, Diciembre y Enero), y luego vuelven a disminuir en los meses finales (Febrero y Marzo), por ende, se puede decir que el error mes a mes se comporta como una distribución normal. Este fenómeno se podría explicar, debido que a medida que nos alejamos del punto inicial del pronóstico, este suele ser peor por la incertidumbre acumulada con el paso de los meses, por esta razón, se observa un aumento en el error al principio de la estación de deshielo, que coincide con los meses en los que aumenta la temperatura, existiendo mayor energía para el derretimiento. Al mismo tiempo, dichos meses son los que más caudales de deshielo producen, por ende existe un mayor potencial para generar un error, mientras que después de Enero o Febrero ya entramos normalmente en caudales base o cerca de estos, y esa es una condición más estable de año a año, por cuanto el error tiende a disminuir nuevamente. Cabe destacar, que el pronóstico de caudales de deshielo realizado por la DGA, no presenta dentro de su informe el modelo hidrológico utilizado para realizar dicho pronóstico, solo muestra los resultados de su estudio, por lo cual, esta investigación se limita a sacar análisis y conclusiones solo de los caudales pronosticados para cada cuenca, sin conocer mecanismo que hay detrás.

Los resultados de las regresiones múltiples lineales, realizadas a 17 de las 20 cuencas en estudio, evidenciaron que el error relativo medio estacional no correlaciona de buena manera con las variables meteorológicas estacionales de temperaturas medias y precipitación acumulada, presentando coeficientes de determinación (R^2) cercanos a cero, lo que indica una baja capacidad del modelo utilizado para predecir los errores relativos del pronóstico de caudales de deshielo. Por otra parte, el error absoluto medio estacional si correlacionó de buena forma con las variables meteorológicas estacionales, principalmente con la temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), dado que la regresión múltiple lineal, del error absoluto medio estacional (EA m.e.) en función de la temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$) y la precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), presentó siete cuencas con coeficientes de determinación (R^2) superior a 0,5, por ende, este modelo tuvo un mejor desempeño que la regresión múltiple lineal que utilizo como predictor a la temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), porque esta última cuenta con cinco cuencas con buena correlación de datos, cifra inferior a la ya antes mencionada.

Para las regresiones del error absoluto medio estacional, en las cuencas donde la correlación de variables es significativa, observamos que el error del pronóstico aumenta cuando los predictores de precipitación y temperatura también lo hacen, con la excepción de las cuencas Aconcagua en Chacabuquito y Juncal en Juncal, en las cuales si aumenta el predictor de

temperatura disminuye el error absoluto del pronóstico, debido a que el coeficiente que acompaña a dicha variable es negativo.

No se identificó una tendencia clara en la capacidad predictiva del pronóstico de caudales de deshielo según los distintos tipos de años meteorológicos. En particular, los años seco-cálidos presentaron 11 cuencas con un error relativo medio estacional inferior al 20% establecido por la DGA, mientras que en los años seco-fríos esta cifra se redujo a cinco cuencas. Por su parte, los años húmedo-cálidos registraron ocho cuencas bajo dicho umbral, y los húmedo-fríos, 11 cuencas.

Finalmente, se concluye que la capacidad predictiva de la DGA es variable y en general se encuentra por sobre el umbral del 20% declarado. Si bien algunas cuencas presentan errores dentro del límite aceptable, otras muestran desviaciones significativas que pueden comprometer la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico. Este estudio resalta la necesidad de mejorar los modelos de pronóstico de deshielo, incorporando herramientas que representen los procesos de acumulación y derretimiento de nieve de manera explícita dentro del pronóstico de deshielo.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio, ha permitido evaluar la capacidad de predicción del pronóstico de caudales de deshielo para la temporada de riego en Chile, realizado por la Dirección General de Aguas (DGA). Dicho pronóstico, abarca cuencas cordilleranas en la zona de riego del país, comprendidas entre el río Copiapó y Ñuble. A través de un análisis exhaustivo y de una larga recopilación de datos, esta investigación logró cuantificar los errores absolutos y relativos del modelo de predicción de caudales utilizado por la DGA, evidenciando que la precisión del modelo varía mucho de una cuenca a otra, dependiendo de factores como las condiciones meteorológicas locales y la presencia de intervenciones aguas arriba de la estación de monitoreo.

Los resultados de las cuencas analizadas, muestran que en la mayoría de los casos, el error relativo supera el umbral del 20% establecido por la DGA, tanto a escala mensual como estacional, lo que indica que el modelo de pronóstico necesita mejoras en vías de disminuir el error estacional. Es necesario la inclusión de nuevas variables predictoras que permitan una mayor exactitud y confiabilidad del pronóstico. Se observó que los errores estacionales de una cuenca, no tienen una relación clara con el tipo de año meteorológico (húmedo o seco vs frío o cálido) que hubo en una determinada temporada, por lo cual, es un factor que no parece tener una gran relevancia al momento de diagnosticar el pronóstico de caudales. Sin embargo, en algunas cuencas, el error absoluto medio estacional correlaciona de buena

forma con las variables meteorológicas, como la precipitación acumulada estacional y la temperatura media estacional.

En conclusión, se recomienda una revisión y mejora de los modelos de pronóstico de caudales de deshielo utilizados por la DGA, en donde los procesos de acumulación y derretimiento de nieve que controlan los caudales de deshielo se consideren de manera explícita en este. Para esto será necesario seguir complementando y expandiendo la red de monitoreo nival de la DGA, con el fin de mejorar la caracterización de la dinámica nival en la Cordillera de los Andes. Un adecuado pronóstico de deshielo es clave para mejorar la gestión de los recursos hídricos en Chile, en particular dentro del contexto de la creciente variabilidad climática que estamos experimentando.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, F., & Kurosawa, J. (2005). Investigación sobre análisis de derretimiento de nieve en la cuenca del Río Maipo (pp. 28–29). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9901/CNR-0271.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., Puelma, C., Cortes, G., Garreaud, R., McPhee, J., & Ayala, A. (2018). The CAMELS-CL dataset: Catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://hess.copernicus.org/articles/22/5817/2018/>

Baeza, E. (2018). Situación de los recursos hídricos en Chile (2). Biblioteca del Congreso Nacional BCN. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25323/2/Informe_Recurso_Hidricos_en_Chile.pdf

Boisier, J. P. (2023). CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for the period 1960–2021 in continental Chile. Zenodo. <https://zenodo.org/records/7529682>

Bórquez, R., Larraín, S., Polanco, R., & Urquidi, J. C. (2006). Glaciares chilenos: Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía. <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Glaciares-Chilenos-Reservas-Estrat%C3%A9gicas-de-Agua-Dulce-para-la-sociedad-los-ecosistemas-y-la-econom%C3%ADa-2006.pdf>

Dirección General de Aguas. (2015). Atlas del Agua - Chile 2016. <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/bitstream/handle/20.500.13000/4371/Atlas2016parte1.pdf?sequence=2&isAllowed>

Dirección General de Aguas. (2021). Pronóstico de caudales de deshielo temporada de riego 2021–2022 (3). https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Documents/Pronostico_2021_2022.pdf

Dirección General de Aguas. (2024). Biblioteca Digital Dirección General de Aguas. <https://snia.mop.gob.cl/PIA-PORTAL/>

Dirección General de Aguas. (2024). Sistema Hidrométrico en Línea. <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>

Fundación Chile. (2022). Usos del agua en Chile: Medir para gestionar.
<https://escenarioshidricos.cl/noticia/usos-del-agua-en-chile-medir-para-gestionar/>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
<https://doi.org/10.1002/qj.3803>

HIDRICA CONSULTORES & ERIDANUS. (2020). Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Aconcagua (1). Santiago.
<https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/125414>

Milana, J. P. (1998). Predicción de caudales de ríos alimentados por deshielo mediante balance de energía: Aplicación en los Andes centrales, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*. San Juan.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-63601998000200001

Office of Water Prediction. (2023). The National Water Model.
<https://water.noaa.gov/about/nwm>

Smith, R., Vélez, J., Velásquez, J., Ceballos, A., Correa, P., Góez, C., Hernández, O., Salazar, L., & Zapata, E. (2004). Modelos de predicción de caudales mensuales para el sector eléctrico colombiano. Medellín. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/download/93064/77832/5116>

8. ANEXOS Y APÉNDICES

Cuenca Copiapó en Pastillo

Las variables meteorológicas de la cuenca Copiapó en Pastillo, corresponden a 13 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2011 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 11,8 °C, y el más bajo se da en los años 2017 y 2022 con 6,9 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 14,9 °C, y el más bajo el año 2022 con 11,8 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2017 con 225 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019 con 2 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 46 y se encuentra recopilada en la Tabla 11.

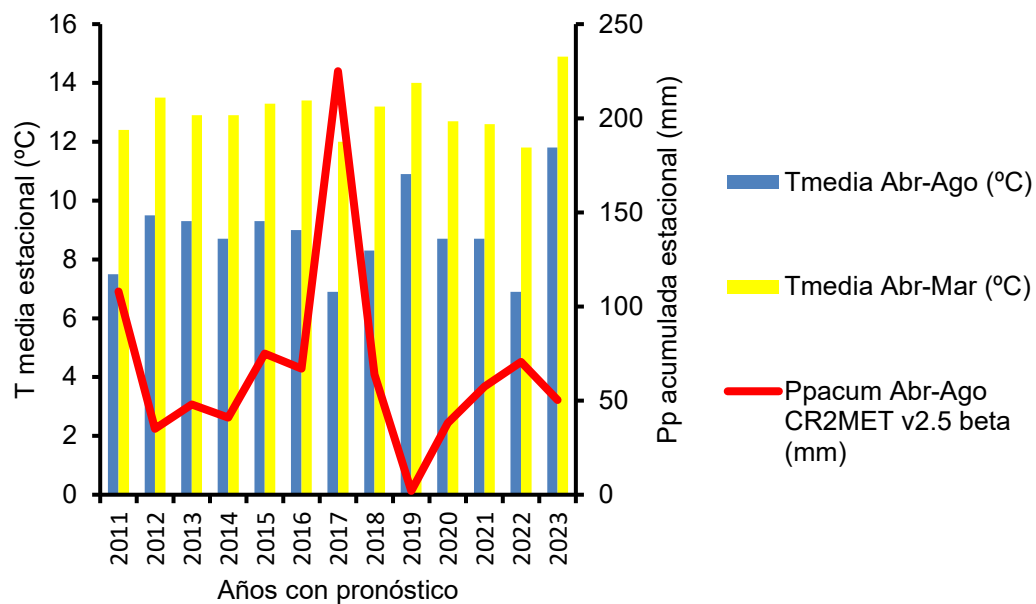


Figura 46. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2011 y 2023 para la cuenca Copiapó en Pastillo.

Tabla 11. Variables meteorológicas de la cuenca Copiapó en Pastillo, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	Pp _{acum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	Pp _{acum Abr-Ago DGA} (mm)
2011	7,5	12,4	108	-
2012	9,5	13,5	35	-
2013	9,3	12,9	48	-
2014	8,7	12,9	41	-
2015	9,3	13,3	75	58,7
2016	9,0	13,4	67	-
2017	6,9	12,0	225	88,8
2018	8,3	13,2	64	3,5
2019	10,9	14,0	2	92,5
2020	8,7	12,7	38	0
2021	8,7	12,6	57,5	12,1
2022	6,9	11,8	70,6	32,6
2023	11,8	14,9	50,3	0,7

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Huasco en Algodones

Las variables meteorológicas de la cuenca Huasco en Algodones, corresponden a 34 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1980 hasta 1987, y 1996 hasta 2021. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2006 con 11,6 °C, y el más bajo se da en los años 1984 y 2000 con 8,5 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo

($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2006 con 14,8 °C, y el más bajo el año 1983 con 12,4 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 1997 con 270 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019 con 1 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 47 y se encuentra recopilada en la Tabla 12.

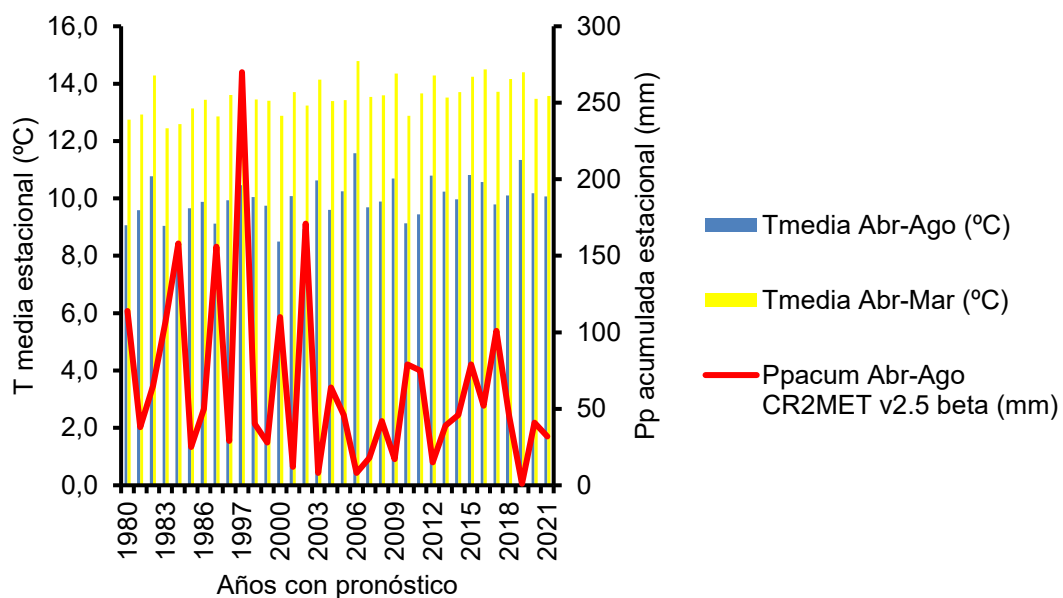


Figura 47. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1980 hasta 1987 y 1996 hasta 2021, para la cuenca Huasco en Algodones.

Tabla 12. Variables meteorológicas de la cuenca Huasco en Algodones, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para el año 2021 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1980	9,1	12,7	114	-
1981	9,6	12,9	38	-
1982	10,8	14,3	65	-
1983	9	12,4	107	-
1984	8,5	12,6	158	-
1985	9,7	13,1	25	-
1986	9,9	13,4	50	-
1987	9,1	12,9	156	-
1996	9,9	13,6	29	-
1997	10,5	13,9	270	-
1998	10,1	13,4	40	-
1999	9,7	13,4	28	-
2000	8,5	12,9	110	-
2001	10,1	13,7	12	-
2002	8,9	13,2	171	-
2003	10,6	14,1	8	-
2004	9,6	13,4	64	72,3
2005	10,2	13,4	46	44,6
2006	11,6	14,8	8	0
2007	9,7	13,5	18	1,6
2008	9,9	13,6	42	37,6
2009	10,7	14,4	17	-
2010	9,1	12,9	79	-
2011	9,4	13,7	75	53,3
2012	10,8	14,3	15	7,9
2013	10,2	13,5	39	20,2
2014	10	13,7	46	18,6
2015	10,8	14,2	79	0,8
2016	10,6	14,5	52	-

Continuación tabla anterior.

2017	9,8	13,7	101	30
2018	10,1	14,2	45	-
2019	11,3	14,4	1	0,1
2020	10,2	13,5	41	29,8
2021	10,1	13,6	32	6,5

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Huasco en el Maitén

Las variables meteorológicas de la cuenca Huasco en el Maitén, corresponden a 2 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2022 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 11,9 °C, y el más bajo se da en el año 2022 con 8,3 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 14,9 °C, y el más bajo el año 2022 con 12,8 °C. Para el caso específico de esta cuenca, no se cuenta con datos de años en común de precipitación acumulada CR2MET v2.5 beta y precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional. La razón se debe a que la estación de monitoreo Huasco en el Maitén es nueva, no lleva más de 2 años de funcionamiento, por ende, no existen datos históricos de precipitación acumulada medida por la DGA que nos permitan hacer una regresión lineal con los datos del producto grillado CR2MET v2.5 beta. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 48 y se encuentra recopilada en la Tabla 13.

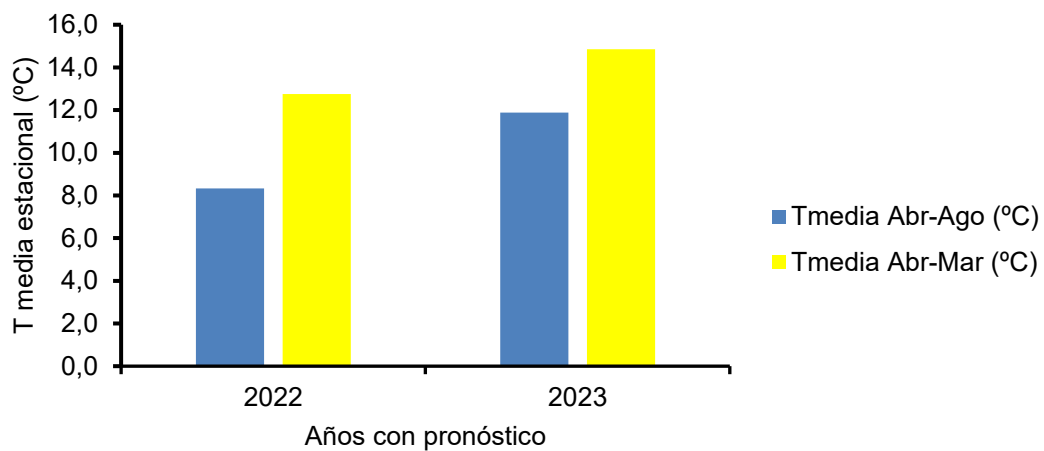


Figura 48. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$) y temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), para los años con pronóstico de 2022 y 2023 para la cuenca Huasco en el Maitén.

Tabla 13. Variables meteorológicas de la cuenca Huasco en el Maitén, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional (DGA).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	P _{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	P _{pacum Abr-Ago DGA} (mm)
2022	8,3	12,8	-	257,1
2023	11,9	14,9	-	3,2

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Elqui en Algarrobal

Las variables meteorológicas de la cuenca Elqui en Algarrobal, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2023 con 7 °C, y el más bajo se da en el año 1992 con 0,5 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media Abr-Mar}), presenta su valor más alto en el año 2023 con 10,4 °C, y el más bajo el año 1983 con 6,1 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto (P_{pacum Abr-Ago}), alcanza su nivel máximo el año 1997 con 371 mm, y su nivel más bajo se da el año 1995 con 38 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 49 y se encuentra recopilada en la Tabla 14.

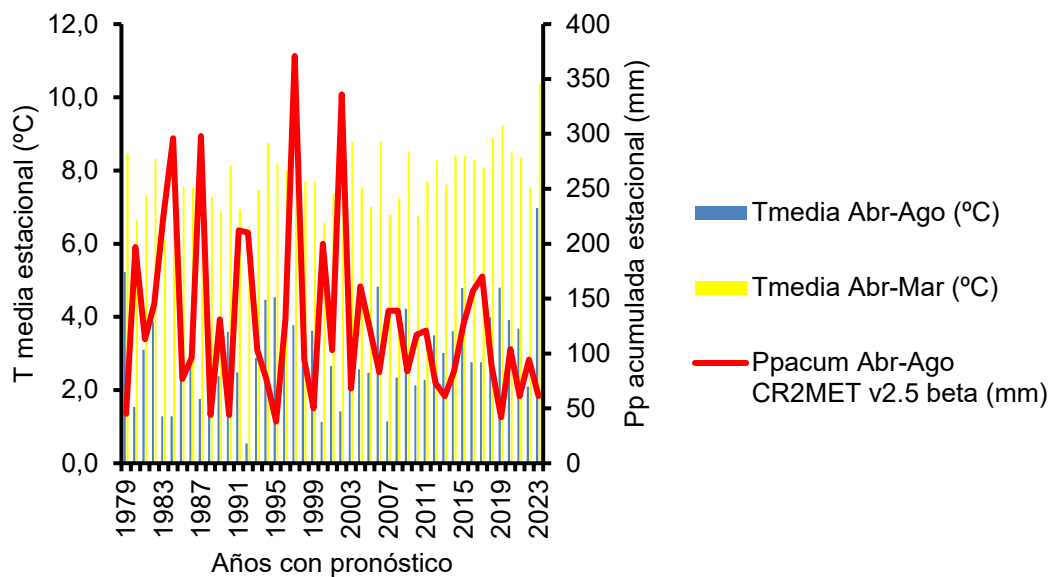


Figura 49. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1973 y 2023 para la cuenca Elqui en Algarrobal.

Tabla 14. Variables meteorológicas de la cuenca Elqui en Algarrobal, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	5,2	8,5	45	-
1980	1,5	6,7	197	-
1981	3,1	7,3	113	-
1982	3,9	8,3	145	-
1983	1,3	6,1	226	-
1984	1,3	6,4	296	-
1985	3,2	7,6	77	-
1986	3,1	7,5	96	-
1987	1,8	6,7	298	-
1988	3	7,3	44	-
1989	2,4	6,9	131	-
1990	3,6	8,2	44	-
1991	2,5	6,9	212	-
1992	0,5	6,5	210	-
1993	2,9	7,5	103	-
1994	4,5	8,8	76	-
1995	4,5	8,2	38	-
1996	3,1	8	131	-
1997	3,8	7,8	371	-
1998	2,7	7,7	94	-
1999	3,6	7,7	50	-
2000	1,1	6,6	200	-
2001	2,7	7,4	103	-
2002	1,4	7,1	336	-
2003	4	8,8	68	-
2004	2,6	7,5	161	-
2005	2,5	7	122	-
2006	4,8	8,8	83	-
2007	1,1	6,8	139	-

Continuación tabla anterior.

2008	2,3	7,2	139	-
2009	4,2	8,5	84	-
2010	2,1	6,8	117	-
2011	2,3	7,7	121	81,6
2012	3,5	8,3	73	38,1
2013	3	7,6	61	33,8
2014	3,6	8,4	84	73,6
2015	4,8	8,4	126	162,2
2016	2,8	8,3	157	117,8
2017	2,8	8,1	170	207,5
2018	4	8,9	89	36,6
2019	4,8	9,2	42	5,8
2020	3,9	8,5	104	48,8
2021	3,7	8,4	61,2	7,7
2022	2,1	7,5	94,4	66
2023	7	10,4	61,5	8,2

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Hurtado en San Agustín

Las variables meteorológicas de la cuenca Hurtado en San Agustín, corresponden a 9 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2014 hasta 2015 y 2017 hasta 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 1,8 °C, y el más bajo se da en el año 2022 con -1,5 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 5,3 °C, y el más bajo el año 2022 con 2,9 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2017 con 268 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019 con 98 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 50 y se encuentra recopilada en la Tabla 15.

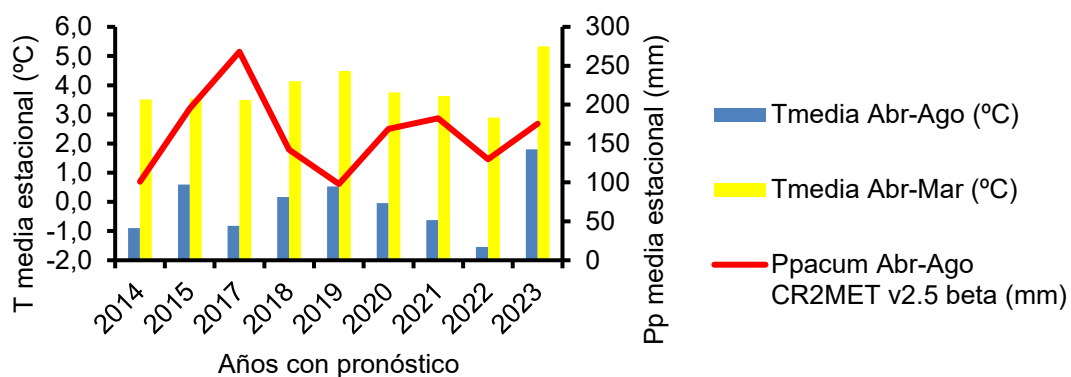


Figura 50. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 hasta 2015 y 2017 hasta 2023, para la cuenca Hurtado en San Agustín.

Tabla 15. Variables meteorológicas de la cuenca Hurtado en San Agustín, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	P _{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	P _{pacum Abr-Ago DGA} (mm)
2014	-0,9	3,5	101	-
2015	0,6	3,5	195	-
2017	-0,8	3,5	268	-
2018	0,2	4,1	142	-
2019	0,5	4,5	98	126,7
2020	0	3,8	169	34,8
2021	-0,6	3,6	182,4	17,4
2022	-1,5	2,9	129,9	85,4
2023	1,8	5,3	175,3	26,6

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Grande en las Ramadas

Las variables meteorológicas de la cuenca Grande en las Ramadas, corresponden a 21 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 hasta 1981 y 2006 hasta 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2023 con 1,8 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con -3,8 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media Abr-Mar}), presenta su valor más alto en el año 2023 con 5,8 °C, y el más bajo el año 2010 con 2,4 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto (P_{pacum Abr-}

Ago), alcanza su nivel máximo el año 1980 con 359 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019 con 74 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 51 y se encuentra recopilada en la Tabla 16.

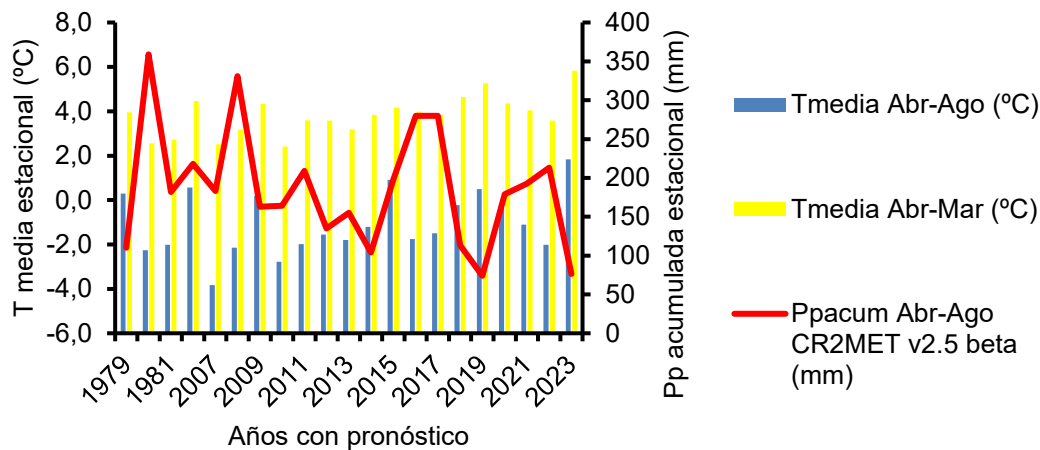


Figura 51. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 hasta 1981 y 2006 hasta 2023, para la cuenca Grande en las Ramadas.

Tabla 16. Variables meteorológicas de la cuenca Grande en las Ramadas, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	P _{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	P _{pacum Abr-Ago DGA} (mm)
1979	0,3	4	110	-
1980	-2,3	2,6	359	-
1981	-2	2,7	182	-
2006	0,6	4,5	218	-
2007	-3,8	2,5	183	-
2008	-2,1	3,2	331	-
2009	0,2	4,3	163	-
2010	-2,8	2,4	164	-
2011	-2	3,6	209	-
2012	-1,6	3,6	135	132,4
2013	-1,8	3,2	155	181,4
2014	-1,2	3,8	104	95
2015	0,9	4,2	198	297,4
2016	-1,8	4	280	325,6
2017	-1,5	3,8	280	429,2
2018	-0,2	4,6	113	78,81
2019	0,5	5,3	74	26,4
2020	-0,1	4,4	179	153,8
2021	-1,1	4	192,5	236
2022	-2	3,6	213,2	274,9
2023	1,8	5,8	76,3	17,2

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Choapa en Cuncumén

Las variables meteorológicas de la cuenca Choapa en Cuncumén, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y

precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 1,9 °C, y el más bajo se da en los años 2007 con -3,7 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 5,6 °C, y el más bajo el año 1984 con 2,2 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 1987 con 648 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con 75 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 52 y se encuentra recopilada en la Tabla 17.

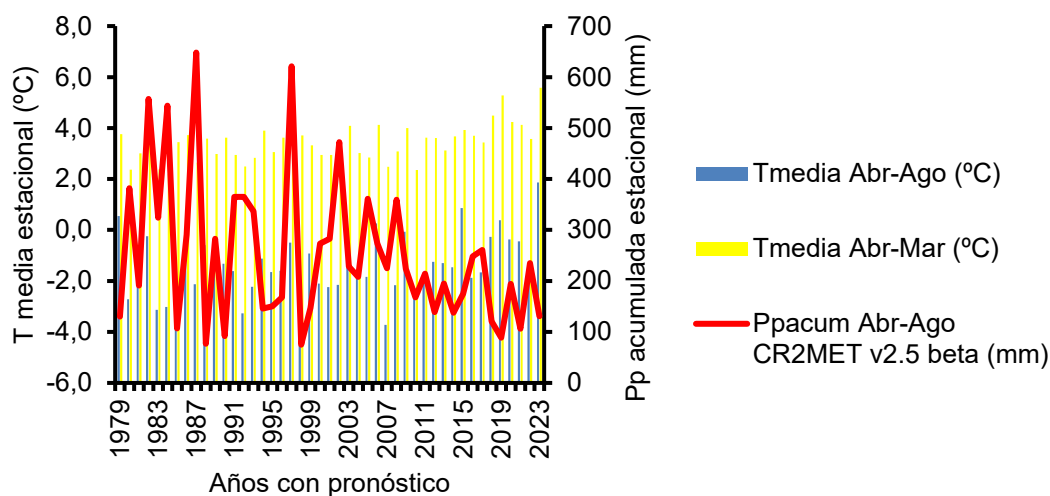


Figura 52. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Choapa en Cuncumén.

Tabla 17. Variables meteorológicas de la cuenca Choapa en Cuncumén, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	0,6	3,8	130	-
1980	-2,7	2,4	382	-
1981	-1,5	3	191	-
1982	-0,2	3,5	557	-
1983	-3,1	2,4	324	-
1984	-3	2,2	544	-
1985	-1,2	3,4	107	-
1986	-0,7	3,7	291	-
1987	-2,1	2,6	648	-
1988	-0,6	3,6	77	-
1989	-1,6	3	283	-
1990	-1,3	3,6	92	-
1991	-1,6	2,9	365	-
1992	-3,3	2,5	365	-
1993	-2,2	2,8	337	-
1994	-1,1	3,9	146	-
1995	-1,6	3,1	150	-
1996	-1,6	3,6	168	-
1997	-0,5	3,2	621	-
1998	-1,2	3,7	75	-
1999	-0,9	3,3	147	-
2000	-2,1	2,9	273	-
2001	-2,2	2,9	283	-
2002	-2,2	3,1	472	525,1
2003	-0,7	4,1	228	193,4
2004	-1,8	3	208	170,5
2005	-1,8	2,8	361	284
2006	0,3	4,1	273	-

Continuación tabla anterior.

2007	-3,7	2,5	225	-
2008	-2,2	3,1	359	-
2009	-0,1	4	224	226,2
2010	-2,6	2,4	168	122,7
2011	-1,8	3,6	214	208,1
2012	-1,2	3,6	139	94
2013	-1,3	3,1	195	131
2014	-1,5	3,7	138	103,3
2015	0,9	3,9	175	198,1
2016	-1,9	3,7	248	279,3
2017	-1,7	3,4	261	158,5
2018	-0,3	4,5	121	109,3
2019	0,4	5,3	89	30,1
2020	-0,4	4,2	194	127,5
2021	-0,4	4,1	106,6	45,3
2022	-1,8	3,6	234,7	211
2023	1,9	5,6	130,6	76,3

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Aconcagua en Chacabuquito

Las variables meteorológicas de la cuenca Aconcagua en Chacabuquito, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 7,3 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 2,4 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 10,8 °C, y el más bajo el año 1984 con 7,7 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 1982 con 732 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con

79 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 53 y se encuentra recopilada en la Tabla 18.

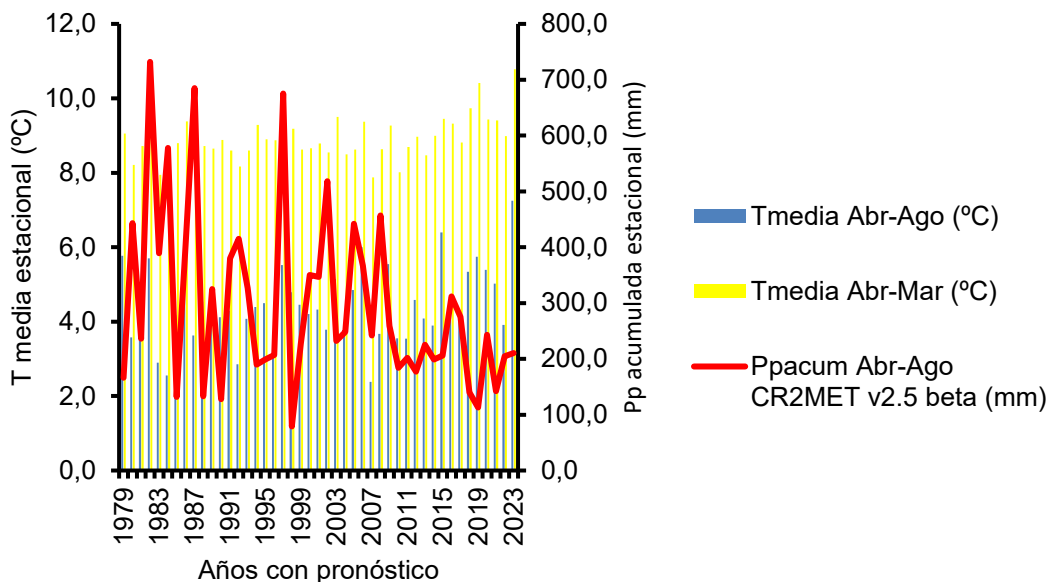


Figura 53. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Aconcagua en Chacabuquito.

Tabla 18. Variables meteorológicas de la cuenca Aconcagua en Chacabuquito, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	5,8	9,1	166	-
1980	3,6	8,2	443	-
1981	4,6	8,7	236	-
1982	5,7	9,3	732	-
1983	2,9	7,9	389	-
1984	2,6	7,7	578	-
1985	4,2	8,8	132	-
1986	5,3	9,4	404	-
1987	3,6	8,3	685	-
1988	4,5	8,7	133	-
1989	4,3	8,6	325	-
1990	4,1	8,9	128	-
1991	4,3	8,6	380	-
1992	2,9	8,2	415	-
1993	4,1	8,6	327	-
1994	4,4	9,3	190	-
1995	4,5	8,9	199	-
1996	3,7	8,9	207	-
1997	5,5	9	675	-
1998	4,8	9,2	79	-
1999	4,5	8,6	227	-
2000	4,2	8,7	350	305,8
2001	4,3	8,8	347	230,3
2002	3,8	8,5	518	443,9
2003	5,1	9,5	232	150
2004	3,9	8,5	248	238,4
2005	4,8	8,6	442	297,3
2006	6	9,4	367	307,4
2007	2,4	7,9	242	169,9

Continuación tabla anterior.

2008	3,7	8,6	457	323,2
2009	5,5	9,3	259	202,7
2010	3,6	8	184	138,4
2011	3,5	8,7	202	123,3
2012	4,6	9	177	145,1
2013	4,1	8,5	225	132,6
2014	3,9	9	199	120
2015	6,4	9,4	206	140,6
2016	4,5	9,3	312	246,4
2017	4,1	8,8	275	201,5
2018	5,3	9,7	140	83,3
2019	5,7	10,4	113	32,6
2020	5,4	9,4	243	163,3
2021	5	9,4	142,1	76
2022	3,9	9	204,6	135
2023	7,3	10,8	210,2	140,3

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Putaendo en Resguardo Patos

Las variables meteorológicas de la cuenca Putaendo en Resguardo Patos, corresponden a 11 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2013 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 5,8 °C, y el más bajo se da en los años 2014 y 2022 con 2,2 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 9 °C, y el más bajo el año 2013 con 6,5 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2016 con 343 mm, y su nivel más bajo se da el año 2021 con 124,9 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 54 y se encuentra recopilada en la Tabla 19.

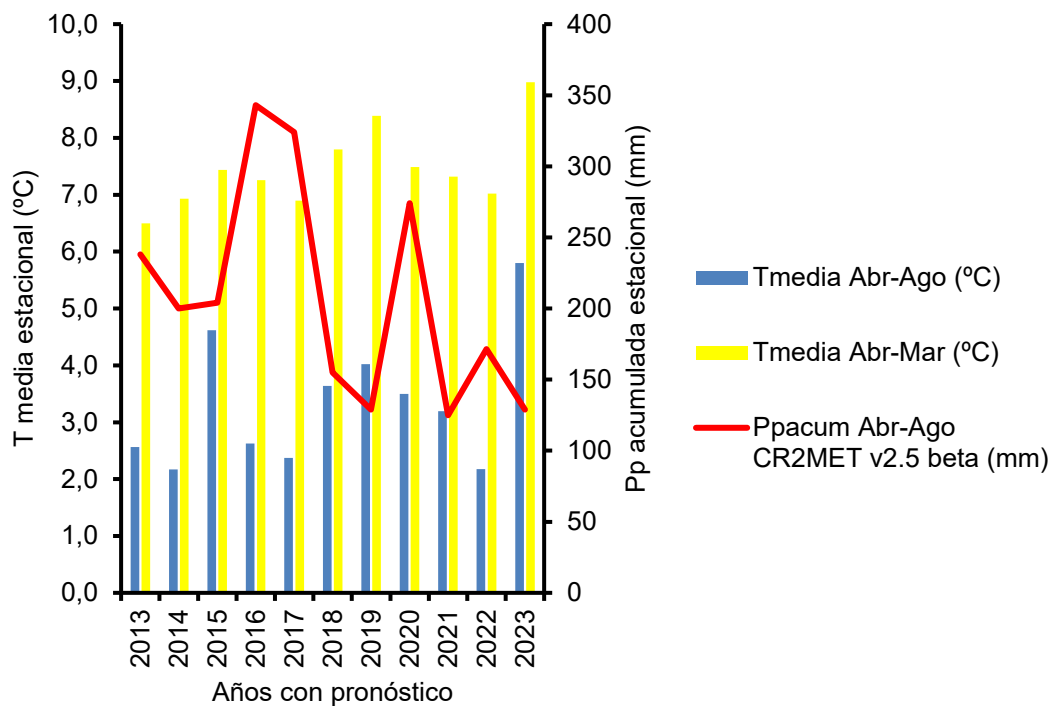


Figura 54. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Putaendo en Resguardo Patos.

Tabla 19. Variables meteorológicas de la cuenca Putaendo en Resguardo Patos, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	P _{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	P _{pacum Abr-Ago DGA} (mm)
2013	2,6	6,5	238	119
2014	2,2	6,9	200	104,9
2015	4,6	7,4	204	136,8
2016	2,6	7,3	343	254,4
2017	2,4	6,9	324	180,5
2018	3,6	7,8	155	91,3
2019	4	8,4	129	22,1
2020	3,5	7,5	274	140,8
2021	3,2	7,3	124,9	27,5
2022	2,2	7	171,3	71,9
2023	5,8	9	128,9	31,3

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Juncal en Juncal

Las variables meteorológicas de la cuenca Juncal en Juncal, corresponden a 10 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2014 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2023 con -8,4 °C, y el más bajo se da en el año 2022 con -11,4 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media Abr-Mar}), presenta su valor más alto en el año 2019 con -3,7 °C, y el más bajo el año 2017 con -6,3 °C. La

precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p\text{acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2016 con 491 mm, y su nivel más bajo se da el año 2018 con 209 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 55 y se encuentra recopilada en la Tabla 20.

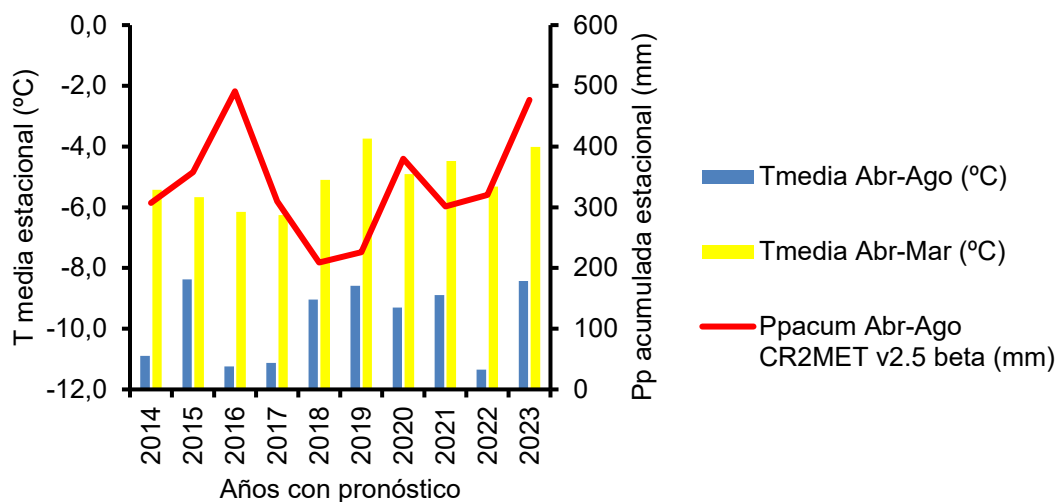


Figura 55. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p\text{acum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 y 2023 para la cuenca Juncal en Juncal.

Tabla 20. Variables meteorológicas de la cuenca Juncal en Juncal, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	Pp _{acum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	Pp _{acum Abr-Ago DGA} (mm)
2014	-10,9	-5,4	307	-
2015	-8,4	-5,7	358	180
2016	-11,2	-6,2	491	217,8
2017	-11,1	-6,3	310	175,8
2018	-9	-5,1	209	81
2019	-8,6	-3,7	226	48,2
2020	-9,3	-4,9	380	72,4
2021	-8,9	-4,5	301,5	103,2
2022	-11,4	-5,3	320,1	120,8
2023	-8,4	-4	476,8	268,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Mapocho en los Almendros

Las variables meteorológicas de la cuenca Mapocho en los Almendros, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2023 con 8,6 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 4 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media Abr-Mar}), presenta su valor más alto en el año 2023 con 12,1 °C, y el más bajo el año 2007 con 9,6 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto (Pp_{acum Abr-Ago}), alcanza su nivel

máximo el año 1982 con 673 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con 71 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 56 y se encuentra recopilada en la Tabla 21.

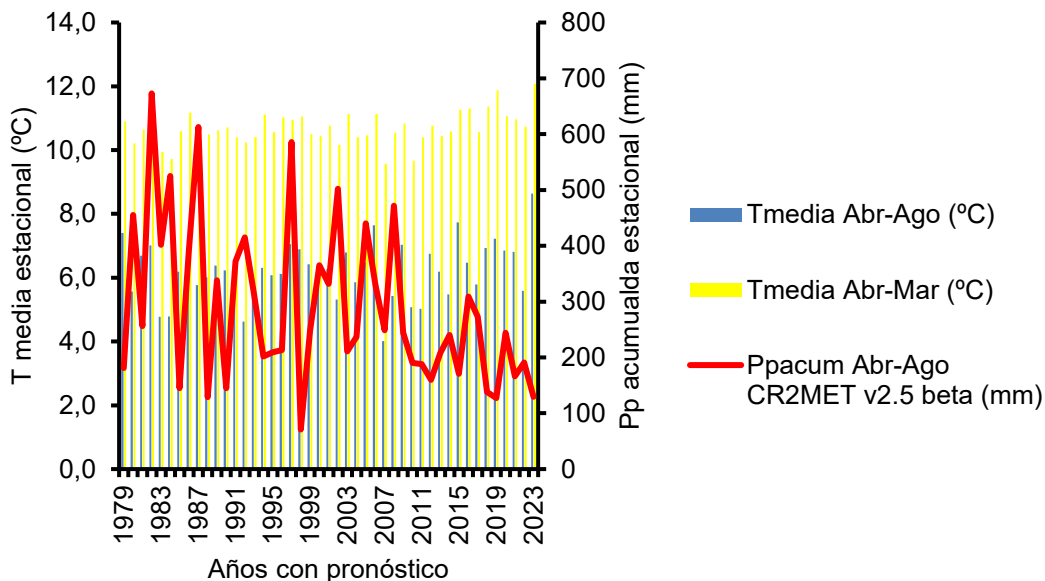


Figura 56. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Mapocho en los Almendros.

Tabla 21. Variables meteorológicas de la cuenca Mapocho en los Almendros, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	7,4	10,9	181	-
1980	5,6	10,2	455	-
1981	6,7	10,6	256	-
1982	7	11	673	-
1983	4,8	9,9	402	-
1984	4,8	9,7	525	-
1985	6,2	10,6	145	-
1986	6,8	11,2	390	-
1987	5,8	10,4	613	-
1988	6	10,5	129	-
1989	6,4	10,6	338	-
1990	6,2	10,7	145	-
1991	6	10,4	372	-
1992	4,6	10,2	415	-
1993	5,9	10,4	313	-
1994	6,3	11,1	202	-
1995	6,1	10,6	209	-
1996	6,1	11	213	-
1997	7,1	10,9	586	-
1998	6,9	11,1	71	-
1999	6,4	10,5	248	-
2000	5,9	10,4	365	468
2001	6,3	10,8	332	371
2002	5,3	10,2	502	601,1
2003	6,8	11,1	211	138,2
2004	5,9	10,4	237	278,8
2005	6,5	10,5	440	501,3
2006	7,6	11,1	331	346,7
2007	4	9,6	249	208,4

Continuación tabla anterior.

2008	5,4	10,5	472	428,4
2009	7	10,8	244	274,2
2010	5,1	9,7	190	199,1
2011	5	10,4	188	145,2
2012	6,7	10,8	160	221,7
2013	6,2	10,4	208	141,8
2014	5,5	10,6	240	165
2015	7,7	11,3	171	115,8
2016	6,5	11,3	309	-
2017	5,8	10,6	273	-
2018	6,9	11,4	138	101,6
2019	7,2	11,9	127	31,2
2020	6,9	11,1	244	156
2021	6,8	11	166,3	109,8
2022	5,6	10,7	191	146,6
2023	8,6	12,1	129,6	55,4

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Maipo en el Manzano

Las variables meteorológicas de la cuenca Maipo en el Manzano, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 8,6 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 4 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 12,1 °C, y el más bajo el año 2007 con 9,6 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 1982 con 1129 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998

con 150 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 57 y se encuentra recopilada en la Tabla 22.

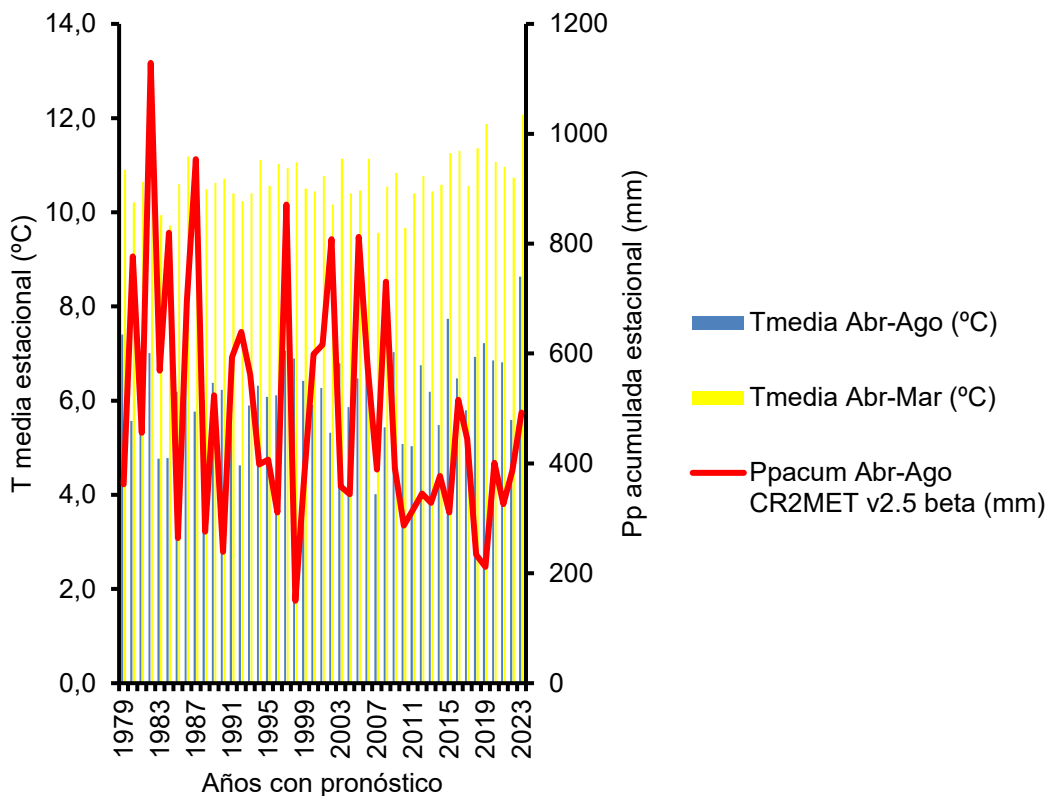


Figura 57. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Maipo en el Manzano.

Tabla 22. Variables meteorológicas de la cuenca Maipo en el Manzano, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	7,4	10,9	362	-
1980	5,6	10,2	777	-
1981	6,7	10,6	456	-
1982	7	11	1129	-
1983	4,8	9,9	569	-
1984	4,8	9,7	820	-
1985	6,2	10,6	264	-
1986	6,8	11,2	696	-
1987	5,8	10,4	954	-
1988	6	10,5	276	-
1989	6,4	10,6	524	-
1990	6,2	10,7	239	-
1991	6	10,4	593	-
1992	4,6	10,2	639	-
1993	5,9	10,4	561	-
1994	6,3	11,1	398	-
1995	6,1	10,6	407	-
1996	6,1	11	311	-
1997	7,1	10,9	871	-
1998	6,9	11,1	150	-
1999	6,4	10,5	378	-
2000	5,9	10,4	599	-
2001	6,3	10,8	616	-
2002	5,3	10,2	808	-
2003	6,8	11,1	358	-
2004	5,9	10,4	344	-
2005	6,5	10,5	812	-
2006	7,6	11,1	575	-
2007	4	9,6	389	-

Continuación tabla anterior.

2008	5,4	10,5	731	-
2009	7	10,8	391	-
2010	5,1	9,7	287	-
2011	5	10,4	316	184,7
2012	6,7	10,8	345	308,5
2013	6,2	10,4	328	293,1
2014	5,5	10,6	377	224,1
2015	7,7	11,3	311	235,1
2016	6,5	11,3	516	413,6
2017	5,8	10,6	445	-
2018	6,9	11,4	234	169,3
2019	7,2	11,9	212	87,2
2020	6,9	11,1	401	198
2021	6,8	11	325,8	219,5
2022	5,6	10,7	386,3	296,7
2023	8,6	12,1	492,8	432,6

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Colorado antes junta Maipo

Las variables meteorológicas de la cuenca Colorado antes junta Maipo, corresponden a 11 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2013 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 8,64 °C, y el más bajo se da en el año 2014 con 5,48 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 12,1 °C, y el más bajo el año 2013 con 10,4 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2016 con 538,2 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019

con 169,4 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 58 y se encuentra recopilada en la Tabla 23.

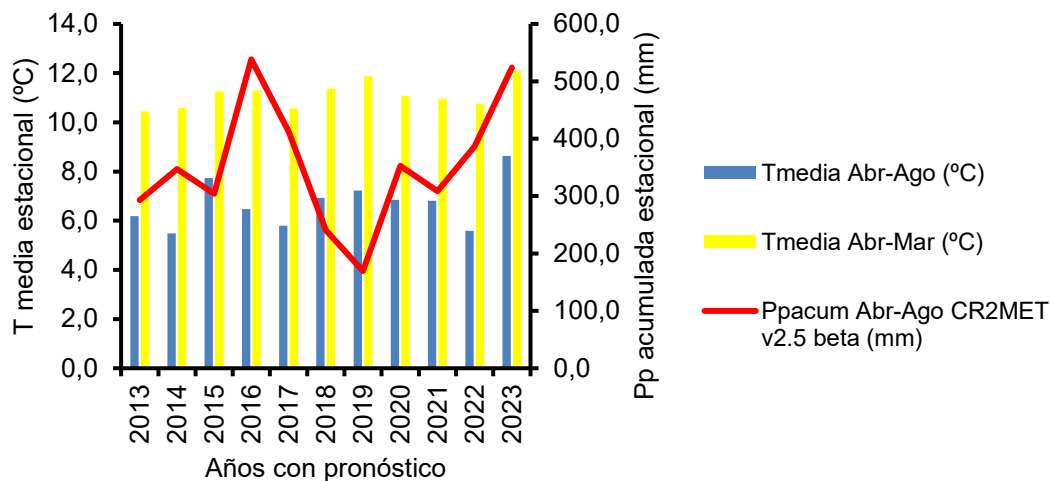


Figura 58. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Colorado antes junta Maipo.

Tabla 23. Variables meteorológicas de la cuenca Colorado antes junta Maipo, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media Abr-Ago} (°C)	T _{media Abr-Mar} (°C)	P _{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta} (mm)	P _{pacum Abr-Ago DGA} (mm)
2013	6,2	10,4	292,9	293,1
2014	5,5	10,6	347,3	224,1
2015	7,7	11,3	304,4	235,1
2016	6,5	11,3	538,2	413,6
2017	5,8	10,6	412,4	-
2018	6,9	11,4	240,7	169,3
2019	7,2	11,9	169,4	87,2
2020	6,9	11,1	352,7	198
2021	6,8	11	308,7	219,5
2022	5,6	10,7	386,6	296,7
2023	8,6	12,1	523,7	432,6

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Claro en Hacienda las Nieves

Las variables meteorológicas de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves, corresponden a 11 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2013 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media Abr-Ago}), el valor más alto se da en el año 2023 con 8,9 °C, y el más bajo se da en el año 2022 con 6,61 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media Abr-Mar}), presenta su valor más alto en el año 2019 con 12,3 °C, y el más bajo el año 2013 con 11,1 °C. La

precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$), alcanza su nivel máximo el año 2023 con 878,8 mm, y su nivel más bajo se da el año 2019 con 275 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 59 y se encuentra recopilada en la Tabla 24.

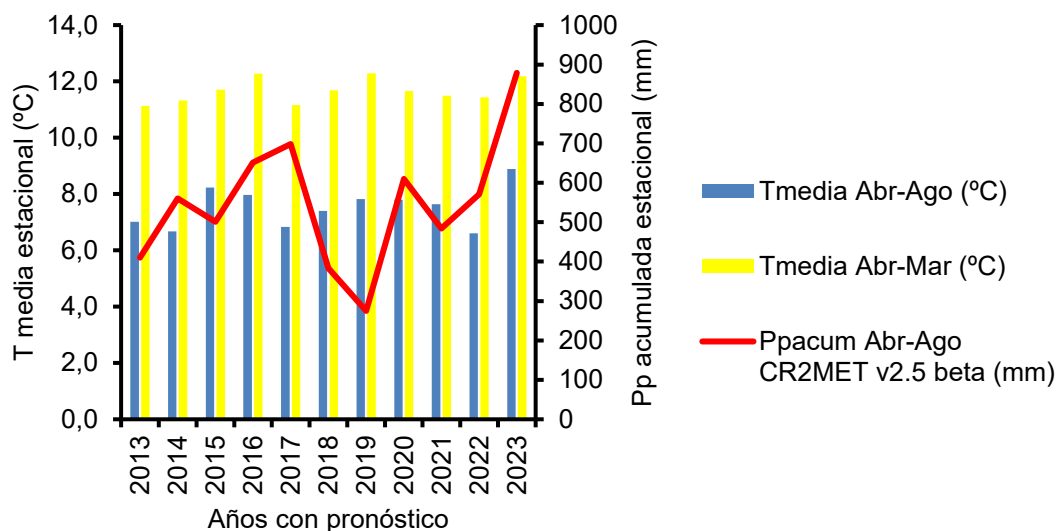


Figura 59. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2013 y 2023 para la cuenca Claro en Hacienda las Nieves.

Tabla 24. Variables meteorológicas de la cuenca Claro en Hacienda las Nieves, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
2013	7	11,1	410	-
2014	6,7	11,3	560	-
2015	8,2	11,7	501	-
2016	8	12,3	651	139,9
2017	6,8	11,2	698	487
2018	7,4	11,7	383	231,4
2019	7,8	12,3	275	116,7
2020	7,8	11,7	610	447,7
2021	7,6	11,5	484	225,8
2022	6,6	11,4	571	355,5
2023	8,9	12,2	878,8	814,3

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Tinguiririca en Bajo Briones

Las variables meteorológicas de la cuenca Tinguiririca en Bajo Briones, corresponden a 42 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 hasta 1982, 1985 y 1987 hasta 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto (T_{media} Abr-Ago), el valor más alto se da en el año 2023 con 7,1 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 3,1 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo (T_{media} Abr-Mar), presenta su valor más alto en el año 2019 con 10,2 °C, y el más bajo el

año 2007 con 8,1 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$), alcanza su nivel máximo el año 1982 con 1438 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con 250 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 60 y se encuentra recopilada en la Tabla 25.

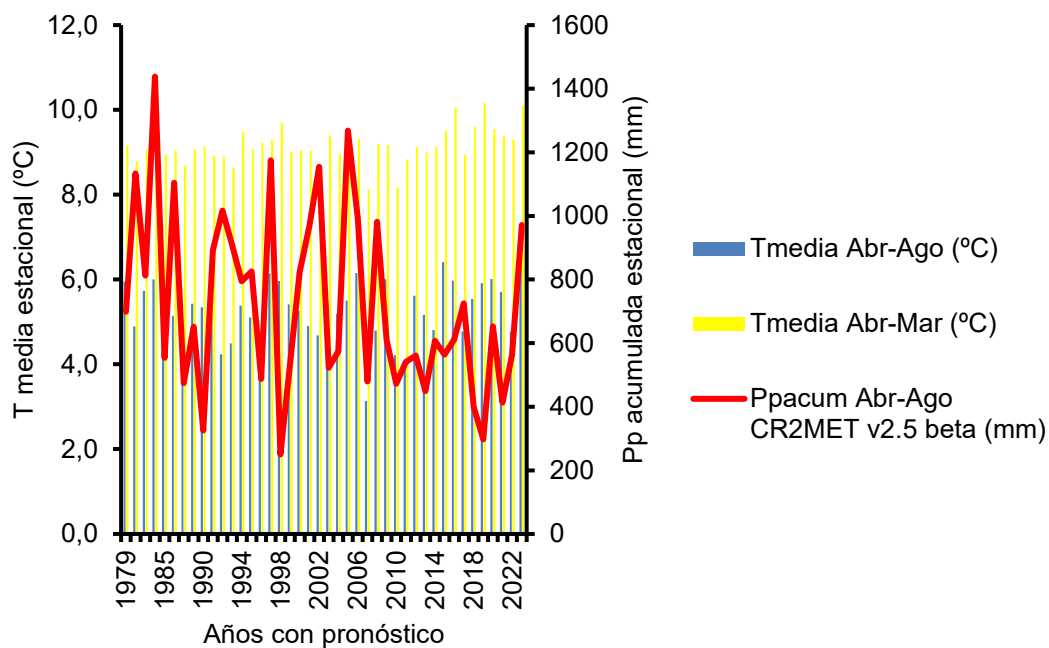


Figura 60. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{pacum\ Abr-Ago}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Tinguiririca en Bajo Briones.

Tabla 25. Variables meteorológicas de la cuenca Tinguiririca en Bajo Briones, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	5,9	9,2	699	-
1980	4,9	8,8	1133	-
1981	5,7	9,1	812	-
1982	6	9,3	1438	-
1985	4,9	8,9	554	-
1987	5,1	9	1104	-
1988	4,6	8,7	474	-
1989	5,4	9,1	652	-
1990	5,3	9,1	326	-
1991	5,3	8,9	892	-
1992	4,2	8,9	1017	-
1993	4,5	8,6	909	-
1994	5,4	9,5	794	-
1995	5,1	9,1	826	-
1996	4,7	9,2	487	-
1997	6,1	9,3	1175	-
1998	6	9,7	250	-
1999	5,4	9	533	372,7
2000	5,3	9	823	679,2
2001	4,9	9	970	493
2002	4,7	8,7	1155	-
2003	5,5	9,4	523	443,3
2004	5,2	9	574	530,5
2005	5,5	9	1268	895,4
2006	6,2	9,3	992	704,3
2007	3,1	8,1	479	318
2008	4,8	9,2	982	720,8
2009	6	9,2	609	349,6
2010	4,2	8,2	472	268,8

Continuación tabla anterior.

2011	4	8,8	541	388,2
2012	5,6	9,1	561	426,4
2013	5,2	9	449	200,6
2014	4,8	9,1	607	275,2
2015	6,4	9,5	564	293,7
2016	6	10,1	611	254
2017	4,8	8,9	725	351
2018	5,5	9,6	400	189,6
2019	5,9	10,2	297	130
2020	6	9,5	653	297,8
2021	5,7	9,4	413	182,3
2022	4,8	9,3	564,1	327,1
2023	7,1	10,1	971,4	717,5

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Teno después de Junta

Las variables meteorológicas de la cuenca Teno después de Junta, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 6 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 2,2 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2019 con 9,1 °C, y el más bajo se da en los años 1984 y 2010 con 7,2 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 1982 con 1783 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con 383 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 61 y se encuentra recopilada en la Tabla 26.

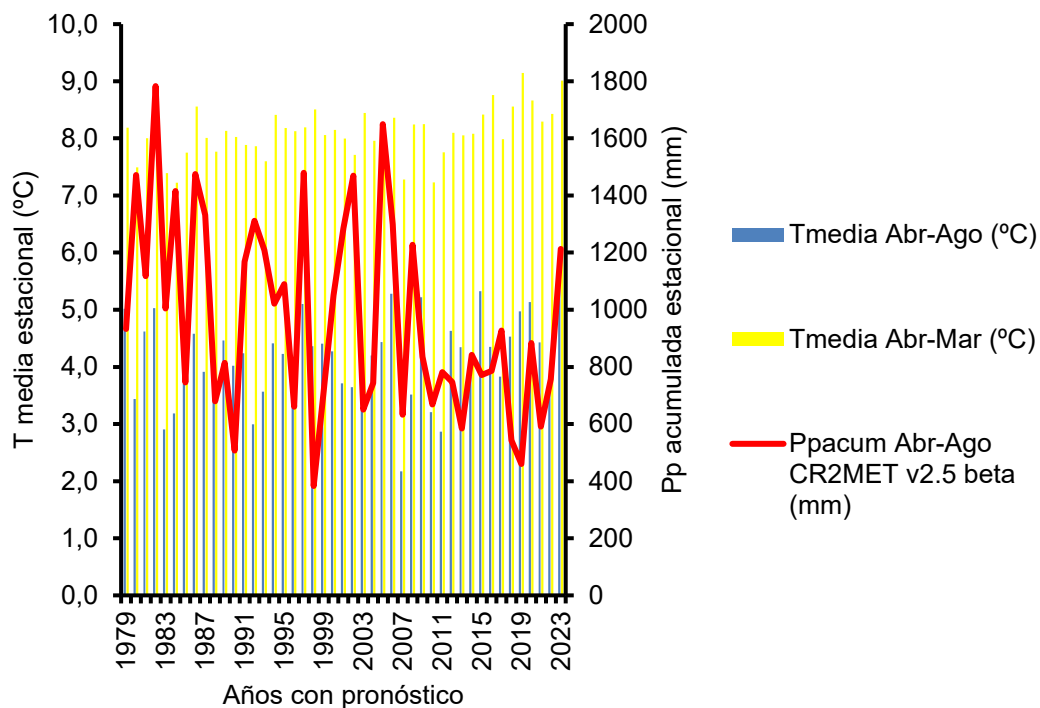


Figura 61. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Teno después de Junta.

Tabla 26. Variables meteorológicas de la cuenca Teno después de Junta, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	Pp _{acum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	Pp _{acum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	5	8,2	933	-
1980	3,4	7,5	1472	-
1981	4,6	8	1118	-
1982	5	8	1783	-
1983	2,9	7,4	1004	-
1984	3,2	7,2	1416	-
1985	3,7	7,7	746	-
1986	4,6	8,6	1475	-
1987	3,9	8	1332	-
1988	3,7	7,8	680	-
1989	4,5	8,1	814	-
1990	4	8	507	-
1991	4,2	7,9	1168	-
1992	3	7,9	1311	-
1993	3,6	7,6	1208	-
1994	4,4	8,4	1021	-
1995	4,2	8,2	1090	-
1996	3,6	8,1	661	-
1997	5,1	8,2	1480	-
1998	4,4	8,5	383	-
1999	4,4	8,1	712	-
2000	4,3	8,1	1050	1075,3
2001	3,7	8	1286	1305,2
2002	3,6	7,7	1469	1450,1
2003	4,5	8,4	651	658,7
2004	4,2	8	744	754,4
2005	4,4	8	1650	1709,3
2006	5,3	8,4	1299	1195,3
2007	2,2	7,3	633	581,1

Continuación tabla anterior.

2008	3,5	8,2	1227	1266,6
2009	5,2	8,3	835	713
2010	3,2	7,2	668	587,9
2011	2,9	7,8	782	733,3
2012	4,6	8,1	747	-
2013	4,3	8,1	584	479
2014	3,8	8,1	842	573,2
2015	5,3	8,4	772	715,7
2016	4,3	8,8	786	633,4
2017	3,8	8	927	704,1
2018	4,5	8,6	543	438,8
2019	5	9,1	460	254,7
2020	5,1	8,7	884	797,5
2021	4,4	8,3	591,5	460,5
2022	3,7	8,4	757,4	657
2023	6	9	1212,4	1195,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Claro en los Queñes

Las variables meteorológicas de la cuenca Claro en los Queñes, corresponden a 9 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 2014 hasta 2018 y 2020 hasta 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 2023 con 6 °C, y el más bajo se da en el año 2022 con 3,7 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2023 con 9 °C, y el más bajo el año 2017 con 8 °C. La precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{p acum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel máximo el año 2023 con 1279,2 mm, y su nivel más bajo se

da el año 2018 con 565,6 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 62 y se encuentra recopilada en la Tabla 27.

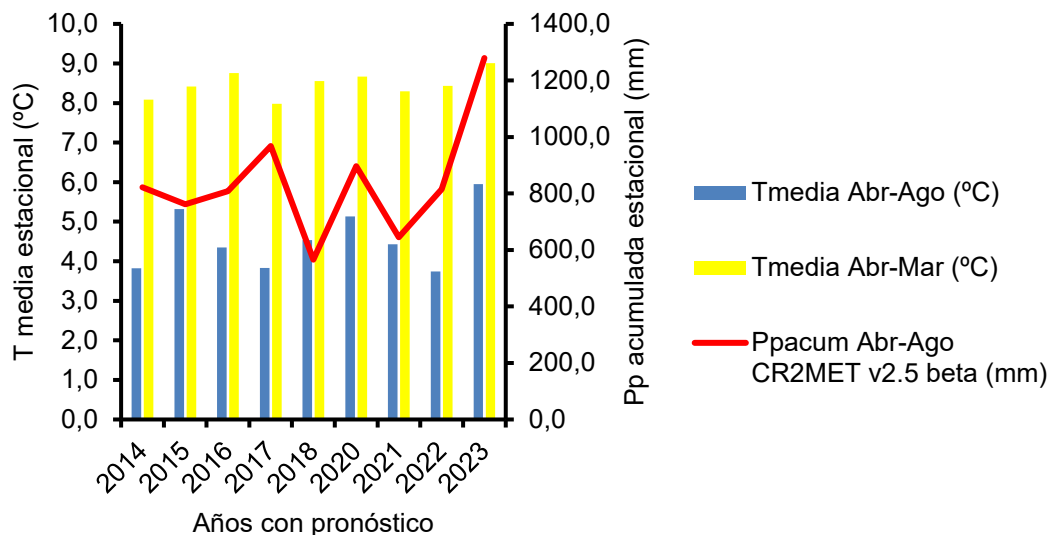


Figura 62. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 2014 hasta 2018 y 2020 hasta 2023, para la cuenca Claro en los Queñes.

Tabla 27. Variables meteorológicas de la cuenca Claro en los Queñes, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	$T_{\text{media Abr-Ago}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{media Abr-Mar}} (^{\circ}\text{C})$	$P_{\text{pacum Abr-Ago CR2MET v2.5 beta}} (\text{mm})$	$P_{\text{pacum Abr-Ago DGA}} (\text{mm})$
2014	3,8	8,1	821,9	573,2
2015	5,3	8,4	761,4	715,7
2016	4,3	8,8	808	633,4
2017	3,8	8	967,3	704,1
2018	4,5	8,6	565,6	438,8
2020	5,1	8,7	896,5	797,5
2021	4,4	8,3	645,5	460,5
2022	3,7	8,4	814,8	657
2023	6	9	1279,2	1195,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuenca Ñuble en San Fabián 2

Las variables meteorológicas de la cuenca Ñuble en San Fabián 2, corresponden a 45 años de datos estacionales de temperaturas medias y precipitaciones acumuladas, comprendidas entre los años 1979 y 2023. Para la Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), el valor más alto se da en el año 1997 con 7,7 °C, y el más bajo se da en el año 2007 con 4,6 °C. La Temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), presenta su valor más alto en el año 2016 con 11,3 °C, y el más bajo el año 1984 con 9,2 °C. La Precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$), alcanza su nivel

máximo el año 1980 con 2126 mm, y su nivel más bajo se da el año 1998 con 591,5 mm. Esta información meteorológica se presenta en la Figura 63 y se encuentra recopilada en la Tabla 28.

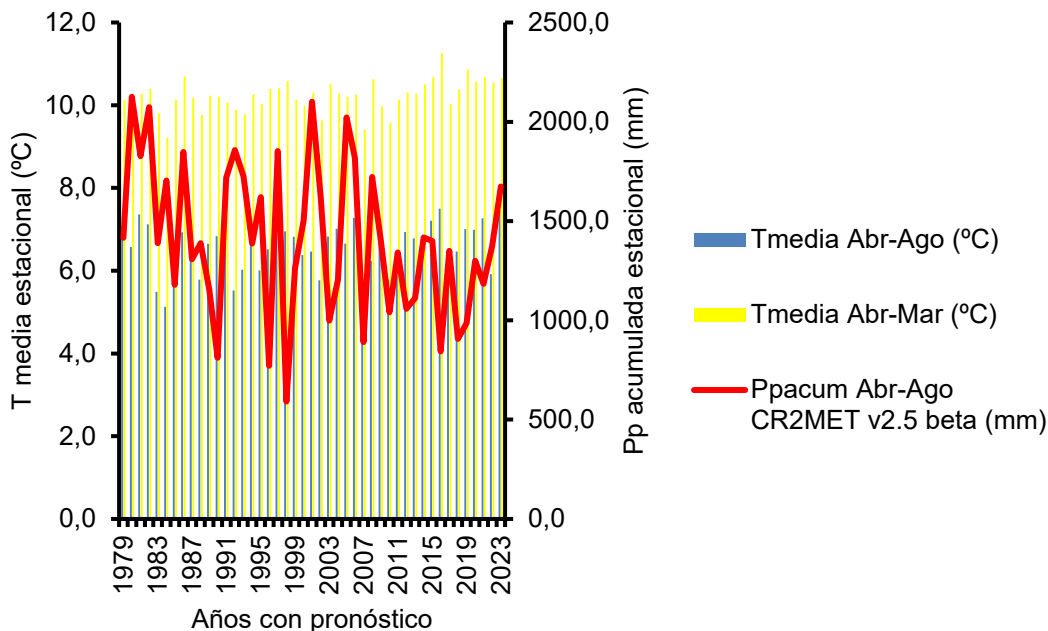


Figura 63. Temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{pacum Abr-Ago}}$) para los años con pronóstico comprendidos entre 1979 y 2023 para la cuenca Ñuble en San Fabián 2.

Tabla 28. Variables meteorológicas de la cuenca Ñuble en San Fabián 2, correspondientes a las temperaturas medias (°C) de los meses de Abril a Agosto y Abril a Marzo obtenidas del producto grillado ERA5 global reanalysis, y precipitaciones acumuladas (mm) de los meses de Abril a Agosto obtenidas del producto grillado CR2MET v2.5 beta y de la red hidrométrica nacional, más la precipitación acumulada de Abril a Agosto obtenida con la regresión lineal simple de la precipitación acumulada de CR2MET v2.5 beta en función de la precipitación acumulada de la red hidrométrica nacional, para los años 2021, 2022 y 2023 (en color rojo).

Pronóstico	T _{media} Abr-Ago (°C)	T _{media} Abr-Mar (°C)	P _{pacum} Abr-Ago CR2MET v2.5 beta (mm)	P _{pacum} Abr-Ago DGA (mm)
1979	6,8	10,1	1416,8	-
1980	6,6	10	2126	-
1981	7,4	10,3	1827	-
1982	7,1	10,4	2073,6	-
1983	5,5	9,8	1388	-
1984	5,1	9,2	1704,1	-
1985	6,7	10,1	1180	-
1986	6,9	10,7	1847,6	-
1987	6,4	10,2	1308,3	-
1988	5,8	9,8	1388,3	-
1989	6,7	10,2	1154,5	-
1990	6,8	10,2	812,3	-
1991	6,6	10,1	1719,1	-
1992	5,5	9,9	1857,6	-
1993	6	9,8	1725	-
1994	6,8	10,3	1387	-
1995	6	10	1621,2	-
1996	6,5	10,4	772,1	-
1997	7,7	10,4	1852,3	-
1998	6,9	10,6	591,5	-
1999	6,8	10,1	1262,7	-
2000	6,4	10	1503,9	-
2001	6,5	10,3	2101,1	-
2002	5,8	9,6	1625,5	-
2003	6,8	10,5	998,1	838,2
2004	7	10,3	1202,8	1101,8
2005	6,7	10,2	2022,7	1613
2006	7,3	10,3	1819,7	1365,3
2007	4,6	9,4	890,1	-

Continuación tabla anterior.

2008	6,2	10,6	1721,9	-
2009	7,1	10	1402,8	-
2010	5,8	9,6	1040,3	-
2011	5,9	10,1	1342,6	-
2012	6,9	10,3	1058,8	931,8
2013	6,8	10,3	1111,2	-
2014	6,5	10,5	1417,3	1199
2015	7,2	10,7	1399,5	1120,3
2016	7,5	11,3	844,5	663,7
2017	6	10	1350,7	533,8
2018	6,5	10,4	907	319,2
2019	7	10,9	985,4	351,8
2020	7	10,6	1300,1	1181
2021	7,3	10,7	1184,5	809,3
2022	5,9	10,5	1373,5	1070
2023	7,5	10,7	1673,5	1483,8

Fuente: Elaboración propia.

Regresiones múltiples lineales

Las regresiones múltiples lineales se encuentran definidas en la ecuación 20, 21, 22 y 23:

$$\text{ERL m. e.} = a_1 + b_1 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_1 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [20]$$

$$\text{ERL m. e.} = a_2 + b_2 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_2 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [21]$$

$$\text{EAL m. e.} = a_3 + b_3 * T_{\text{media Abr-Ago}} + c_3 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [22]$$

$$\text{EAL m. e.} = a_4 + b_4 * T_{\text{media Abr-Mar}} + c_4 * P_{\text{pacum Abr-Ago}} \quad [23]$$

Dónde:

ERL m.e.= Error relativo medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal (%).

EAL m.e.= Error absoluto medio estacional correspondiente a la variable de respuesta de la regresión múltiple lineal (m^3/s).

$T_{media\ Abr-Ago}$ = Temperatura media de Abril a Agosto, la cual es una variable independiente de la regresión múltiple lineal ($^{\circ}C$).

$T_{media\ Abr-Mar}$ = Temperatura media de Abril a Marzo, la cual es una variable independiente de la regresión múltiple lineal ($^{\circ}C$).

$P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$ = Precipitación acumulada de Abril a Agosto, la cual es una variable independiente de la regresión múltiple lineal (mm).

a_1 = valor de la variable de respuesta correspondiente al error relativo medio estacional (ERL m.e.), cuando las variables independientes de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$) son cero (%).

a_2 = valor de la variable de respuesta correspondiente al error relativo medio estacional (ERL m.e.), cuando las variables independientes de temperatura media de Abril a Marzo ($T_{media\ Abr-Mar}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$) son cero (%).

a_3 = valor de la variable de respuesta correspondiente al error absoluto medio estacional (EAL m.e.), cuando las variables independientes de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{media\ Abr-Ago}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{p_{acum\ Abr-Ago}}$) son cero (m^3/s).

a_4 = valor de la variable de respuesta correspondiente al error absoluto medio estacional (EAL m.e.), cuando las variables independientes de temperatura

media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$) y precipitación acumulada de Abril a Agosto ($P_{\text{acum Abr-Ago}}$) son cero (m^3/s).

b_1 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), sobre la variable de respuesta de error relativo medio estacional (ERL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($\%/^{\circ}\text{C}$).

b_2 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), sobre la variable de respuesta de error relativo medio estacional (ERL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($\%/^{\circ}\text{C}$).

b_3 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de temperatura media de Abril a Agosto ($T_{\text{media Abr-Ago}}$), sobre la variable de respuesta de error absoluto medio estacional (EAL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($\text{m}^3/\text{s}/^{\circ}\text{C}$).

b_4 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de temperatura media de Abril a Marzo ($T_{\text{media Abr-Mar}}$), sobre la variable de respuesta de error absoluto medio estacional (EAL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($\text{m}^3/\text{s}/^{\circ}\text{C}$).

c_1 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), sobre la variable de respuesta de error relativo medio estacional (ERL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de temperatura media de Abril a Agosto (%/mm).

c_2 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), sobre la variable de respuesta de error relativo medio estacional (ERL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de temperatura media de Abril a Marzo (%/mm).

c_3 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), sobre la variable de respuesta de error absoluto medio estacional (EAL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de temperatura media de Abril a Agosto ($m^3/s/mm$).

c_4 = efecto promedio que tiene el incremento en una unidad de la variable independiente de precipitación acumulada de Abril a Agosto ($Pp_{acum\ Abr-Ago}$), sobre la variable de respuesta de error absoluto medio estacional (EAL m.e.), manteniéndose constante la variable independiente de temperatura media de Abril a Marzo ($m^3/s/mm$).

Cada regresión múltiple lineal viene acompañada de sus respectivas estadísticas de la regresión, y un análisis de la significancia estadística de los coeficientes que acompañan a las variables independientes.