

+MG MEDIOAMBIENTE & GESTIÓN S.A.

**FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA (UNTEC)**

INFORME FINAL

**“CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD DE
RECURSOS HÍDRICOS DEL
PROYECTO ALTO MAIPO”**

Santiago, 03 Mayo de 2013

Equipo de Trabajo

Jefe de Proyecto:	Ximena Vargas Mesa
Ingeniero Coordinador:	Maricel Gibbs Robles
Ingeniero a Cargo:	Eduardo Rubio Álvarez
Ingeniero Ayudante:	Mauricio Cartes
Ayudante de Ingeniero:	Felipe Ahumada
Ayudante de Ingeniero:	Tomás Gómez

Revisión	Elaboró	Revisó	Fecha
A	E. Rubio M. Cartes M. Gibbs F. Ahumada T. Gómez	X. Vargas	10-04-2013
B	E. Rubio M. Cartes M. Gibbs T. Gómez	X. Vargas	19-04-2013
C	E. Rubio M. Cartes M. Gibbs T. Gómez	X. Vargas	29-04-2013

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	1
1.2 Metodología general	1
1.3 Contenidos del Informe	6
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES DISPONIBLES	7
2.1 Definición del problema	7
2.2 Información disponible	10
2.2.1 Registros Meteorológicos	11
2.2.2 Registros Fluviométricos	11
2.2.3 Registros Fluviométricos Sintéticos	12
2.2.4 Gradientes de Precipitación y Temperatura	14
2.2.5 Área de Glaciares	15
2.2.5.1 Antecedentes sobre tasas de retroceso glaciar	15
2.2.5.2 Geometría para estimar la variación de área glaciar	16
2.2.5.3 Variación Anual de Área Glaciar	22
2.3 Definición de los puntos de interés	22
2.4 Descripción Modelo Hidrológico	23
3. ESCALAMIENTO METEOROLÓGICO Y ESCENARIOS FUTUROS	29
3.1.1 Selección de modelos y escenarios	29
3.1.2 Generación de escenarios futuros (precipitación y temperatura)	34
4. CONSTRUCCIÓN MODELO HIDROLÓGICO	36
4.1 Metodología de Calibración	36
4.2 Discretización Espacial de Cuencas	37
4.3 Distribución de las Variables Meteorológicas	39
4.4 Aporte de Caudales de Glaciar por Sistema	39
4.5 Resultados de Calibración de Modelos Hidrológicos	43

4.5.1	Sistema Maipo	44
4.5.1.1	Subcuenca Maipo en las Melosas	44
4.5.1.2	Subcuenca Volcán en Queltehues	47
4.5.1.3	Subcuenca Afluente al embalse el Yeso	49
4.5.1.4	Maipo en San Alfonso	52
4.5.2	Sistema Colorado	55
4.5.2.1	Subcuenca Olivares antes junta Colorado	55
4.5.2.2	Sistema Colorado antes junta Olivares	58
4.5.2.3	Colorado antes junta Maipo	61
4.5.3	Análisis de Parámetros de Eficiencia de los Modelos Calibrados	64
5.	RESULTADOS DE SIMULACIONES EN LÍNEA BASE Y FUTUROS PARA LOS ESCENARIOS A2 Y RCP2.6	66
5.1	Simulación en línea base y futura con retroceso glaciar: Sistema Maipo, Escenario A2	69
5.1.1	Subcuenca Maipo en las Melosas	69
5.1.2	Subcuenca Volcán en Queltehues	74
5.1.3	Subcuenca Afluente al Embalse el Yeso	79
5.1.4	Maipo en San Alfonso	85
5.2	Simulación en línea base y futura con retroceso glaciar: Sistema Maipo, Escenario RCP2.6	90
5.2.1	Subcuenca Maipo en las Melosas	90
5.2.2	Subcuenca Volcán en Queltehues	95
5.2.3	Subcuenca Afluente al Embalse el Yeso	100
5.2.4	Maipo en San Alfonso	105
5.3	Simulación futura: Sistema Colorado, Escenario A2	110
5.3.1	Subcuenca Olivares antes junta Colorado	110
5.3.2	Sistema Colorado antes junta Olivares	115
5.3.3	Colorado antes junta Maipo	121
5.4	Simulación futura: Sistema Colorado, Escenario RCP2.6	127
5.4.1	Subcuenca Olivares antes junta Colorado	127
5.4.2	Sistema Colorado antes junta Olivares	132
5.4.3	Colorado antes junta Maipo	137
5.5	Resumen de Resultados y Comentarios de la Simulación Futura por Sistema.	142
6.	SIMULACIÓN FUTURA EN PUNTOS DE CAPTACIÓN	146
6.1	Punto de interés ID1	153
6.2	Punto de interés ID2	159
6.3	Punto de interés ID3	166
6.4	Punto de interés ID4	172

6.5 Punto de interés ID5	178
6.6 Punto de interés ID6	184
6.7 Punto de interés ID7	190
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	196
BIBLIOGRAFÍA	200
ANEXOS EN DIGITAL	200

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Fuentes de información utilizadas.....	10
Tabla 2.2: Estaciones Meteorológicas consideradas.....	11
Tabla 2.3: Estaciones Fluviométricas consideradas.....	11
Tabla 2.4: Sección Fluviométrica Sintética considerada.....	12
Tabla 2.5: Gradientes de precipitación y temperatura (a nivel anual) para los sistemas Maipo y Colorado... 14	
Tabla 2.6: Área Glaciar Informada para el Sistema Volcán en Queltehués.....	15
Tabla 2.7: Variaciones frontales ($m a^{-1}$) de glaciares Zona Centro, cuenca del río Maipo.....	16
Tabla 2.8: Resumen simplificación área glaciar por una forma circular.....	20
Tabla 2.9: Resumen simplificación área glaciar por una forma rectangular.....	21
Tabla 2.10: Resumen Variación promedio 1 año y 10 años del área glaciar.....	22
Tabla 2.11: Puntos de interés empleados.....	23
Tabla 2.12: Variables y parámetros utilizados por el modelo WEAP.....	26
Tabla 3.1: Selección inicial modelos climáticos globales (GCM).....	30
Tabla 3.2: Selección Final Modelos Climáticos Globales para el Análisis del Escenario A2.....	32
Tabla 4.1: Propiedades geomorfológicas de las subcuencas de los sistemas Maipo (M) y Colorado (C).....	38
Tabla 4.2: Cotas medias (m.s.n.m) de bandas de elevación en cuencas seleccionadas.....	39
Tabla 4.3: Áreas (km ²) de las bandas de elevación en cuencas seleccionadas.....	39
Tabla 4.4: Rendimientos unitarios considerados para los aportes glaciares.....	40
Tabla 4.5: Parámetros de Evaluación del proceso de calibración por Subcuenca.....	64
Tabla 5.1: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	73
Tabla 5.2: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Volcán en Queltehués, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	78
Tabla 5.3: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Afluente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	83
Tabla 5.4: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	89
Tabla 5.5: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.....	93
Tabla 5.6: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Volcán en Queltehués, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.....	98

Tabla 5.7: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	103
Tabla 5.8: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	108
Tabla 5.9: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario A2.	114
Tabla 5.10: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, del Sistema Colorado antes junta Olivares. Escenario A2.	119
Tabla 5.11: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario A2.	125
Tabla 5.12: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario RCP 2.6.	130
Tabla 5.13: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Olivares. Escenario RCP 2.6.	135
Tabla 5.14: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario RCP2.6.	140
Tabla 5.15: Resumen de Promedios Anuales de Caudal (m ³ /s), Precipitación (mm), Temperatura (°C) y Rendimiento. Escenario A2.	142
Tabla 5.16: Variación porcentual promedio del Caudal, Precipitación y Rendimiento y variación de Temperatura (°C) para el promedio de los GCM analizados. Escenario A2.	143
Tabla 5.17: Resumen de Promedios Anuales de Caudal (m ³ /s), Precipitación (mm), Temperatura (°C) y Rendimiento. Escenario RCP2.6.	144
Tabla 5.18: Variación porcentual promedio anual del Caudal, Precipitación, Rendimiento y variación de Temperatura (°C). Escenario RCP2.6.	145
Tabla 6.1: Puntos de Interés correspondientes a BT solicitadas por el cliente.	146
Tabla 6.2: Propiedades de las Captaciones ID4 a ID7.	148
Tabla 6.3: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.	155
Tabla 6.4: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP2.6. Período 2011-2040.	157
Tabla 6.5: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP2.6. Período 2041-2070.	158
Tabla 6.6: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.	162
Tabla 6.7: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	164
Tabla 6.8: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	165
Tabla 6.9: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m ³ /s) en el punto de interés ID3. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simuladas con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.	168

Tabla 6.10: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID3. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	170
Tabla 6.11: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID3. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	171
Tabla 6.12: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simuladas con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.	174
Tabla 6.13: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	176
Tabla 6.14: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	177
Tabla 6.15: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.	180
Tabla 6.16: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	182
Tabla 6.17: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	183
Tabla 6.18: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.	186
Tabla 6.19: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	188
Tabla 6.20: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	189
Tabla 6.21: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID7. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.	192
Tabla 6.22: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID7. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.	194
Tabla 6.23: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID7. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:Flujograma para las etapas de procesamiento del escalamiento de los modelos climáticos globales.	4
--	---

Figura 1.2: Flujograma de las etapas de modelamiento y evaluación de escenarios climáticos.	5
Figura 2.1: Mapa de ubicación de los puntos de interés. Maipo Alto.....	9
Figura 2.2: Estaciones Fluviométricas consideradas en el presente estudio y puntos de interés.....	13
Figura 2.3: Variaciones frontales cuenca alta del río Olivares (Zona Centro).	17
Figura 2.4: Aproximación geométrica: glaciar con forma de circunferencia, donde el área se ve disminuida radialmente.	18
Figura 2.5: Aproximación geométrica: glaciar con forma de rectángulo, donde el área se ve disminuida por el lado más angosto.	19
Figura 2.6: Esquema gráfico modelo WEAP.	25
Figura 3.1: Esquema de escalamiento. Adaptado de Wilby et al. (1997).	31
Figura 4.1: Esquema Conceptual adoptado en WEAP para el Sistema Maipo.	41
Figura 4.2: Esquema Conceptual adoptado en WEAP para el Sistema Colorado.....	42
Figura 4.3: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Maipo en Las Melosas.	44
Figura 4.4: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Maipo en las Melosas.....	46
Figura 4.5: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Volcán en Queltehues.	47
Figura 4.6: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Volcán en Queltehues.	48
Figura 4.7: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Afluente Embalse El Yeso.	50
Figura 4.8: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Afluente Embalse El Yeso.	51
Figura 4.9: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Maipo en San Alfonso.	53
Figura 4.10: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Maipo en San Alfonso.....	54
Figura 4.11: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Olivares antes junta Colorado.....	56
Figura 4.12: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Olivares antes junta Colorado.	57
Figura 4.13: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Colorado antes junta Olivares.....	59
Figura 4.14: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Colorado antes junta Olivares.	60
Figura 4.15: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Colorado antes junta Maipo.	62
Figura 4.16: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Colorado antes junta Maipo.....	63
Figura 5.1: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.	69
Figura 5.2 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	70
Figura 5.3: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario A2.	71
Figura 5.4: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados.Escenario A2.	72
Figura 5.5: Comportamiento del modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.	74
Figura 5.6 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.....	75
Figura 5.7: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Escenario A2.	76

Figura 5.8: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	77
Figura 5.9: Comportamiento del modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.	79
Figura 5.10: Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.	80
Figura 5.11: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario A2.	81
Figura 5.12: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	82
Figura 5.13: Comportamiento del modelo en Maipo en San Alfonso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.	85
Figura 5.14: Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.	86
Figura 5.15: Variación estacional y montos por período para el modelo en Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario A2.	87
Figura 5.16: Simulación futura de la CVE de Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	88
Figura 5.17: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	90
Figura 5.18: Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	91
Figura 5.19: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	92
Figura 5.20: Simulación futura de la curva de variación estacional de Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	93
Figura 5.21: Comportamiento del modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	95
Figura 5.22: Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	96
Figura 5.23: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	97
Figura 5.24: Simulación futura de la curva de variación estacional de Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	98
Figura 5.25: Comportamiento del modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	100
Figura 5.26: Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	101
Figura 5.27: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	102
Figura 5.28: Simulación futura de la curva de variación estacional de Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	103
Figura 5.29: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	105
Figura 5.30: Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.	106

Figura 5.31: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.	107
Figura 5.32: Simulación futura de la curva de variación estacional de Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	108
Figura 5.33: Comportamiento del modelo en subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB y períodos futuros. Escenario A2.	110
Figura 5.34 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB. Escenario A2.	111
Figura 5.35: Variación estacional y montos por período para el modelo en subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario A2.	112
Figura 5.36: Simulación futura de la curva de variación estacional de subcuenca Olivares antes junta Colorado. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	113
Figura 5.37: Comportamiento del modelo en Sistema Colorado antes junta Olivares en LB y períodos futuros. Escenario A2.	115
Figura 5.38 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB. Escenario A2.	116
Figura 5.39: Variación estacional y montos por período para el modelo en Sistema Colorado antes junta Olivares. Escenario A2.	117
Figura 5.40: Simulación futura de la curva de variación estacional del Sistema Colorado antes junta Olivares. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	118
Figura 5.41: Comportamiento del modelo en subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB y períodos futuros. Escenario A2.	121
Figura 5.42 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.	122
Figura 5.43: Variación estacional y montos por período para el modelo en subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario A2.	123
Figura 5.44: Simulación futura de la curva de variación estacional de subcuenca Colorado antes junta Maipo. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.	124
Figura 5.45: Comportamiento del modelo en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.	127
Figura 5.46 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB. Escenario RCP2.6.	128
Figura 5.47: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario RCP2.6.	129
Figura 5.48: Simulación futura de la curva de variación estacional de Olivares antes junta Colorado. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	130
Figura 5.49: Comportamiento del modelo en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.	132
Figura 5.50 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB. Escenario RCP2.6.	133
Figura 5.51: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Colorado antes junta Olivares. Escenario RCP 2.6.	134
Figura 5.52: Simulación futura de la curva de variación estacional de Colorado antes junta Olivares. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP 2.6.	135
Figura 5.53: Comportamiento del modelo en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.	137

Figura 5.54 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB. Escenario RCP2.6.	138
Figura 5.55: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario RCP 2.6.	139
Figura 5.56: Simulación futura de la curva de variación estacional de Colorado antes junta Maipo. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.	140
Figura 6.1: Mapa de los puntos de captaciones del Río Volcán. Fuente: GCAM, 2007.	147
Figura 6.2: Mapa de P10, P13 y P9. P9 corresponde a la suma de todas las captaciones del Estero Colina, más el río Volcán. F6 representa a la estación VEQ.	147
Figura 6.3: P7 es el punto efluente al embalse El Yeso. F2 corresponde a la estación MSA. (Fuente: CONIC-BF 2008).....	149
Figura 6.4: Visión de la BT Aucayes respecto del Sist. Colorado.	151
Figura 6.5 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID1.....	153
Figura 6.6 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID1. Escenario A2.	154
Figura 6.7 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID2.....	159
Figura 6.8 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID2. Escenario A2.	161
Figura 6.9 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID3.....	166
Figura 6.10 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID3. Escenario A2.	167
Figura 6.11 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID4.....	172
Figura 6.12 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID4. Escenario A2.	173
Figura 6.13 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID5.....	178
Figura 6.14 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID5. Escenario A2.	179
Figura 6.15 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID6.....	184
Figura 6.16 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID6. Escenario A2.	185
Figura 6.17 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-20701, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID7.....	190
Figura 6.18 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID7. Escenario A2.	191

1. Introducción

El presente documento ha sido elaborado por la Fundación para la Transferencia Tecnológica, UNTEC, y corresponde al Informe Final del estudio “Cambio Climático y su Impacto en la Disponibilidad de Recursos Hídricos del Proyecto Alto Maipo”, solicitado por la empresa +MG Medioambiente & Gestión S.A.

A continuación se presentan los objetivos del estudio, la metodología propuesta para lograr estos objetivos y la estructura del presente informe.

1.1 Objetivos del estudio

El presente estudio tiene por objetivo estimar los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos disponibles en los puntos de captación del proyecto Alto Maipo. Esto se refiere a realizar los estudios hidrológicos correspondientes, basándose en la información proporcionada por modelos de circulación global de la atmósfera que proyectan las forzantes meteorológicas a gran escala para el siglo XXI, específicamente para el período 2010 a 2070.

1.2 Metodología general

En estudios realizados anteriormente (Agrimed, 2008; CEPAL, 2012) se ha calibrado a nivel mensual, para la cuenca definida por la estación Maipo en San Alfonso, el módulo hidrológico del modelo WEAP (Water Evaluation And Planning) desarrollado por el Stockholm Environment Institute's U.S. Center, y se ha estimado la disponibilidad hídrica futura hacia el año 2050, teniendo en cuenta las proyecciones de las variables meteorológicas (en particular precipitación y temperatura) entregadas por el modelo climático global HadCM3 desarrollado por el Hadley Center del Reino Unido para los escenarios A2 y B2.

Sin embargo, la conceptualización de la cuenca empleada en dichas modelaciones hidrológicas no es enteramente compatible con la estimación de caudales en los puntos de interés para el proyecto Alto Maipo ya que el modelo WEAP es un modelo semidistribuido que se conceptualiza por bandas de elevación o por subcuencas en puntos de interés o que definan cambios de régimen hidrológico. Adicionalmente, debe señalarse que el modelo WEAP no incorpora la presencia de glaciares, pero posee un módulo especial para estimar el derretimiento.

Considerando estos antecedentes, se siguió la siguiente metodología para el análisis hidrológico :

- Redefinir las subcuencas del modelo hidrológico WEAP ya calibrado (CEPAL, 2012);
- Realizar, en régimen natural, la calibración del modelo hidrológico en aquellas cuencas y subcuencas donde se dispone de estaciones de monitoreo (Maipo en San Alfonso, Volcán en Queltehues, Olivares antes junta Colorado, Colorado antes junta Olivares, Maipo en Las Melosas) o se han sintetizado caudales (Afluentes al embalse el Yeso) y que se han considerado como base para la determinación de los caudales en las subcuencas de interés para el proyecto Alto Maipo (GCAM, 2007; y, CONIC BF, 2008);
- Comparar los valores medios mensuales u otro estadístico relevante para la definición de la disponibilidad hídrica (por ejemplo Q50% y Q95%,) sintetizados en los puntos de interés con aquellos determinados en el estudio hidrológico del proyecto Alto Maipo (GCAM, 2007; y CONIC BF, 2008);
- Estimar la componente glaciaria de manera similar a la sugerida en el estudio hidrológico del proyecto Alto Maipo. Para ello, en el período de línea base se planteó considerar que en el área glaciaria se produce el caudal específico por unidad de área glaciaria determinado en el estudio hidrológico del proyecto Alto Maipo (GCAM, 2007, CONIC BF, 2008); y,
- Analizar la factibilidad de incorporar este aporte directamente en el módulo hidrológico del modelo WEAP.

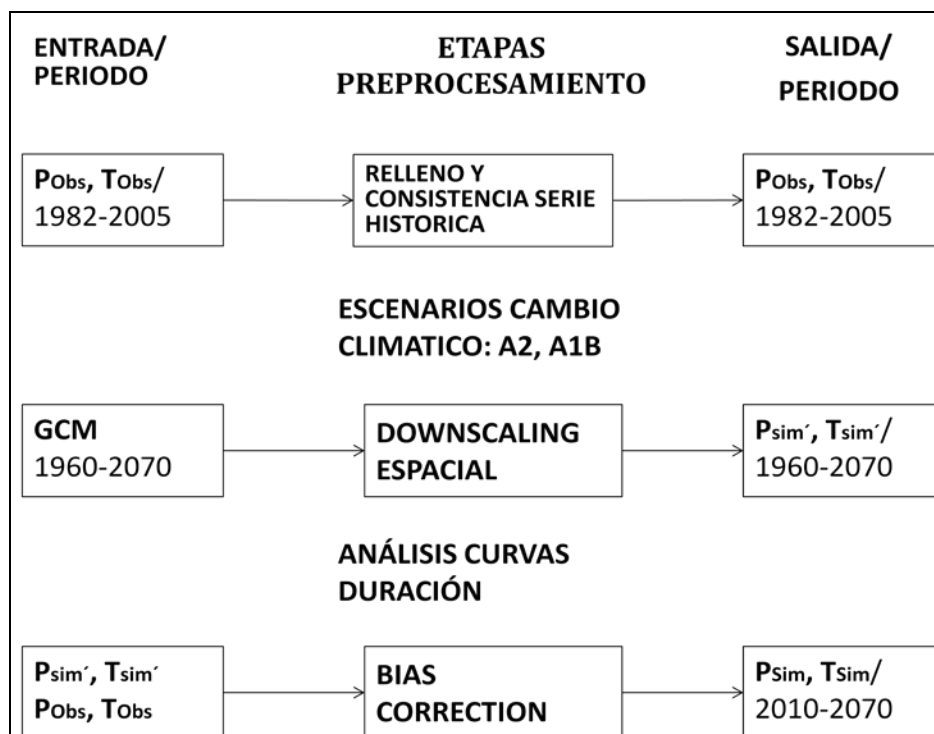
Para las proyecciones futuras se consideró la siguiente metodología:

- Considerar las forzantes meteorológicas de al menos 3 modelos GCM; realizar la selección a base de aquellos que mejor representen a estas forzantes en el período de línea base según los resultados disponibles en el estudio DIC (2011) para el escenario A2, que corresponde al de mayor incremento de temperatura media global en el planeta;
- A base del modelo WEAP, obtener los recursos hídricos disponibles en las estaciones de monitoreo para el período 2011 a 2070 (Maipo en San Alfonso, Volcán en Queltehues, Olivares antes junta Colorado, Colorado antes junta Olivares, Maipo en Las Melosas) o donde se han sintetizado caudales (Afluentes al embalse el Yeso);
- Determinar los caudales medios mensuales futuros en los puntos de captación del proyecto Alto Maipo;
- Sensibilizar con respecto al área glaciaria adoptando disminuciones porcentuales progresivas y considerando las mismas hipótesis que en la línea base respecto a las productividades específicas mensuales. Se considera variar estas últimas según los porcentajes de variación de radiación que se proyecten para la zona en el período;

- Para obtener una banda de incertidumbre de las proyecciones futuras de disponibilidad hídrica se consideran las forzantes meteorológicas determinadas por uno de los modelos GCM seleccionados anteriormente, adoptándose para este efecto el escenario futuro RCP 2.6 correspondiente al escenario de menor aumento de temperatura a nivel global en el planeta de aquellos recientemente publicados¹. Usando estaciones de monitoreo existentes en la zona, efectuar el escalamiento estadístico para estimar las variables meteorológicas a nivel local; y,
- Determinar los valores de la disponibilidad hídrica en este nuevo escenario para todos los puntos de captación del proyecto Alto Maipo, usando la misma metodología planteada para el escenario A2.

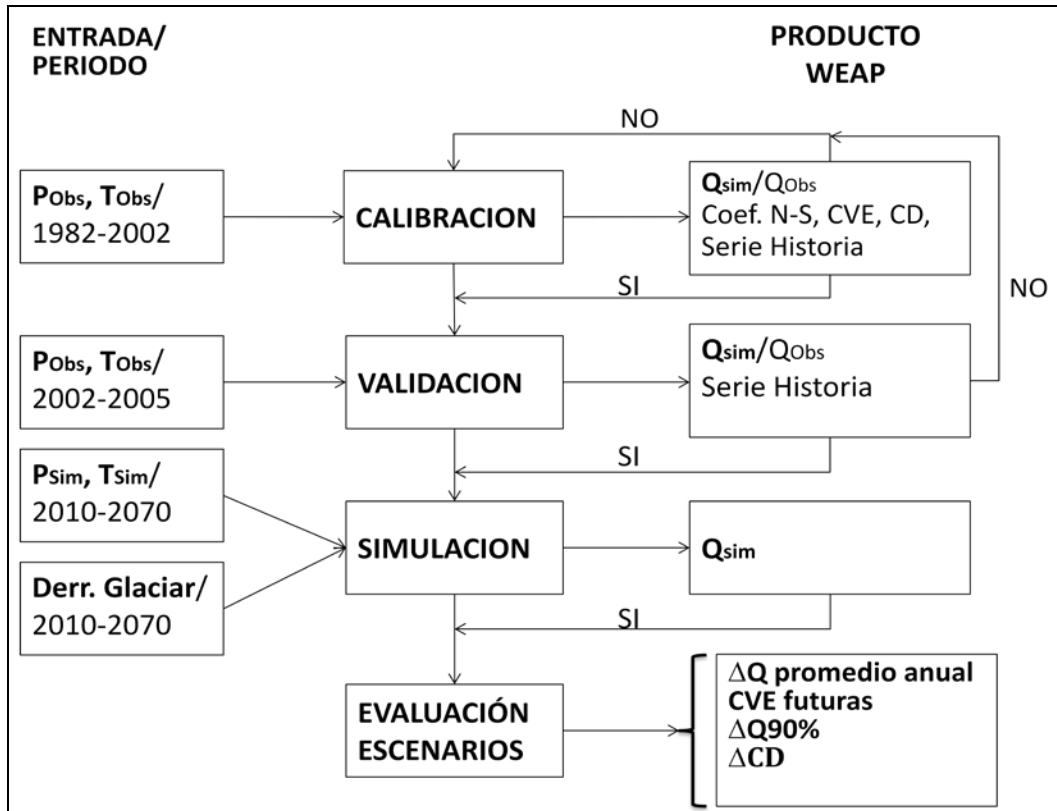
La Figura 1.1 y Figura 1.2 presentan un diagrama de flujo con los pasos aplicados para el procesamiento del escalamiento de los modelos climáticos globales y para la posterior etapa de modelamiento y evaluación de escenarios climáticos. En ellas se representan los inputs, procesos y resultados, que permiten cumplir con los objetivos del presente estudio.

¹ <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>



Donde: GCM corresponde a los modelos climáticos globales; P_{Obs} y P_{Sim} se refieren a las precipitaciones observadas y simuladas; y, T_{Obs} y T_{Sim} son las temperaturas observadas y simuladas, respectivamente. .

Figura 1.1:Flujograma para las etapas de procesamiento del escalamiento de los modelos climáticos globales.



Donde:

P_{Obs} y T_{Obs} corresponden a la precipitación y temperatura observados en el período indicado;

Q_{Sim} y Q_{Obs} : Caudal simulado y observado;

P_{Sim} y T_{Sim} : precipitación y temperatura simuladas ;

Coef. N-S: Coeficiente Nash-Sutcliffe;

CVE: Curva de variación estacional;

CD: Curva de duración.

Figura 1.2: Flujograma de las etapas de modelamiento y evaluación de escenarios climáticos.

Bajo estas actividades, y sobre la base de la información sintetizada, se logra para todos los puntos de captación del proyecto Alto Maipo una banda de incertidumbre de los recursos hídricos asociada a los GCM seleccionados y a los escenarios extremos en cuanto a temperaturas medias globales que podrían ocurrir en el período 2010 a 2070.

1.3 Contenidos del Informe

El informe se ha estructurado en 7 capítulos. El capítulo 2 parte con la definición del problema, seguido de la identificación de los antecedentes disponibles y los puntos de interés, finalizando con el modelo conceptual, que fue construido en WEAP para lograr el análisis hidrológico. El capítulo 3 da cuenta de la selección de los GCM a utilizar, el escalamiento de las forzantes meteorológicas y sus correcciones, para el escenario A2 y RCP 2.6, así como la simulación de caudales futuros bajo estos escenarios, tanto para las subcuencas de ambos sistemas como para los puntos de interés definidos por las captaciones de Gener en en el proyecto Alto Maipo.

Por su parte, en el Capítulo 4 se construye el modelo hidrológico propiamente tal, donde se exponen los parámetros considerados y se presentan los resultados de la calibración en línea base (calibración definitiva del modelo en las cuencas de cabecera) considerando la componente glaciar. Estos resultados se han subdividido para los dos sistemas representados: hMaipo y Colorado. El Sistema Maipo está definido por las subcuencas Maipo en las Melosas (MELM), Volcán en Queltehues (VEQ) y la cuenca Afluente Embalse El Yeso (AEY). Además de estas 3 subcuencas, está también la hoya intermedia de la cuenca (HIM), cuya calibración se entrega en base a los resultados de la calibración de la cuenca Maipo en San Alfonso (MSA).

En el caso del Sistema Colorado, compuesto por las subcuencas Olivares antes de junta con Colorado (OAJC) y Colorado antes de junta con Olivares (CAJO), se ha calibrado también su hoya intermedia (HIC), lo que permite modelar en definitiva los caudales en régimen natural en la estación Colorado antes de junta con Maipo (CAJM), estación que define el sistema Colorado.

El capítulo 5 presenta los resultados de línea base y de la simulación de los caudales futuros para los escenarios A2 y RCP2.6; mientras que el capítulo 6 presenta la simulación futura en puntos de interés (considerados como las captaciones de GENER en Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo).

Finalmente en el Capítulo 7 se discuten los resultados y se presentan conclusiones relevantes de acuerdo a los objetivos planteados en el presente estudio.

2. Definición del problema y antecedentes disponibles

En este capítulo se describe el problema que se aborda en el estudio y se indican los antecedentes disponibles, en particular, aquellos considerados para determinar los caudales pasados y futuros en los puntos de interés. También, se presenta el modelo conceptual WEAP² implementado para cada cuenca considerada como base (Maipo en Las Melosas, Maipo en San Alfonso, Volcán en Queltehues, Afluyente al embalse El Yeso, Colorado antes junta con Olivares, Olivares antes junta Colorado y Colorado antes junta Maipo) para el análisis hidrológico.

2.1 Definición del problema

Es usual que en un estudio hidrológico se determinen los recursos hídricos disponibles en las secciones de interés a base de balances hídricos. Para ello se utilizan los registros disponibles en estaciones de medición, los que deben ser transformados a régimen natural con el fin de analizar adecuadamente la gestión del recurso. Los caudales en los puntos de interés se derivan de aquellos de las estaciones base usando relaciones establecidas para cuencas de régimen hidrológico similar basadas en distintos métodos de transposición y síntesis. Luego, las series generadas permiten confeccionar las respectivas curvas de variación estacional para diferentes probabilidades de excedencia en los puntos en estudio.

Sin embargo, hoy en día las series históricas no son suficientes para extrapolar los recursos hídricos que estarán disponibles en el futuro ya que se considera que nuestro sistema no se encuentra en estado estacionario (UNTEC, 2012) por cuanto las variables meteorológicas están mostrando tendencias no explicadas por el sistema natural. Estas tendencias inciden a su vez en la respuesta del sistema hidrológico por lo que resulta imprescindible modelar el sistema a través de modelos de simulación hidrológica y calibrar éstos a base de información meteorológica e hidrológica pasada.

Como también el sistema meteorológico debe modelarse para generar las variables meteorológicas futuras, se debe adoptar un modelo de circulación global (GCM) de la atmósfera seleccionado entre los variados modelos existentes (DIC, 2011). Para tener en cuenta la incertidumbre presente en estas proyecciones, se consideran las forzantes meteorológicas de al menos tres modelos GCM, cuya selección se basó en aquellos que mejor representen a las forzantes principales (precipitación y temperatura) en el período de línea base para el escenario A2, que corresponde al de mayor incremento de temperatura media global en el planeta. Dado que no existe certeza acerca de cual de los escenarios futuros puede ocurrir, se seleccionó entre los recientemente publicados

² Water Evaluation and Planning.

denominados RCP (Representative Concentration Pathways) aquel considerado como más favorable en términos de patrones futuros de radiación correspondiente al escenario RCP 2.6.

Este estudio se enfoca, en primer lugar, a definir los modelos conceptuales considerados para cada cuenca adoptando como base, para la calibración de los parámetros del modelo WEAP, los caudales medios mensuales en régimen natural determinados para las estaciones de la cuenca del río Maipo Alto en el estudio CONIC BF (2008) para el período comprendido entre los años hidrológicos 1950/51 y 2004/2005, inclusive. Los caudales simulados para las cuencas definidas por las estaciones fluviométricas, a través del modelo hidrológico, son utilizados para validar los caudales medios mensuales y curvas de variación estacional determinados por CONIC BF (2008) en los puntos de interés para el estudio que se muestran en la Figura 2.1.

En una segunda etapa se hace necesario efectuar el escalamiento espacial y temporal de las forzantes meteorológicas a los puntos de ubicación de las estaciones meteorológicas usadas como base para la calibración de los modelos de simulación hidrológica. Estas estaciones corresponden a la estación San Gabriel para las precipitaciones y Pirque para las temperaturas. Las relaciones que se establecen en el período de línea base para cada uno de los tres GCM seleccionados se consideran válidas en el futuro lo que permite determinar, para cada escenario considerado, las series temporales de precipitación y temperatura para cada elemento de los modelos de simulación hidrológica implementados.

Finalmente, se sintetizan los caudales medios mensuales futuros para el período 2010 a 2070 utilizando los modelos meteorológicos implementados y calibrados en el período de línea base en las cuencas Maipo en Las Melosas, Maipo en San Alfonso, Volcán en Queltehues, Afluyente al embalse El Yeso, Colorado antes junta con Olivares, Olivares antes junta Colorado y Cololorado antes junta río Maipo. Por último, se determinan los caudales medios mensuales y las curvas de variación estacional en los puntos de interés señalados en la Figura 2.1.

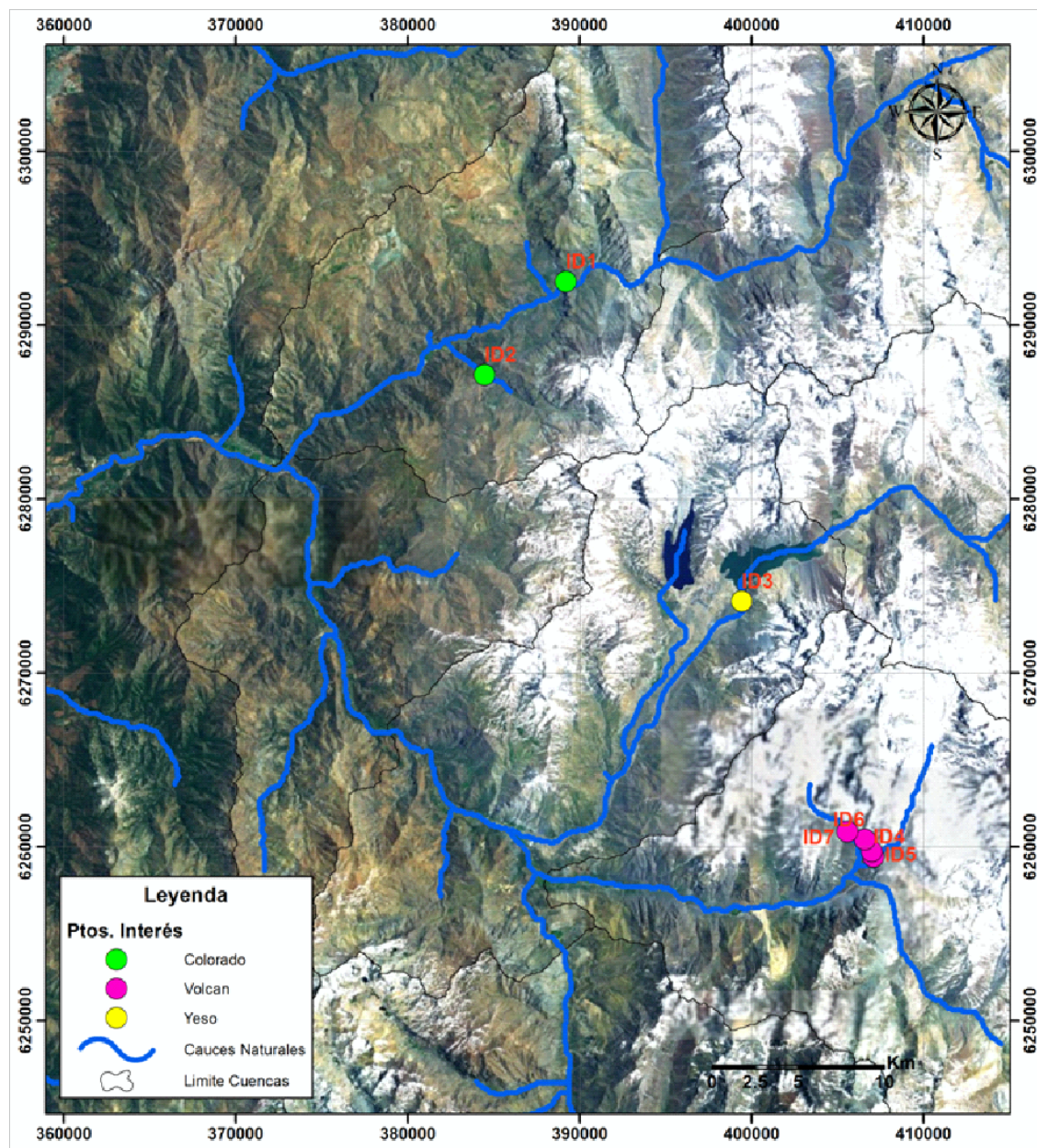


Figura 2.1: Mapa de ubicación de los puntos de interés. Maipo Alto

2.2 Información disponible

Para el presente estudio se ha utilizado información variada proveniente de diferentes fuentes a nivel nacional como internacional, asociados a la evaluación de los recursos hídricos en la cordillera. En la Tabla 2.1 se muestra un resumen de las variables utilizadas de manera directa en la modelación.

Tabla 2.1: Fuentes de información utilizadas.

Descripción	Fuente consultada
Elevación	ASTER Global Digital Elevation Model v2, 2011 (http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp)
Uso de suelo	SINIA (www.sinia.cl)
Temperatura, precipitación, caudales	Dirección General de Aguas (DGA) (www.dga.cl)
Gradientes de precipitación y temperatura	Selección y Aplicación de un Modelo Hidrológico para Estimar los Impactos del Cambio Climático en la Generación de Energía del Sistema Interconectado Central. (Dto. Ing. Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. De Chile. DIC, 2011)
Caudales sintéticos	Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (CONIC BF, 2008; y GCAM, 2007)
Área de glaciares	Dirección General de Aguas (DGA) (www.dga.cl)

De acuerdo a su grado de implicancia sobre el fenómeno estudiado, se identifican cinco fuentes como las más importantes las que serán descritas y analizadas detalladamente:

- Registros meteorológicos,
- Registros fluviométricos,
- Registros fluviométricos sintéticos,
- Gradientes de precipitación y temperatura,
- Área de glaciares.

2.2.1 Registros Meteorológicos

El registro instrumental de la temperatura y de los eventos de precipitación posee estadística desde la década de los 70, lo cual permite emplear la información con un período de registro mínimo, requerido como línea base. Las estaciones consideradas son San Gabriel y Pirque, y se ubican en la zona precordillerana de la cuenca del río Maipo. En la **Tabla 2.2** se indica la ubicación de las estaciones meteorológicas consideradas. La información empleada de los registros considera el período Ene-1981/Dic-2005. En el Anexo I-A y I-B se indican los registros meteorológicos empleados.

Tabla 2.2: Estaciones Meteorológicas consideradas.

Nombre	Código BNA	Coordenadas UTM (WGS 84)		Altitud (msnm)	Vigencia
		ESTE (m)	SUR (m)		
San Gabriel	05704004-1	385.807	6.261.125	890	1977
Pirque	05711003-1	353.200	6.273.620	1500	1967

Fuente: Banco Nacional de Aguas, DGA. Datum WGS84.

2.2.2 Registros Fluviométricos

Los registros de la esorrentía provienen de 7 estaciones fluviométricas ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Maipo. Las estaciones son: (i) Río Colorado antes de junta con río Maipo, (ii) Río Colorado antes de junta con río Olivares, (iii) Río Olivares antes de junta con río Colorado, (iv) Río Volcán en Queltehues, (v) Río Maipo en San Alfonso, (vi) Río Maipo en El Manzano, (vii) Río Maipo en Las Melosas. La ubicación de las estaciones se indica en la **Tabla 2.3**. La información empleada considera el período Ene-1981/Dic-2005. En el Anexo II-A y II-B se indican los registros fluviométricos empleados.

Tabla 2.3: Estaciones Fluviométricas consideradas.

Nombre	Código BNA	UTM E (m)	UTM S (m)	Altitud (msnm)	Vigencia
Río Colorado antes de junta con río Maipo	05707002-1	373.148	6.282.685	890	Dic-1940
Río Colorado antes de junta con río Olivares	05705001-2	394.633	6.293.757	1500	Dic-1977
Río Olivares antes de junta con río Colorado	05706001-8	394.398	6.294.001	1500	Dic-1977
Río Volcán en Queltehues	05702001-6	388.100	6.258.689	1365	Dic-1913
Río Maipo en San Alfonso	05704002-5	379.639	6.266.811	1108	Dic-1940
Río Maipo en Las Melosas	05701002-9	389.339	6.253.999	1527	Dic-1962

Fuente: Banco Nacional de Aguas, DGA. Datum WGS84.

2.2.3 Registros Fluviométricos Sintéticos

Las estaciones fluviométricas sintéticas corresponden a puntos relevantes para el modelo, que puedan afectar la distribución de los caudales aguas abajo del punto donde se generan. En general las secciones con información sintética se asocian con puntos como bocatomas, afluentes y efluentes a embalses, puntos de descarga de cualquier tipo o algún afluente natural que sea relevante. El período de “registro” para las secciones sintéticas es el mismo de las estaciones fluviométricas y meteorológicas, Ene-1981/Dic-2005. La ubicación de la sección sintética se indica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Sección Fluviométrica Sintética considerada.

Nombre	UTM E (m)	UTM S (m)	Altitud (msnm)
Afluente Embalse El Yeso	403.921	6.277.357	2553

Datum WGS84

En el Anexo II-A se indican los registros fluviométricos sintéticos utilizados. La ubicación de las estaciones hidrometeorológicas y secciones sintéticas señaladas se muestra en la Figura 2.2.

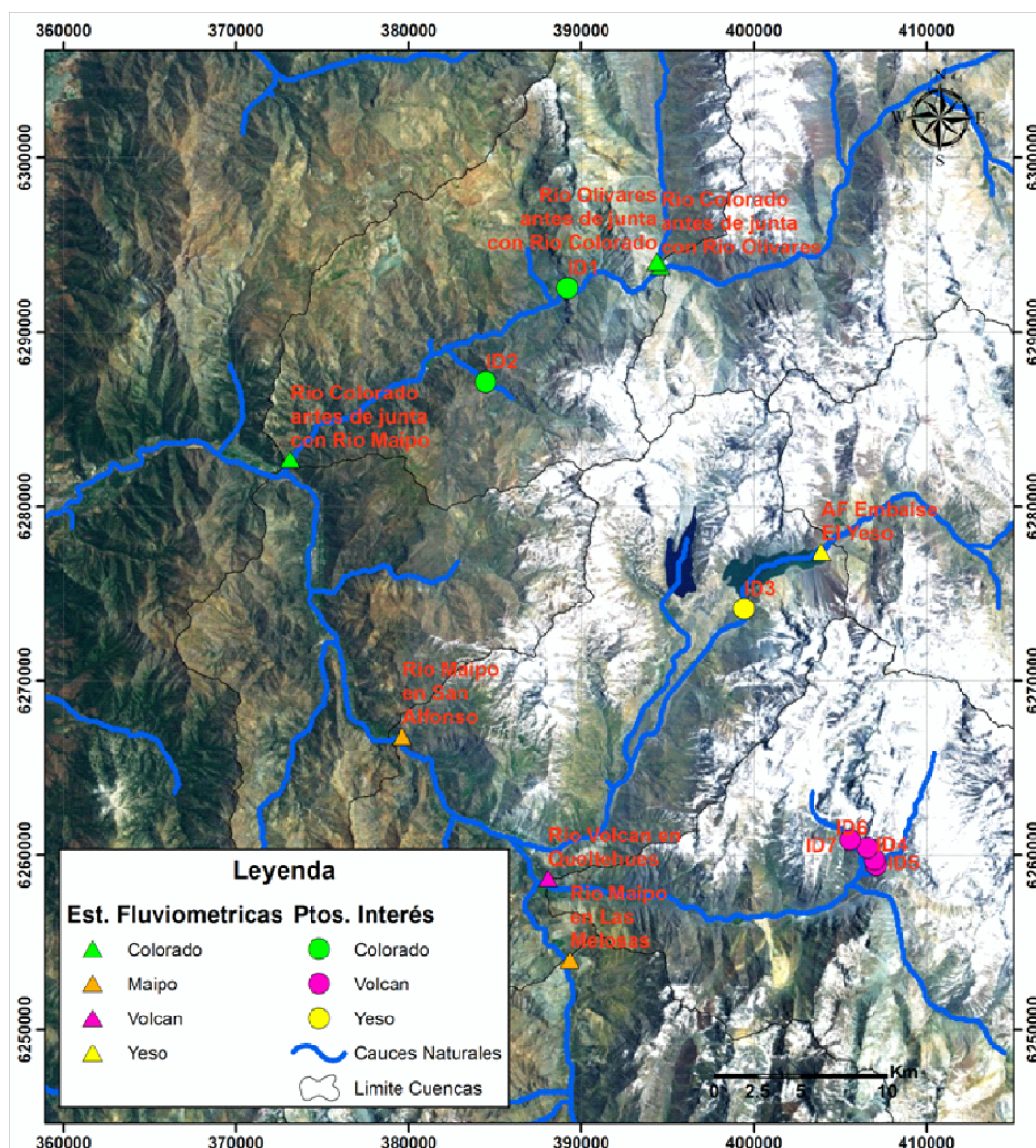


Figura 2.2: Estaciones Fluviométricas consideradas en el presente estudio y puntos de interés.

2.2.4 Gradientes de Precipitación y Temperatura

Los gradientes de precipitación y temperatura utilizados corresponden a aquellos estimados en el estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile para el Ministerio de Energía (DIC, 2011). Estos antecedentes son relevantes para distribuir espacialmente estas variables dentro de las cuencas en estudio. La resolución temporal de los gradientes generados (anual) depende de la información disponible de las estaciones meteorológicas cercanas a cada cuenca y a la utilización de los mapas de isoyetas e isolíneas de temperatura del Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987).

El procedimiento utilizado (DIC, 2011) para la determinación de los gradientes fue el siguiente:

- Revisión y recopilación de la información meteorológica de las estaciones cercanas a las cuencas de estudio.
- Análisis de la relación entre los valores medios mensuales de precipitación y temperatura de las distintas estaciones, con su cota. Con lo anterior se generan los gradientes altitudinales a nivel mensual.
- A falta de información suficiente o consistente a nivel mensual, se utilizaron los mapas de isoyetas e isolíneas de temperatura del Balance Hídrico de Chile para generar un gradiente altitudinal a nivel anual.

En la Tabla 2.5 se muestra un resumen de los gradientes asociados a los sistemas Maipo y Colorado.

Tabla 2.5: Gradientes de precipitación y temperatura (a nivel anual) para los sistemas Maipo y Colorado.

Sistema	Gradiente de precipitación (mm/m)	Gradiente de temperatura (°C/m)
Maipo y Colorado	0,2892	-0,0041

2.2.5 Área de Glaciares

En relación a los glaciares, se emplearon antecedentes obtenidos del informe desarrollado por GCAM (2007), en el que se indican áreas de aporte glaciar para diferentes cuencas. De acuerdo a los puntos de interés, las unidades de glaciares corresponden a las indicadas en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Área Glaciar Informada para el Sistema Volcán en Queltehues.

SubSubCuencas	Área Total (km ²)	Área Glaciares (km ²)
Cajón La Engorda	30.4	2.4
Estero Colina	74.5	10.7
Quebrada Las Placas	10.4	1.6
Cajón del Morado	54	4
Volcan antes junta Colina	189.7	8

Adicionalmente el informe de GCAM (2007) indica que para el caso de la cuenca afluente al Sistema El Yeso se tiene un área de aporte glaciar de 20.4 km². Respecto de los rendimientos, éstos se presentan en el capítulo del modelo hidrológico, en la sección 4.4.

Con el fin de evaluar tasas de descenso o retroceso, se procedió a la revisión de los antecedentes de literatura que permitieran definir una aproximación adecuada. Esto se presenta en las siguientes secciones.

2.2.5.1 Antecedentes sobre tasas de retroceso glaciar

El estudio realizado por el Centro de Estudios Científicos para el Ministerio de Obras Públicas (CECs, 2011) presenta antecedentes de variaciones de más de 140 glaciares en Chile durante las últimas décadas, con el objetivo de completar y actualizar la información glaciológica existente en el país. Además, se indican las variaciones frontales y areales de glaciares en Chile, en escala de tiempo interdecadal, durante la segunda mitad del siglo XX y primera década del siglo XXI en base a datos satelitales. En la **Tabla 2.7** se resume la información de variaciones frontales para los glaciares de la Zona Centro, cuenca del río Maipo.

Tabla 2.7: Variaciones frontales (m a^{-1}) de glaciares Zona Centro, cuenca del río Maipo.

Sub-Cuenca	Nombre Glaciar	Variación Frontal [m]	Período [años]	Tasa Variación Frontal [m años^{-1}]	Área [km^2]
Río Olivares	Juncal Sur	-5056	1947-2011	-79	21,44
	Olivares Gama	-2660	1935-2011	-35	12,15
	Olivares Beta	-3648	1935-2012	-48	8,33
	Olivares Alfa	-850	1986-2011	-34	5,14
Estero Marmolejo	A	-120	1986-2010	-5	2,35
	B	-216		-9	9,23
	C	-312		-13	2,78
Río Volcán	A	-192	1986-2010	-8	1,92
	B	-672		-28	4,86
Laguna Negra	Echaurren	-450	1986-2010	-18	0,52
Río Yeso	Pirámide	-175	1986-2011	-7	4,40
Río Colorado	A	-120	1986-2011	-5	6,89
	B	216		9	9,22
	C	-120		-5	2,04
	D	-72		-3	3,23
	E	288		12	2,61

Fuente: CECs, 2011.

2.2.5.2 Geometría para estimar la variación de área glaciar

En la cuenca del río Maipo existe un número importante de glaciares, los que se clasifican como: (1) Glaciar de Montaña; (2) Glaciar de Valle; (3) Glaciar Rcoso; y (4) Glaciarete. Para evaluar los aportes hídricos desde glaciares, en el presente estudio solo serán considerados los glaciares de Montaña y de Valle, por cuanto de los antecedentes recopilados, la tasa de variación areal y frontal mayoritariamente proviene de este tipo de glaciares.

Para determinar el aporte glaciar a la esorrentía superficial, se estimó la tasa de disminución areal, la cual tiene directa relación con la cantidad de masa de hielo que se convierte en agua líquida y es un aporte a la esorrentía. La tasa de derretimiento glaciar depende de diferentes aspectos entre los que se destacan: la geometría del glaciar, la transferencia de calor con el manto de nieve, la transferencia de calor con el suelo, la radiación solar incidente sobre la masa glaciar libre de nieve, la temperatura del aire.

El derretimiento glaciar actúa sobre la masa de hielo y transforma su geometría. En Chile, una parte importante de los estudios relacionados con los glaciares, han buscado determinar la variación volumétrica de la masa de hielo, y para ello se ha empleado técnicas remotas como las imágenes satelitales, que permiten conocer la variación areal de un glaciar durante determinado período de tiempo. En la Figura 2.3 se muestra la variación de área que han sufrido los glaciares: Juncal Sur, Olivares Gama y Olivares Beta, durante los últimos 55 años (1955-2010). Se aprecia que la disminución del área en general se ha producido alrededor del perímetro glaciar, a diferentes tasas. Además, los glaciares han retrocedido o disminuido su área paulatinamente, siendo el retroceso mayor en la zona conocida como “lengua glaciar”, zona que está más próxima al sector de desagüe de la cuenca, y que generalmente se encuentra a una menor altitud respecto del glaciar en su totalidad.

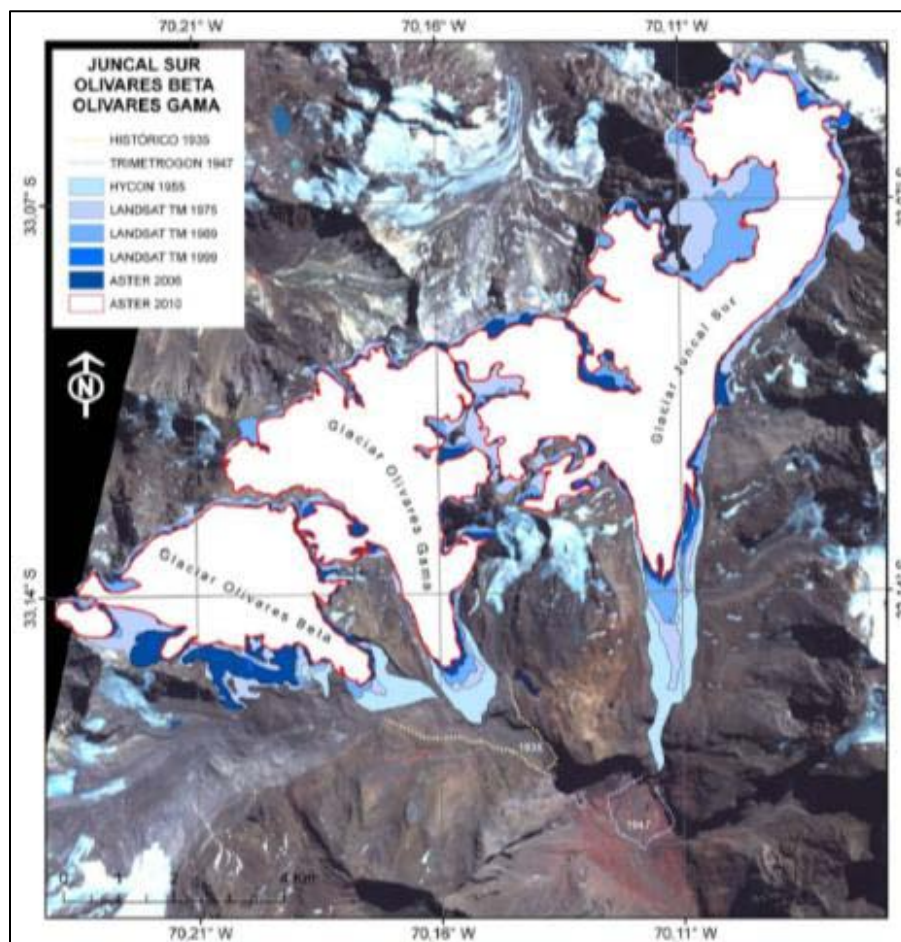


Figura 2.3: Variaciones frontales cuenca alta del río Olivares (Zona Centro).

Fuente: CECs, 2011.

Como una manera de evaluar la tasa de retroceso del glaciar, aspecto que sirve para estimar la tasa de derretimiento, se plantearon dos supuestos en relación a la geometría vista en planta del glaciar. Esta simplificación se sustenta a partir de la Tasa de Variación Frontal (indicada en la Tabla 2.7), la cual es única para cada glaciar y queda definida por la forma irregular de la masa de hielo. La simplificación tiene relación con dos formas geométricas conocidas:

- Glaciar con forma de circunferencia, en la que el derretimiento es radial y uniforme hacia el centro de la circunferencia.
- Glaciar con forma de rectángulo, en el que el derretimiento es por uno de los lados más angostos y se desarrolla de forma gradual por dicho lado.

Para la geometría circunferencial el retroceso es radial y el radio se ve disminuido en una proporción que corresponde a la mitad de la Tasa de Variación Frontal. Este criterio de disminución del 50% de la Tasa se aprecia conservador, puesto que el frente del glaciar se asocia más bien a la lengua glaciar, y no al perímetro total.

Para la geometría rectangular se consideró un rectángulo en el que el ancho inicial es 5 veces el lado más angosto. La Tasa de Variación Frontal se aplica sobre uno de los lados más angosto del rectángulo.

En la **Figura 2.4**, y **Figura 2.5** se muestran los esquemas que explican la simplificación geométrica del glaciar para estimar la variación del área que sufre anualmente.

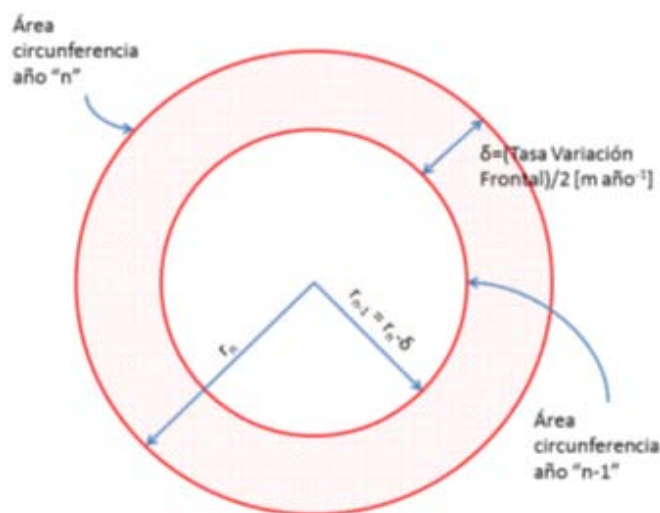


Figura 2.4: Aproximación geométrica: glaciar con forma de circunferencia, donde el área se ve disminuida radialmente.

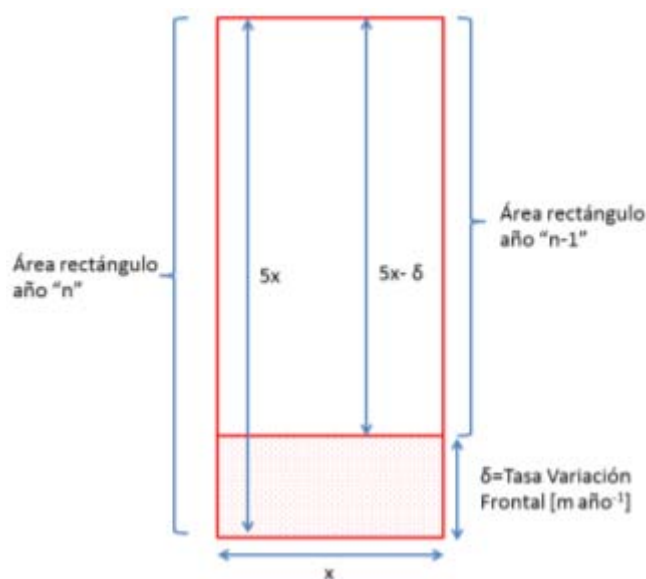


Figura 2.5: Aproximación geométrica: glaciar con forma de rectángulo, donde el área se ve disminuida por el lado más angosto.

Para aplicar la simplificación geométrica se estimó el área de los glaciares de la zona centro informado en el estudio CECs MOP-DGA (2011) (ver **Tabla 2.7**). Con ello se obtuvo el radio inicial para la simplificación circunferencial y los lados del rectángulo para la simplificación poligonal. En la **Tabla 2.8** se indican los resultados obtenidos considerando el glaciar como una circunferencia, mientras que en la **Tabla 2.9** se indican los resultados obtenidos considerando el glaciar como un rectángulo.

Tabla 2.8: Resumen simplificación área glaciar por una forma circular.

Sub-Cuenca	Nombre Glaciar	Área [km ²]	Perímetro Año n [m]	Radio Año n [m]	Tasa Var. Frontal / 2 [m año ⁻¹]	Radio Año n+1 [m]	Variación Área [%]
Río Olivares	Juncal Sur	21,44	16.414	2.612	-39,5	2,600	-3,0
	Olivares Gama	12,15	12,357	1,967	-17,5	1,961	-1,8
	Olivares Beta	8,33	10,232	1,628	-24	1,621	-2,9
	Olivares Alfa	5,14	8,038	1,279	-17	1,274	-2,6
Estero Marmolejo	A	2,35	5,432	865	-2,5	864	-0,6
	B	9,23	10,767	1,714	-4,5	1,712	-0,5
	C	2,78	5,906	940	-6,5	938	-1,4
Río Volcán	A	1,92	4,913	782	-4	781	-1,0
	B	4,86	7,813	1,244	-14	1,239	-2,2
Laguna Negra	Echaurren	0,52	2,556	407	-9	404	-4,4
Río Yeso	Pirámide	4,40	7,434	1,183	-3,5	1,182	-0,6
Río Colorado	A	6,89	9,304	1,481	-2,5	1,480	-0,3
	B	9,22	10,761	1,713	4,5	1,714	0,5
	C	2,04	5,066	806	-2,5	805	-0,6
	D	3,23	6,370	1,014	-1,5	1,013	-0,3
	E	2,61	5,729	912	6	914	1,3

Tabla 2.9: Resumen simplificación área glaciar por una forma rectangular.

Sub-Cuenca	Nombre Glaciar	Área [km ²]	Perímetro Año n [m]	Lado Año n [m]	Tasa Var, Frontal [m año ⁻¹]	Lado Año n+1 [m]	Variación Área [%]
Río Olivares	Juncal Sur	21,44	24.848	10.354	-79	10.275	-1,5
	Olivares Gama	12,15	18.708	7.795	-35	7.760	-0,9
	Olivares Beta	8,33	15.490	6.454	-48	6.406	-1,5
	Olivares Alfa	5,14	12.168	5.070	-34	5.036	-1,3
Estero Marmolejo	A	2,35	8.223	3.426	-5	3.421	-0,3
	B	9,23	16.301	6.792	-9	6.783	-0,3
	C	2,78	8.941	3.726	-13	3.713	-0,7
Río Volcán	A	1,92	7.438	3.099	-8	3.091	-0,5
	B	4,86	11.828	4.928	-28	4.900	-1,1
Laguna Negra	Echaurren	0,52	3.870	1.612	-18	1.594	-2,2
Río Yeso	Pirámide	4,40	11.254	4.689	-7	4.682	-0,3
Río Colorado	A	6,89	14.085	5.869	-5	5.864	-0,2
	B	9,22	16.291	6.788	9	6.797	0,3
	C	2,04	7.669	3.195	-5	3.190	-0,3
	D	3,23	9.643	4.018	-3	4.015	-0,1
	E	2,61	8.673	3.614	12	3.626	0,7

2.2.5.3 Variación Anual de Área Glaciar

La tasa de derretimiento anual depende de la variación anual del área glaciar. En la **Tabla 2.10** se resumen los resultados obtenidos para la variación anual del área glaciar. Estos resultados toman en consideración la variación obtenida para todos los glaciares indicados en la **Tabla 2.7**. Se aprecia que la variación anual de área en promedio es de -0,96%, lo cual indica un retroceso del área. Para un período de 10 años esta disminución representa el 9,6 % del área total, lo cual indica que durante el período de simulación, 60 años, es muy probable que la mayoría de los glaciares en valle o de montaña haya desaparecido al menos un 50% del área que existe en la actualidad, proceso que podría acelerarse con las consecuencias del Cambio Climático. Para efectos prácticos, en el presente estudio se utilizó una tasa de retroceso anual del área de un 1,0%, y se extrapoló linealmente dicha tasa para cada año de la simulación.

Tabla 2.10: Resumen Variación promedio 1 año y 10 años del área glaciar.

Forma Geométrica	Variación Área en 1 Año [%]	Variación Área en 10 Años [%]
Circunferencia	-1,28	-12,78
Rectángulo	-0,65	-6,47
Promedio	-0,96	-9,63
Adoptado	-1,0	-10,0

2.3 Definición de los puntos de interés

Los puntos de interés para el presente estudio corresponden a puntos con control fluviométrico, bocatmas existentes, y puntos donde se proyectan obras de captación o bocatmas para el desvío de las aguas hacia la casa de máquinas del sistema hidroeléctrico. Estos puntos relevantes se ubican en la zona alta de la cuenca del río Maipo y Colorado, los que fueron obtenidos del informe desarrollado por CONIC (2008), así como también, informados por el mandante.

Como una manera de ordenar por afluente principal, se asocia cada punto a un afluente principal del río Maipo. Los afluentes principales son 4: (i) Río Colorado (Sistema Colorado), (ii) Río Yeso (Sistema Yeso), (iii) Río Volcán (Sistema Volcán), (vi) Río Maipo (Sistema Maipo). Los puntos relevantes se indican en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11: Puntos de interés empleados.

ID	Nombre	ESTE	NORTE	COTA	SISTEMA	TIPO	Fuente
1	Central Alfalfal	389208	6292514	1350	Colorado	PI	CONIC
2	BT Aucayes	384485	6287146	1450	Colorado	PI	Inf. Cliente
3	EF Embalse El Yeso	399437	6274126	2524	Yeso	PI	CONIC
4	Estero La Engorda	407074	6259439	2540	Volcan	PI	GCAM
5	Estero Colina	406996	6259724	2540	Volcan	PI	GCAM
6	Estero Las Placas	406581	6260421	2540	Volcan	PI	GCAM
7	Estero El Morado	405577	6260874	2540	Volcan	PI	GCAM

La ubicación de los Puntos de Interés se muestra en la Figura 2.1 de la sección 2.1 del presente informe.

2.4 Descripción Modelo Hidrológico

WEAP³ es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos desarrollada por el Stockholm Environment Institute⁴ sede en Boston y el Tellus Institute⁵. Proporciona un marco comprensivo, flexible y de fácil uso para la planificación y análisis de políticas.

WEAP apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). Para ello, se utiliza una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz grafica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible.

WEAP es un modelo forzado por variables climáticas a diferencia de modelos de operación y gestión de recursos hídricos típicos que se basan en modelación hidrológica externa. Por otra parte, de manera similar a estos modelos de recursos hídricos, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua para diferentes tipos de usuarios desde una perspectiva

³ <http://www.weap21.org/>

⁴ <http://www.sei-us.org/>

⁵ <http://www.tellus.org/>

humana y ecosistémica. Estas características convierten a WEAP en un modelo apropiado para realizar estudios de cambio climático donde es importante estimar cambios en la oferta de agua (e.j. cambios en la precipitación proyectados) y demanda de agua (e.j. cambios en la demanda por evaporación en cultivos) y como estos cambios convergen en un balance de agua diferente a nivel de cuenca (Purkey et al., 2007).

El módulo mencionado en el párrafo anterior tiene incorporado un modelo hidrológico propio. Si bien WEAP fue creado como una herramienta para la modelación operacional de sistemas de recursos hídricos, incluyendo elementos tales como centrales hidroeléctricas, demandas de riego, canales, embalses, etc., actualmente se ha ampliado su capacidad incluyendo módulos de hidrología, calidad de agua y aguas subterráneas mediante el uso de enlaces con otros software de uso común.

El modelo hidrológico integrado en el modelo WEAP se basa en un esquema de dos estanques capaces de reproducir distintas componentes de los flujos subterráneos y superficiales. En la Figura 2.6 se muestra un esquema gráfico del modelo.

WEAP simula el proceso de precipitación-escorrentía a partir de una función de transferencia en la que se determina una variable de salida (el caudal) a partir de una o varias variables de entrada generalmente de carácter meteorológico (precipitación, temperatura, etc.). Internamente el modelo utiliza numerosos parámetros para representar el fenómeno físico. En la Tabla 2.12 se muestra una clasificación general de las variables involucradas.

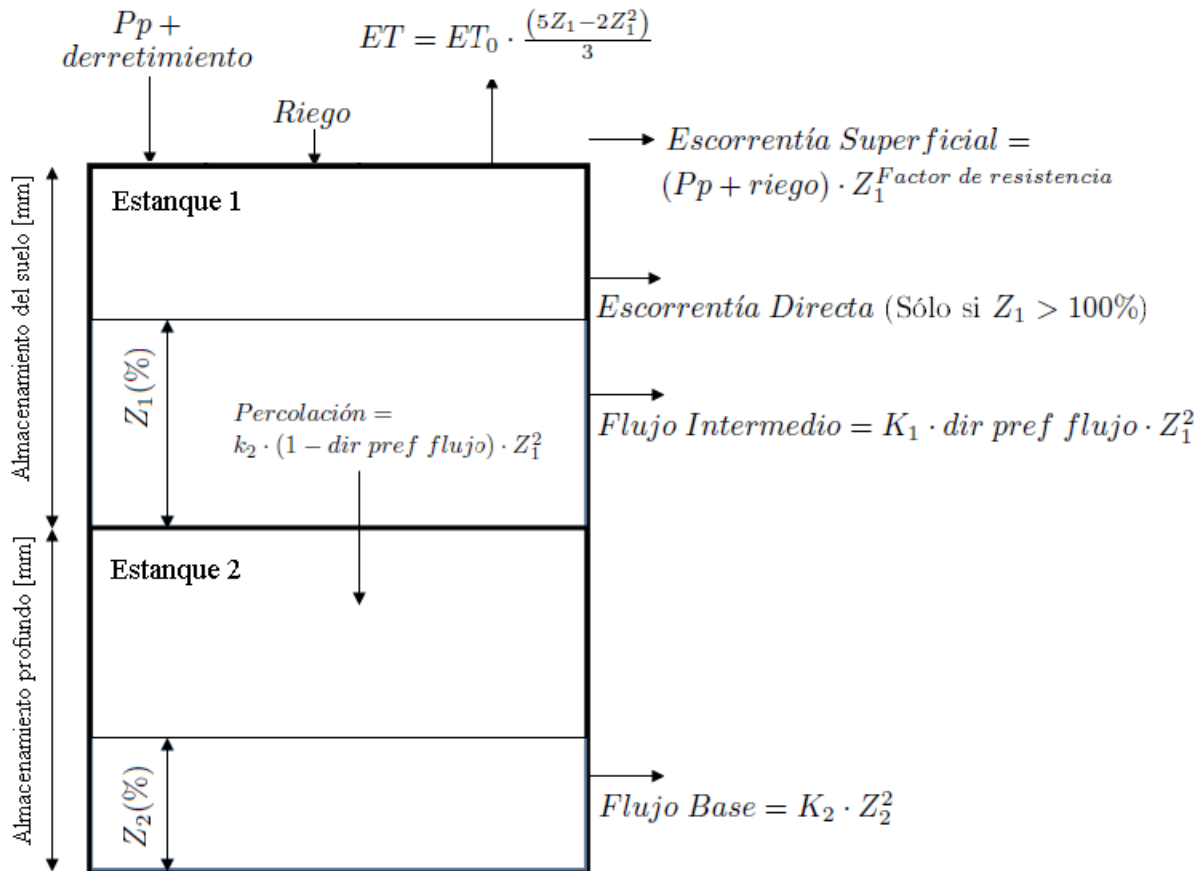


Figura 2.6: Esquema gráfico modelo WEAP.

Donde:

Pp : Precipitación líquida.

ET : Evapotranspiración real.

ET_0 : Evapotranspiración potencial.

z_1 : Porcentaje de la capacidad del estanque superior utilizada.

z_2 : Porcentaje de la capacidad del estanque inferior utilizada.

K_1 : Conductividad del estanque superior.

K_2 : Conductividad del estanque inferior.

$Dir\ pref\ flujo$: Dirección preferencial de flujo. Determina la fracción de flujo vertical y horizontal.

Tabla 2.12: Variables y parámetros utilizados por el modelo WEAP.

Uso de suelo	Variables de entrada	- Área de la cuenca - Coeficiente de cosecha (k_c)
	Parámetros internos del modelo (a calibrar)	- Almacenamiento del suelo, estanque superior (z_1 max) - Almacenamiento profundo, estanque inferior (z_2 max) - Conductividad de la zona radicular o estanque 1 (K_1) - Conductividad de la zona profunda o estanque 2 (K_2) - Factor de resistencia al escurrimiento (FR) - Dirección preferencial del flujo - Almacenamiento inicial en el estanque 1 (z_1 inicial) - Almacenamiento inicial en el estanque 2 (z_2 inicial)
Clima	Variables de entrada	- Series de precipitación - Series de temperatura - Latitud - Humedad relativa (puede ser omitida) - Viento (puede ser omitido) - Fracción nublada (puede ser omitida) - Radiación (puede ser omitida) - Albedo de la nieve (puede ser omitida)
	Parámetros internos del modelo (a calibrar)	- Nivel de nieve inicial - Temperatura de fusión de la nieve - Temperatura de derretimiento de la nieve - Albedo de nieve vieja - Albedo de nieve nueva
Cauces naturales	Variables de entrada	- Series históricas de caudal (para calibración)

WEAP resuelve numéricamente dos balances de masas planteados en cada estanque. Estos balances pueden ser resumidos mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$z_{1max} \frac{dz_1}{dt} = \left[P_e(t) - ET_o k_c \frac{z_1 - 2z_1^2}{3} \right] - P_e(t) z_1^{FR} - f K_1^2 - (1 - f) K_1^2 \quad \text{Ec. 1}$$

$$z_{2max} \frac{dz_2}{dt} = (1 - f) k_1^2 - K_2 z_2^2 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P_e : Precipitación más derretimiento.

f : Dirección preferencial del flujo.

El cálculo de la evapotranspiración (ET_0) se realiza mediante el método de Penman-Monteith, resumido según la ecuación 3.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia.

R_n : Radiación neta.

G : Densidad de flujo de calor del suelo.

T : Temperatura media diaria.

u_2 : Velocidad del viento a dos metros sobre el suelo.

e_s : Presión de saturación de vapor de agua.

e_a : Presión de vapor.

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor.

γ : Constante psicométrica.

La evapotranspiración en el modelo WEAP se genera desde el estanque superior. Por esto, el volumen de agua almacenado allí influye directamente en la satisfacción de la demanda evapotranspirativa y debe ser observado con cuidado en el proceso de calibración ya que distintas soluciones, correctas en la simulación de caudal, pueden entregar valores irreales de evaporación.

Otro proceso de importancia en la simulación del proceso físico corresponde a la acumulación y derretimiento de nieve. Esto se hace mediante la utilización de dos parámetros a calibrar denominados temperatura de congelamiento (T_c) y derretimiento (T_d). Teóricamente ambos corresponden a 0°C ; sin embargo, debido a fenómenos que están siendo dejados de lado en la modelación a nivel mensual, T_c y T_d son generalmente calibrados alrededor de -5 y 5°C respectivamente (US-SEI, 2010).

Los coeficientes de derretimiento y congelamiento determinan la proporción de agua líquida y sólida en la precipitación y la fracción de cobertura nival que se derrite en cada paso de tiempo. La ecuación 4 resume este último fenómeno.

$$P_e(t) = (A_c(t) + P_p(t)m_c) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_c \\ 1 & T_i > T_d \\ \frac{T_i - T_c}{T_d - T_c} & T_c < T_i < T_d \end{cases}$$

P_e : Aportes a la escorrentía de precipitación líquida y derretimiento de nieve.

A_c : Cobertura nival en unidades de longitud.

P_p : Precipitación total.

T_i : Temperatura media mensual del mes i.

3. Escalamiento Meteorológico y Escenarios Futuros

Una vez que se definen las cuencas de estudio, se hace un proceso de análisis y escalamiento de la información de modelos climáticos globales (GCM), para determinar escenarios futuros de precipitación y temperatura asociados a cada una de las cuencas presentadas en la Tabla 4.1, de la siguiente sección.

Para esto se efectúa un análisis actualizado de los GCM con información disponible para el período de análisis solicitado (2011 - 2070). Posteriormente se seleccionan, mediante criterios específicos, los GCM a utilizar. Los GCM seleccionados son sometidos a técnicas de escalamiento de los datos de precipitación y temperatura, hacia la estación meteorológica escogida para las cuencas del estudio. Según lo acordado en los términos de referencia del estudio, se analiza la información asociada tanto al escenario de emisiones de gases de efecto invernadero denominado SRES A2 como al RCP 2.6.

3.1.1 Selección de modelos y escenarios

En el Fourth Assessment Report emitido por el IPCC (International Panel on Climate Change) en 2007, se resumen los resultados de 24 modelos que conforman la principal fuente de información académica e institucional respecto a proyecciones climáticas futuras bajo los escenarios SRES (sigla en inglés de “Informe Especial de Escenarios de Emisión” del IPCC).

En la dirección web < http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DCC/html/SRES_AR4/index.html> se encuentran disponibles los resultados de los distintos modelos a una escala de tiempo mensual.

En base a un análisis de la disponibilidad de datos para el período de estudio (2011 - 2070) y de la longitud disponible de simulaciones de cada GCM, se pre-seleccionaron 12 modelos para este estudio, los cuales se detallan en la Tabla 3.1. Cada uno de estos modelos presenta resultados para varios escenarios, que provienen del análisis de emisiones futuras efectuado por el informe del IPCC publicado el año 2007. En términos de escenarios climáticos, para este estudio se utiliza el escenario más severo, correspondiente al A2⁶, por cuanto las estimaciones más recientes indican que las emisiones mundiales de los últimos cinco años incluso superan esta proyección.

⁶ El escenario A2 considera una familia de escenarios con una línea evolutiva del mundo muy heterogénea. Contempla una población mundial en continuo aumento. El crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

Una vez que se tienen los 12 GCM iniciales, se analiza la representatividad de cada uno de ellos, con respecto a la estación meteorológica base (San Gabriel) para el período concurrente de datos, denominado Línea Base. Todos los GCM de la Tabla 3.1 tienen un período de estimación de variables meteorológicas comprendido entre Ene/1950-Dic/1999, además de las proyecciones para el período Ene/2011-Dic/2070. Dado lo anterior, el período de Línea Base (LB) tendrá un máximo de 49 años (Ene/1950-Dic/1999), pero la longitud efectiva de comparación quedará definida por el período de registro de la estación meteorológica analizada (1982-1999).

Tabla 3.1: Selección inicial modelos climáticos globales (GCM).

Número	Centro de investigación	Acrónimo	Modelo
1	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (Canadá)	CCCma	CGCM3 (T47 resolution)
2	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australia)	CSIRO	Mk3.0
3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (EEUU)	GFDL	CM2.0
4			CM2.1
5	Institute for Numerical Mathematics (Rusia)	INM	CM3.0
6	Institut Pierre Simon Laplace (Francia)	IPSL	CM4
7	Max-Planck-Institut for Meteorology (Alemania)	MPI-M	ECHAM5-OM
8	Meteorological Research Institute (Japón)	MRI	CGCM2.3.2
9	National Center for Atmospheric Research (EEUU)	NCAR	CCSM3
10	National Center for Atmospheric Research (EEUU)	NCAR	PCM
11	National Institute for Environmental Studies (Japón)	NIES	MIRO3.2 medres
12	UK Meteorological Office (Reino Unido)	UKMO	HadCM3

Para analizar el comportamiento de cada GCM con respecto a la estación meteorológica seleccionada, y dado que éstos operan en grillas de resolución espacial relativamente baja, es necesario hacer un escalamiento meteorológico de la información, de manera de contar con datos a escala local, comparables con los datos medidos por las estaciones meteorológicas en estudio.

El escalamiento meteorológico considera la escala espacial y temporal de los GCM. Un esquema de las distintas escalas asociadas al problema de derivar variables a nivel local se muestra en la Figura 3.1

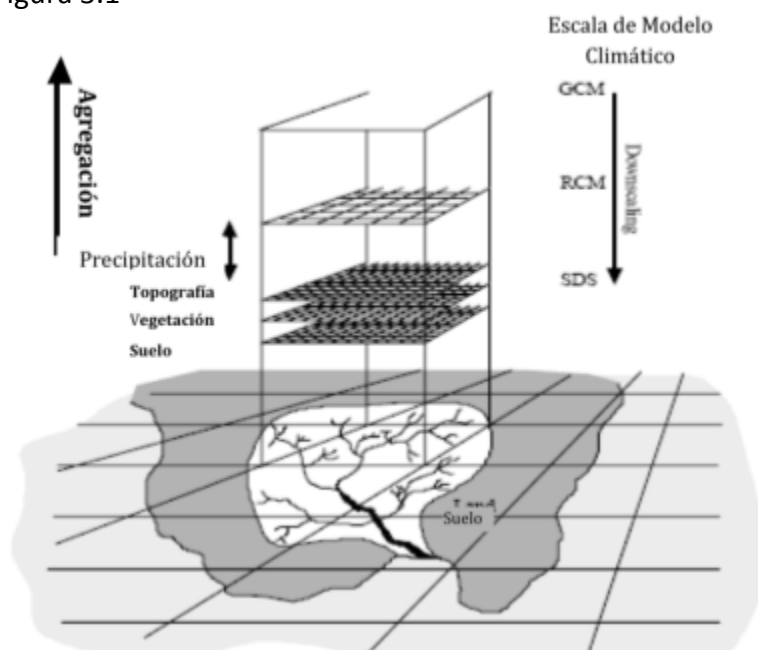


Figura 3.1: Esquema de escalamiento. Adaptado de Wilby et al. (1997).

El escalamiento espacial de los datos del GCM se realiza mediante una interpolación lineal de los valores asociados a la grilla del GCM, hacia el punto donde se encuentra la estación meteorológica analizada.

El escalamiento temporal de los datos del GCM se realiza mediante una comparación de las curvas de duración de los datos mensuales del GCM (ya escalados espacialmente) y de la estación meteorológica. Esto se hace correlacionando ambas series ordenadas de manera descendente, para el período común de registro o Línea Base, y utilizando la regresión obtenida de dicha correlación, para corregir los datos del GCM. Especial énfasis se da a la determinación del valor mensual umbral simulado que representa una precipitación nula en la estación. De esta manera se ajustan los datos que provienen del escalamiento espacial a los datos observados, no solo en magnitud, sino que también en estacionalidad.

Se espera que un GCM que represente de manera consistente la meteorología de una estación, muestre una correlación lineal fuerte en los gráficos comparativos de las curvas de duración, mencionados anteriormente. Estos gráficos han sido cuidadosamente

analizados, y se han escogido 3 modelos GCM para el análisis. El criterio de selección fue que la estacionalidad de las precipitaciones del modelo GCM fuera la observada en el lugar, que las correlaciones presentaran un coeficiente de determinación mayor a 0.85 y que la distribución y ajuste de los respectivos puntos fuera la mejor, esto es, que no se presentaran inconsistencias respecto a que para un mismo valor de precipitación o temperatura simulado se le ajustaran distintos valores de la variable observada, que la nube de puntos fuera lo suficientemente dispersa y acotada en torno a la recta, para evitar casos de concentraciones de puntos en un sector y un punto alejado, que también poseen buenos ajustes, pero que no dan cuenta de una relación fuerte y significativa.

En resumen, el procedimiento de escalamiento para el escenario A2 fue el siguiente:

1. Escalamiento espacial de cada GCM a la estación meteorológica.
2. Generación de gráficos de correlación de curvas de duración a nivel mensual, para el período de Línea Base.
3. Extracción del coeficiente de determinación (R^2 , siendo R el coeficiente de correlación) de cada regresión lineal aplicada a los gráficos generados en el punto anterior.
4. Selección de los GCM a seleccionar, en base a criterios aplicados a los coeficientes R^2 mensuales de cada modelo más análisis cualitativo.
5. Escalamiento temporal de los GCM seleccionados en el punto anterior a la estación meteorológica de estudio.

En base a este procedimiento y análisis se seleccionaron 3 modelos GCM para el Escenario A2, los que se presentan en la Tabla 3.2. Por su parte, en Anexo III se entregan los ajustes entre las curvas de duración de los modelos GCM con los datos observados de la estación San Gabriel (1982-1999).

Tabla 3.2: Selección Final Modelos Climáticos Globales para el Análisis del Escenario A2.

Número	CODIGO	Centro de investigación	Acrónimo	Modelo
1	GCM1	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (Canadá)	CCCma	CGCM3 (T47 resolution)
2	GCM2	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australia)	CSIRO	Mk3.0
5	GCM3	Institute for Numerical Mathematics (Rusia)	INM	CM3.0

Destacar esta selección es importante, pues los primeros estudios relativos a la estimación del impacto del calentamiento global sobre los recursos hídricos, en particular sobre Chile, fueron efectuados tomando como base la información del modelo de circulación general

HadCM3. Este modelo era el único que presentaba información de precipitación, temperatura y otras variables climáticas desde el año 1950 hasta el año 2100. Si bien el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad De Chile desarrolló su propio modelo regional denominado PRECIS-DGF, el cual tenía una mejor resolución y además utilizaba justamente la información del modelo HadCM3 como condición de borde, este sólo entregaba los resultados de la simulación en la ventana del 2070-2100, por lo que no permitía estimar los impactos en un futuro cercano o de mediano plazo.

Conforme diversos Centros de Investigación fueron liberando la información de sus simulaciones, nuevos modelos fueron considerados para re-evaluar los impactos estimados con HadCM3, producto de que éstas eran bastante severas, y también como medida de cuantificar la incertidumbre asociada a esta estimación (desde un punto de vista estadístico).

Algunos de estos nuevos modelos mostraron tener una mejor bondad de ajuste que HadCM3. Representando mejor la estacionalidad de los procesos, haciendo que los ajustes mensuales del “downscaling” temporal tuvieran relaciones de transformación bastante más robustas.

En general, se ha encontrado que los resultados de las estimaciones obtenidas con HadCM3 son una cota superior. En particular, el modelo HadCM3 fue descartado por simular precipitaciones importantes en el período de verano con magnitudes similares a las del período invernal; por otra parte, en muchos meses los ajustes presentaban gran dispersión a pesar de obtenerse valores de R^2 superiores a 0,9 y en particular en el mes de Junio el coeficiente de determinación era uno de los más bajos. También el modelo ECHAM5-OM que ha sido utilizado en recientes estudios en Chile para otros escenarios de cambio climático fue descartado por no entregar la estacionalidad adecuada en las precipitaciones y valores de R^2 inferiores a 0,9 en más de dos meses.

Los nuevos modelos considerados han permitido precisar más esta brecha y son finalmente los que han sido escogidos una vez aplicado el proceso de selección para este estudio bajo el escenario A2.

Buscando una referencia comparable, pero más favorable desde el punto de vista de los impactos, se han considerado los lineamientos acordados entre veinte de los centros meteorológicos más relevantes en el año 2008 en el marco del proyecto CMIP5⁷, que han

⁷ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5: Proyecto de Comparación de Modelos acoplados – Fase 5.

definido nuevos escenarios para la elaboración de los modelos, conocidos como *Representative Concentration Pathways (RCP)*. Los RCP – patrones de concentración representativos – no representan nuevos escenarios integrados (es decir, no son un conjunto de condiciones socioeconómicas, emisiones y proyecciones climáticas) sino que son un set de proyecciones solamente de las forzantes radiativas. Estas forzantes son las responsables del cambio de radiación neta que permanece en la atmósfera y que se espera sirva como parámetros de entrada para los modelos climáticos. Conceptualmente, el modelo comienza con condiciones radiativas y no socioeconómicas o de escenarios, puesto que se reconoce que un mismo resultado puede ser alcanzado por diferentes combinaciones de factores sociales, demográficos y tecnológicos. El escenario considerado más favorable es el denominado RCP 2.6 que considera que se alcanza un valor extremo de 3.0 W/m^2 el cual luego se reduce hasta alcanzar un valor de 2.5 W/m^2 en el año 2100.

Para el análisis del escenario RCP 2.6 el modelo seleccionado fue el CSIRO- Mk3.6, correspondiente a la nueva versión del modelo Mk3.0. Esto debido a que de los 3 modelos escogidos para el escenario A2, CSIRO era el único que además tenía información disponible para el período seleccionado (2010-2070) bajo las condiciones del escenario RCP 2.6.

3.1.2 Generación de escenarios futuros (precipitación y temperatura)

A partir de los GCM seleccionados para el estudio, se estiman las series futuras de precipitación y temperatura para la estación meteorológica del estudio. Tal como se explica en la sección anterior, estas series se determinan a partir de un escalamiento espacial y uno temporal de la serie futura del GCM.

Para el escenario SRES A2 el escalamiento espacial se lleva a cabo mediante una interpolación lineal de los datos del GCM mientras que en el caso del escenario RCP 2.6 éste se realiza considerando una ponderación por el inverso de la distancia. El escalamiento temporal, en ambos escenarios, se realiza a nivel mensual o estacional, a partir de las regresiones lineales de los gráficos de curvas de duración de las variables observadas (de la estación meteorológica) y modeladas (del GCM) en el período de Línea Base (1982-2000).

Así, se genera, para la estación, un conjunto de series futuras de precipitación y de temperatura, para cada GCM seleccionado. Estas series constituyen la base meteorológica para la distribución de precipitación y temperatura de cada subcuenca del sistema, y con esto las entradas a los modelos hidrológicos, con lo cual se estiman las series futuras de caudal, para cada subcuenca, para cada GCM analizado.

En anexos se puede revisar la información de las series meteorológicas de precipitación y temperatura respectivamente, debidamente escaladas de acuerdo a la metodología explicada en este capítulo (Anexo I-A y I-B).

4. Construcción Modelo Hidrológico

4.1 Metodología de Calibración

La etapa de calibración consiste en encontrar el mejor conjunto de valores de parámetros, de tal manera que los valores de caudal medio mensual simulados por el modelo se asemejen a los caudales medios mensuales observados en la estación fluviométrica correspondiente; se comparan además las curvas de duración de los caudales medios mensuales y los caudales medios mensuales promedios en el período. La calibración implementada en este estudio fue de tipo manual (ensayo y error). Una vez que el modelo está calibrado, se pasa a la etapa de validación, que consiste en operar el modelo con los parámetros ya calibrados, y comparar los caudales medios mensuales simulados, los valores promedios mensuales y las curvas de duración con los respectivos valores observados a la salida de la cuenca en el período de validación.

Se evalúa el ajuste de los caudales simulados a los observados mediante el coeficiente de Nash-Sutcliffe. Éste se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NS=1-\sum_{i=1}^n \frac{(Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{(Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs_i})^2}$$

En donde Q_{obs_i} y Q_{sim_i} corresponde al caudal observado y simulado del mes i , respectivamente, y $\bar{Q}_{obs}$ representa el caudal mensual promedio observado del mes i .

El indicador de Nash-Sutcliffe es una medida del error en las estimaciones del modelo normalizado por la varianza de los valores observados. Puede tomar valores desde $-\infty$ a 1 siendo este último valor un indicador de una perfecta modelación del sistema. Usualmente, un valor de 0.7 o más corresponde a una modelación adecuada. Este índice es utilizado en conjunto con el indicador Nash-Sutcliffe Logarítmico (NS-Log), el que se calcula de la misma manera que el anterior, pero con los logaritmos de los valores observados y simulados. Este índice trata de solucionar la alta sensibilidad a los valores extremos que posee el NS, puesto que aplanar los peaks de caudal y mantiene los flujos base más o menos al mismo nivel. Con esto se consigue un mayor aporte o peso relativo de los flujos base sobre los “peaks”, sensibilizando el índice tanto a las sobre o sub estimaciones del modelo hidrológico analizado.

Además de este indicador, el modelo se evalúa en función del coeficiente de correlación entre los datos mensuales observados y simulados tanto a nivel mensual como anual.

Es importante destacar que los parámetros a calibrar son aproximadamente 22 para cada sistema, por lo cual es necesario un mínimo de 220 datos observados en caudales y variables meteorológicas (equivalentes a 18 años de información registrada). Esta condición puede ser entendida como la búsqueda de la parsimonia del modelo, ya que cada parámetro debe ser ajustado considerando al menos 10 valores observados. El período de calibración considera los 18 años (Abril 1982 – Marzo 2000) y como período de validación se considera 5 años (Abril 2000 a Marzo 2005).

En lo que sigue se presentan los resultados de la calibración de los modelos hidrológicos en cada sistema. Se presentan figuras con la serie de tiempo de caudales medios mensuales observados y simulados (distinguiendo el período de calibración y el de validación), valores promedios de caudales medios mensuales observados y simulados en el período completo, la curva de duración de los caudales medios mensuales, y los gráficos de correlación entre los caudales medios mensuales y medios anuales observados y simulados en cada sistema.

Estos gráficos sirven para corroborar la buena estimación de la estacionalidad y dispersión del modelo calibrado, tanto a nivel mensual, como a nivel anual (que es relevante pues se refiere a la cantidad total de agua simulada). Luego, en la sección de los comentarios del proceso de calibración, se presenta una tabla que resume los indicadores de eficiencia de los modelos.

4.2 Discretización Espacial de Cuencas

Para construir el modelo hidrológico descrito en el acápite 2.4 del presente informe en cada una de las cuencas seleccionadas se planteó un esquema semidistribuido dependiente de variables meteorológicas de entrada medidas en las estaciones base de precipitación y temperatura.

Los datos de precipitación y temperatura sugieren que la distribución espacial de estas variables tiene una marcada relación con la altitud. Esto concuerda con varios trabajos anteriores (Vargas, 2009; Vicuña, 2011) en otras cuencas andinas chilenas. Además, dado que se requiere conocer las series de tiempo de caudales en las estaciones fluviométricas de control descritas en el punto anterior, es necesario definir las subcuencas apropiadas a estos puntos de interés. Por esto, se discretizaron las cuencas seleccionadas en diferentes bandas de elevación de igual área, considerando que la cota media de cada banda

corresponde a la altitud de su centro de gravedad y además se definieron 2 sistemas a modelar:

- El sistema Colorado (C), definido por la cuenca aportante a la estación fluviométrica Colorado antes de junta con Maipo (CAJM); y,
- El sistema Maipo (M), definido por la cuenca aportante a la estación fluviométrica Maipo en San Alfonso (MSA). Las subcuencas que conforman cada sistema se presentan en la junto a sus características geomorfológicas más relevantes.

Las propiedades geomorfológicas de estas subcuencas se presentan en la Tabla 4.1. Mientras que las características de elevación media de cada banda y su respectiva área se presenta en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 respectivamente.

Tabla 4.1: Propiedades geomorfológicas de las subcuencas de los sistemas Maipo (M) y Colorado (C).

Subcuenca	Sist.	L. Cauce (km)	Smed (%)	Hmin (m)	Hmed (m)	Hmax (m)	Desniv (m)	Área (km ²)	Tc (hr)
CAJM	C	67.3	53.8	910	3416.2	6530	5620	1660.8	4.4
CAJO	C	38.9	55.9	1533	3737.1	6530	4997	783.2	2.5
OAJC	C	49.2	55.5	1570	3685.8	6045	4475	538.9	3.4
AEY	M	18.4	56.2	2559	3710.3	6103	3544	301.9	1.2
VEQ	M	34.8	52.6	1303	3372.4	6099	4796	524.9	2.2
MSA	M	74.2	51.5	1079	3186.6	6099	5020	2812.4	5.2
MELM	M	58.0	52.5	1423	3192.7	5358	3935	1461.4	4.3

Donde:

L. Cauce: Longitud del cauce principal.

S med: Pendiente media (%)

H min, H med, H max: Elevación mínima, media y máxima en m.s.n.m

Des: Desnivel (m)

Tc: Tiempo de Concentración de la cuenca según California (hr).

CAJO: Subcuenca Colorado antes Junta con Olivares.

OAJC: Subcuenca Olivares antes junta con Colorado.

AEY: Subcuenca Afluente Embalse El Yeso.

VEQ: Subcuenca Volcán en Queltehues.

MELM: Subcuenca Maipo en Las Melosas.

Tabla 4.2: Cotas medias (m.s.n.m) de bandas de elevación en cuencas seleccionadas.

Subcuenca	Banda 5	Banda 4	Banda 3	Banda 2	Banda 1
CAJM	2011	2888.0	3510	3983	4634
CAJO	2683	3336.0	3731	4109	4816
OAJC	2471	3232.0	3780	4191	4689
AEY	2967	3359.0	3653	3970	4525
VEQ	2330	2992.0	3388	3725	4395
MSA	2199	2859.0	3227	3551	4050
MELM	2350	2925.0	3253	3531	3965

Tabla 4.3: Áreas (km²) de las bandas de elevación en cuencas seleccionadas.

Subcuenca	Banda 5	Banda 4	Banda 3	Banda 2	Banda 1
CAJM	332.0	332.2	332.1	332.2	331.7
CAJO	156.9	156.7	157.2	156.7	156.9
OAJC	107.7	107.8	107.7	107.7	107.8
AEY	60.4	60.3	60.5	60.3	60.3
VEQ	104.9	105.0	104.9	105.0	104.9
MSA	562.2	563.2	561.5	562.7	561.8
MELM	295.9	296.5	295.3	296.0	296.0

4.3 Distribución de las Variables Meteorológicas

A partir de los gradientes mensuales presentados en la sección 2.2.4, se distribuyen las variables de precipitación y temperatura a cada una de las bandas de elevación de las cuencas, según su elevación media, utilizando como base la información mensual de su estación meteorológica representativa (San Gabriel (Pp) y Pirque (T)). Como en este caso de las cuencas con gradientes anuales, se hace una distribución a nivel anual de precipitación y temperatura a cada una de las bandas, en función de la información anual de la estación base, y se distribuye dicho valor a nivel mensual, según la distribución temporal de dicha estación.

4.4 Aporte de Caudales de Glaciar por Sistema

Para traducir el área glaciar identificada en sección 2.2.5, para ambas cuencas, se utilizó el rendimiento unitario reportado tanto en el informe de CONIC-BF (2008) como en el GCAM (2007). Dicho rendimiento está basado en aforos efectuados a las cuencas de régimen

nival y serán tomados como válidos tanto para la cuenca Afluente Embalse El Yeso y para Volcán en Queltehues.

Tabla 4.4: Rendimientos unitarios considerados para los aportes glaciares.

MES	Rend. Unitario (m ³ /s/km ²)
SEP	0.0211
OCT	0.0305
NOV	0.1875
DIC	0.3848
ENE	0.5096
FEB	0.4267
MAR	0.2272
ABR	0.1322
MAY	0.0520
JUN	0.0242
JUL	0.0211
AGO	0.0211

Este aporte fue considerado como un aporte constante en la calibración del modelo, proveniente de la banda de elevación de la parte más alta de la cuenca. Para las simulaciones futuras se evaluaron escenarios que permiten modelar una reducción del área glaciár y estimar el impacto en los recursos debido a la reducción de los caudales glaciares.

Finalmente, se presentan los modelos conceptuales adoptados para el sistema Maipo y Colorado. La Figura 4.1 muestra el esquema conceptual en WEAP del sistema Maipo, mientras que la Figura 4.2 lo hace para el sistema Colorado.

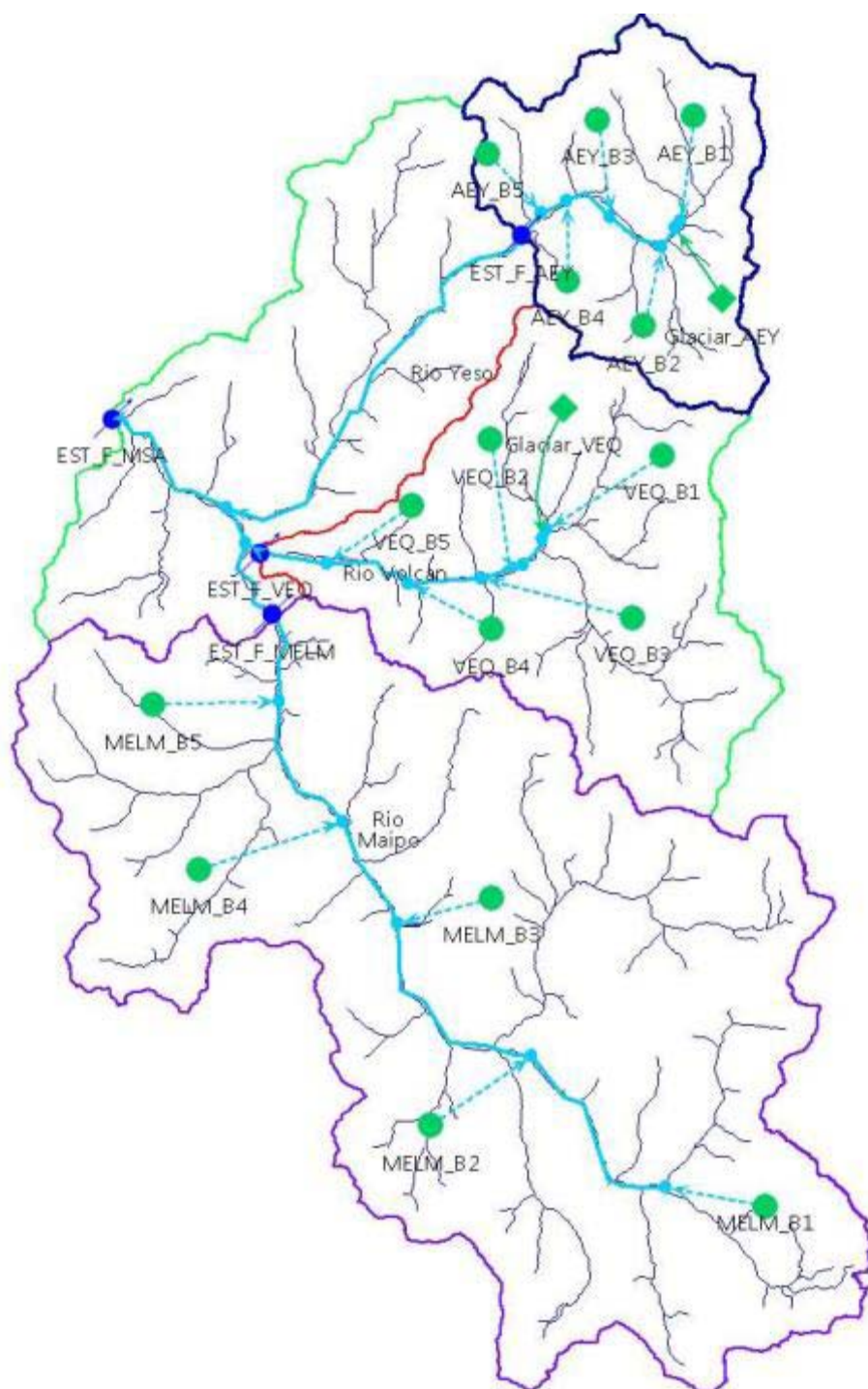


Figura 4.1: Esquema Conceptual adoptado en WEAP para el Sistema Maipo.

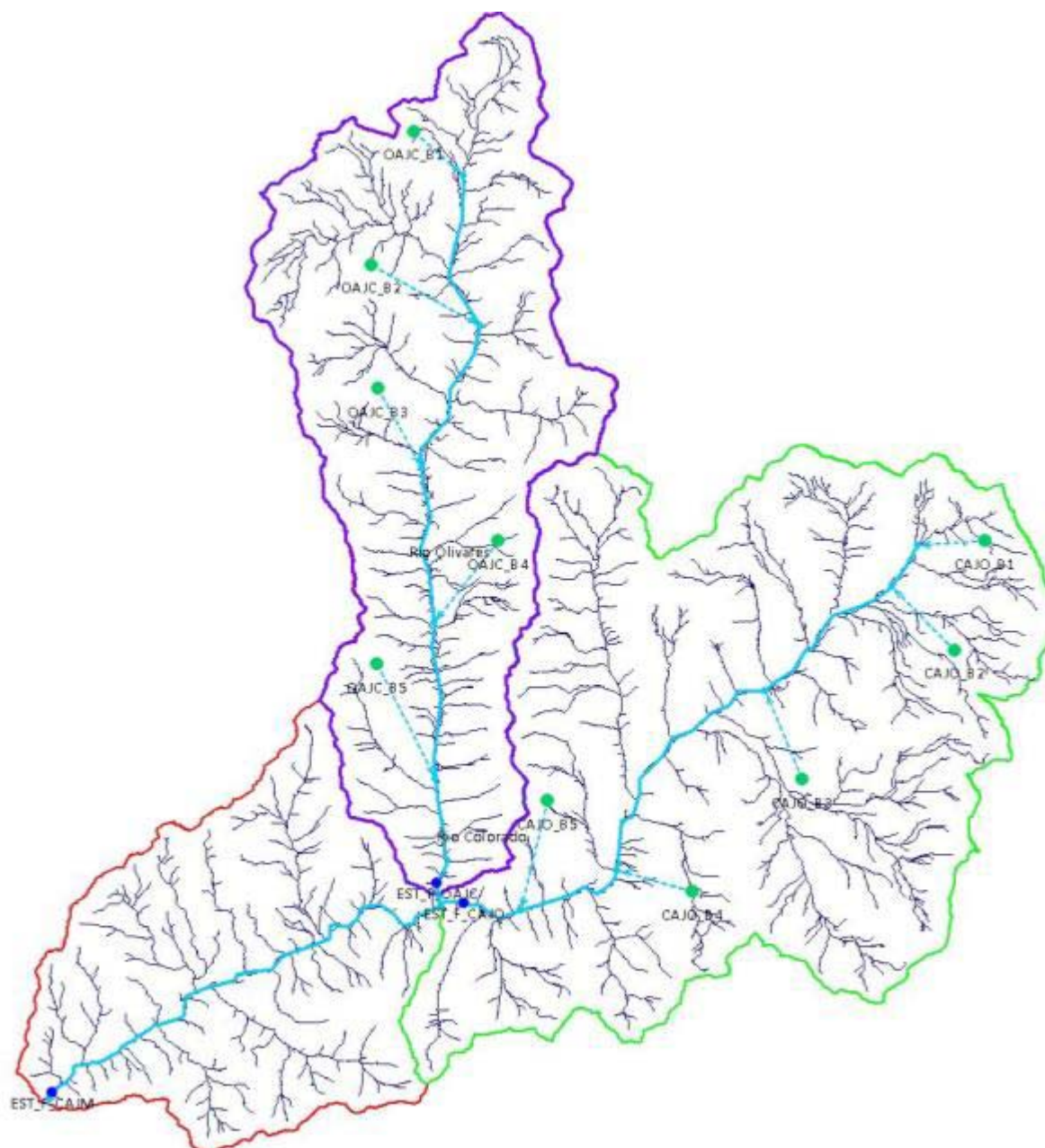


Figura 4.2: Esquema Conceptual adoptado en WEAP para el Sistema Colorado.

4.5 Resultados de Calibración de Modelos Hidrológicos

Los resultados de la calibración se han subdividido para los 2 sistemas representados: Maipo y Colorado. Tal como se ha explicado anteriormente, el Sistema Maipo está definido por las subcuencas Maipo en las Melosas (MELM), Volcán en Queltehues (VEQ) y la cuenca Afluente Embalse El Yeso (AEY). Además de estas 3 subcuencas, está también la hoya intermedia de la cuenca (HIM), cuya calibración se lleva a cabo a base de la calibración de la cuenca Maipo en San Alfonso (MSA).

En el caso del Sistema Colorado, compuesto por las subcuencas Olivares antes de junta con Colorado (OAJC) y Colorado antes de junta con Olivares (CAJO), también se ha calibrado su hoya intermedia (HIC). En este caso, la calibración de HIC, tuvo como objetivo el correcto ajuste del modelo a la estación Colorado antes de junta con Maipo (CAJM), estación que define el sistema Colorado.

El proceso de calibración consta de la presentación de una figura por subcuenca que muestra la serie de caudales medios mensuales simulados y observados tanto para el período de calibración (Abril 1982 – Marzo 2000) como para el período de validación (Abril 2000 a Marzo 2005). Adicionalmente se muestra el ajuste de los caudales medios mensuales para el año hidrológico promedio, que muestra el ajuste de la estacionalidad del modelo; la curva de duración de los caudales medios mensuales, gráfico que tiene por objetivo evaluar el comportamiento del modelo para la estimación de los caudales asociados a probabilidades de excedencia características; y los gráficos de los caudales observados y simulados a nivel medio mensual y anual con su respectivo coeficiente de determinación.

Adicionalmente, se presentan las curvas de variación estacional (CVE) obtenidas para cada Subcuenca en línea base (LB). Estas se agrupan en 2 imágenes que representan la CVE con los datos observados (OBS) y con los datos simulados en LB (SIM).

Finalmente, luego de la presentación de los resultados del proceso de calibración, se presentan los indicadores de bondad de ajuste y parámetros de eficiencia para los procesos de calibración y validación de todas las cuencas modeladas.

4.5.1 Sistema Maipo

4.5.1.1 Subcuenca Maipo en las Melosas

Según se aprecia en la **Figura 4.3**, en el caso de la Subcuenca MELM, existe una ligera sub estimación en el período de deshielo (zona del máximo), sin embargo la calibración indica que los caudales medios anuales y la curva de duración en el período de calibración están correctamente estimados. En particular los valores de caudal para probabilidades de excedencia mayor al 10% están correctamente estimados, mientras que los caudales máximos son difíciles de reproducir.

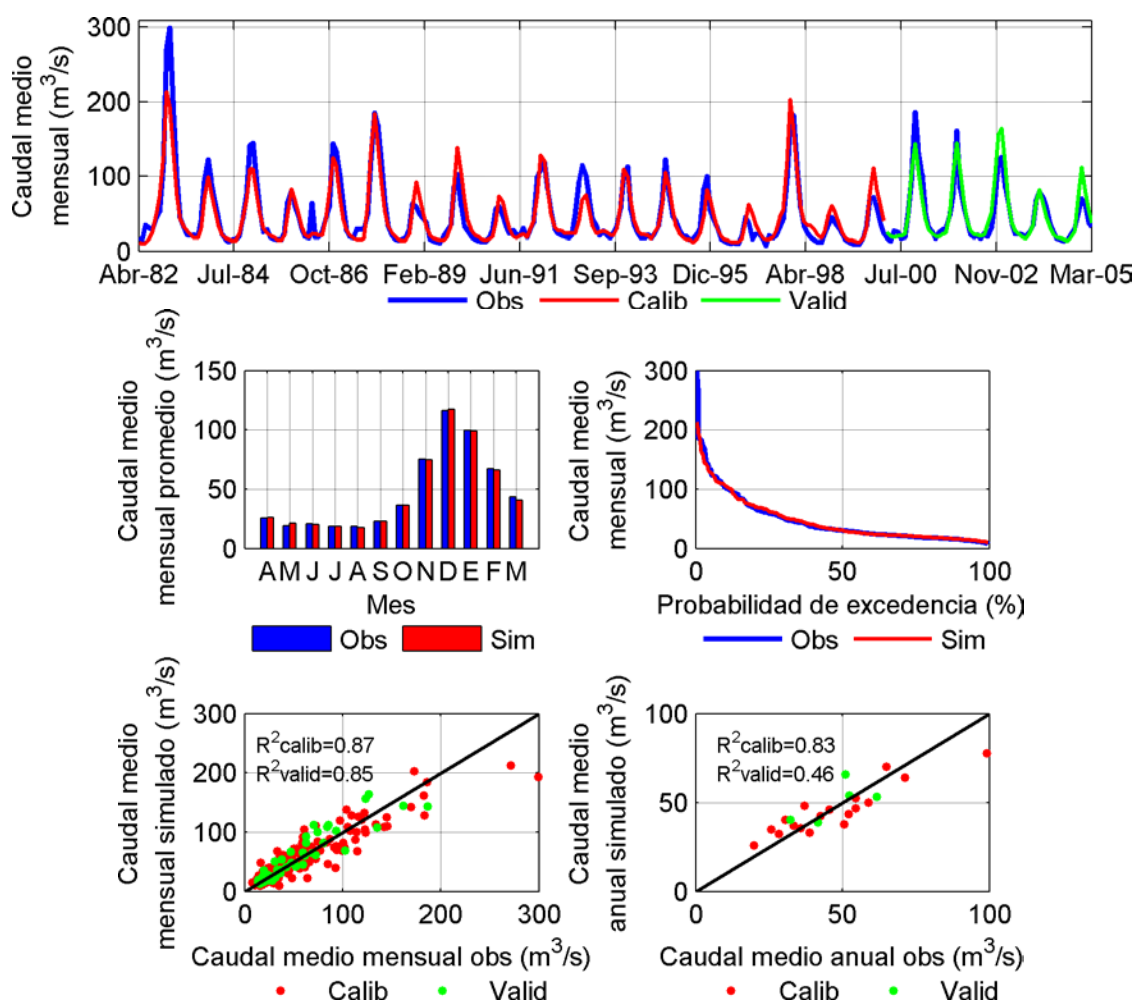


Figura 4.3: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Maipo en Las Melosas.

Por su parte, en las curvas de variación estacional, que se muestran en la Figura 4.4, se observa que para la probabilidad de excedencia 5%, que representa una condición de año húmedo, éstas no se reproducen de manera adecuada mientras que para probabilidades mayores el ajuste es razonable.

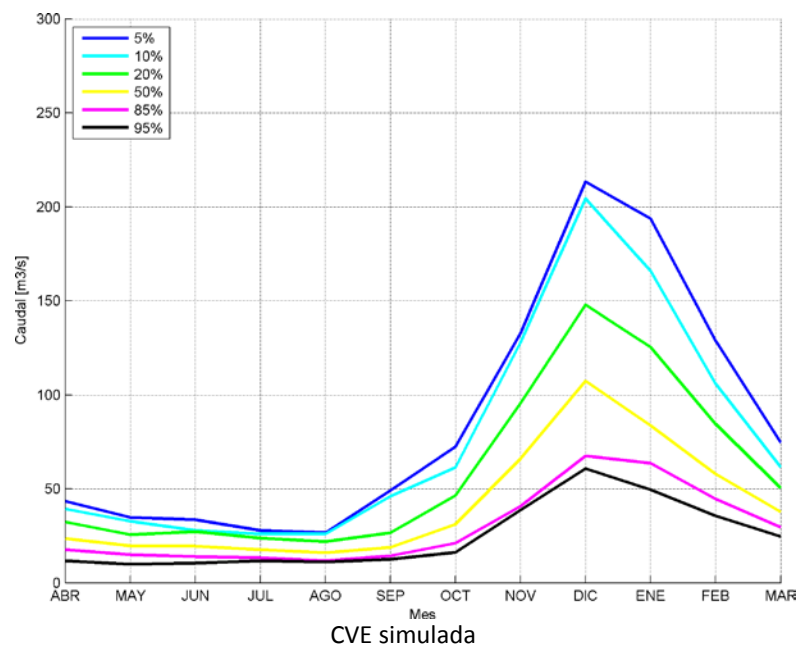
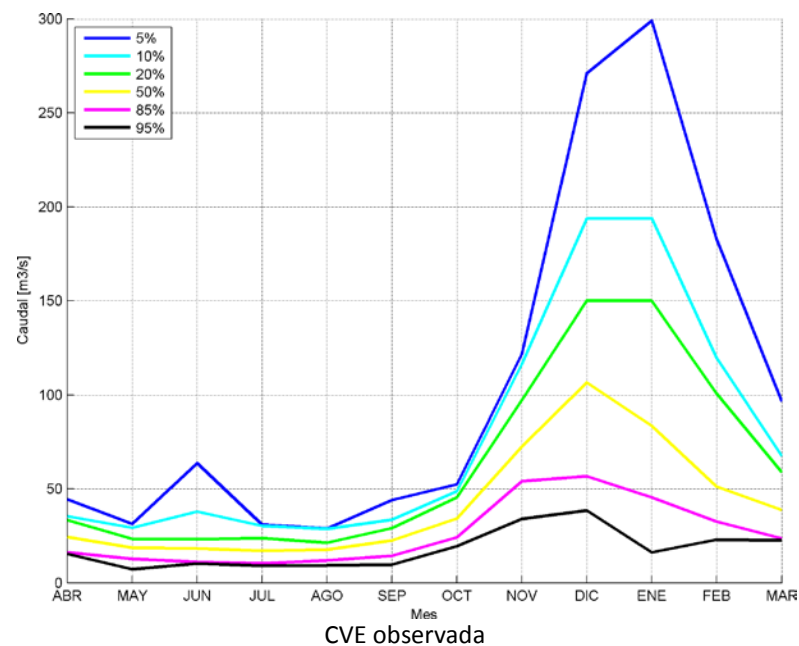


Figura 4.4: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Maipo en las Melosas

4.5.1.2 Subcuenca Volcán en Queltehues

Tal como se aprecia en la **Figura 4.5**, en el caso de la Subcuenca VEQ, la estacionalidad del año promedio está correctamente estimada, la curva de duración de los caudales medios mensuales presenta un buen ajuste, y los caudales medios anuales muestran una buena estimación y mejor validación.

En las curvas de variación estacional mostradas en la Figura 4.6 se aprecia que solo la curva simulada en el período de registro asociada a una probabilidad de 10% parece estar sobreestimada, al igual que el valor del mes de Diciembre asociado a una probabilidad de 85%.

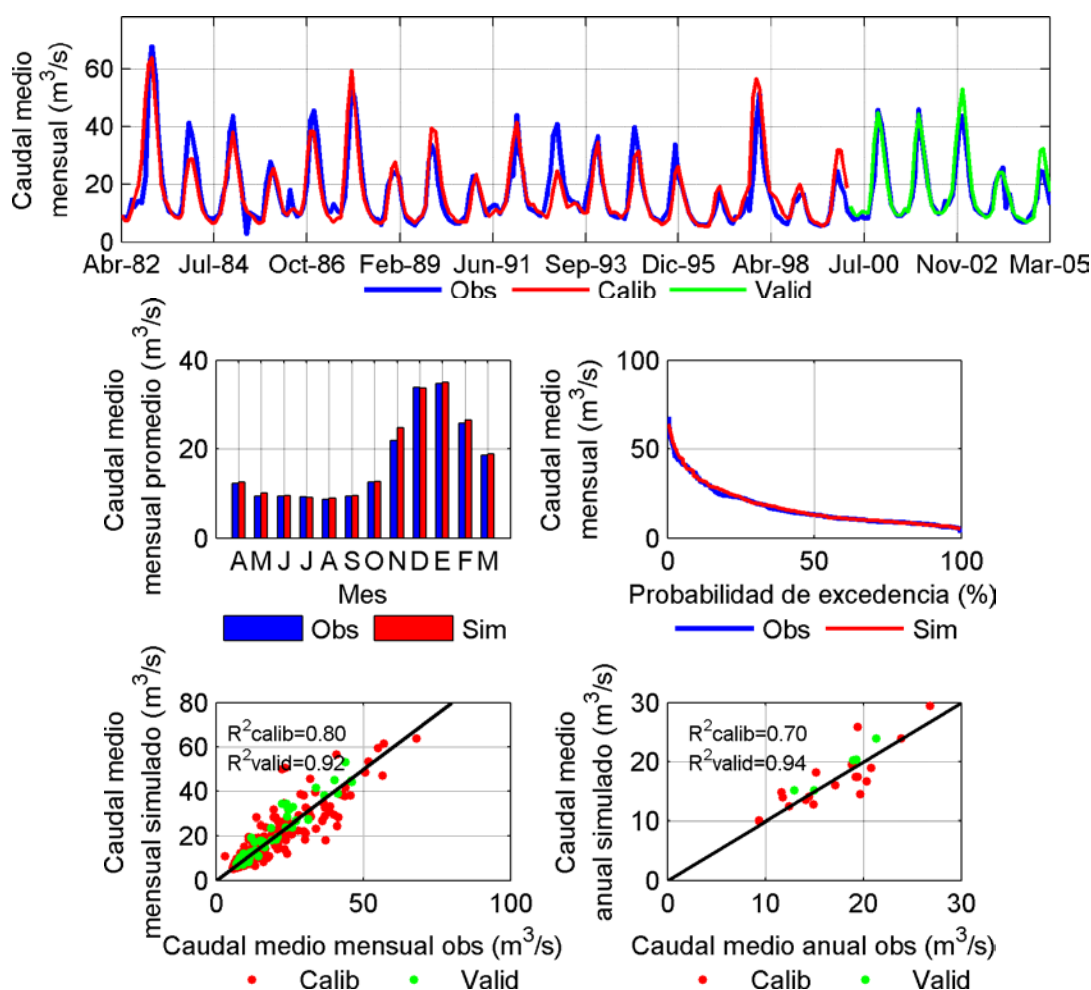


Figura 4.5: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Volcán en Queltehues.

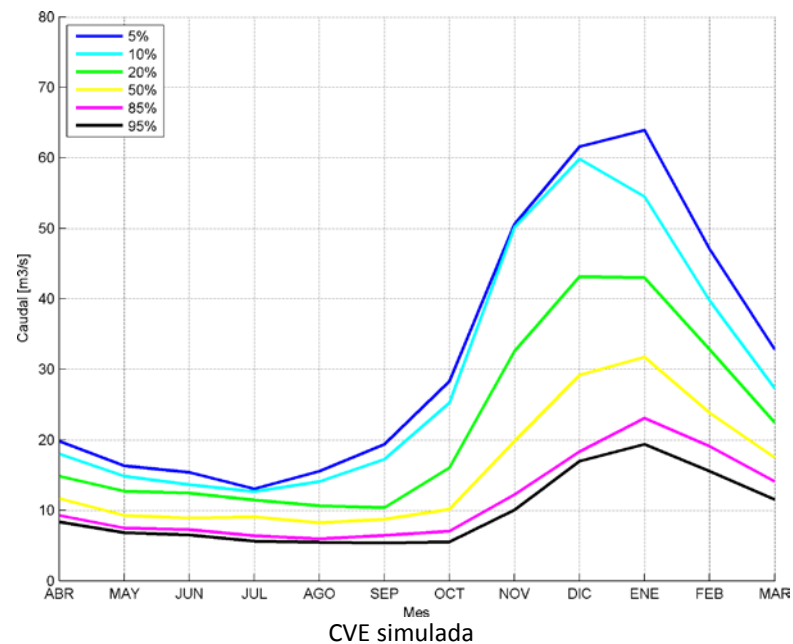
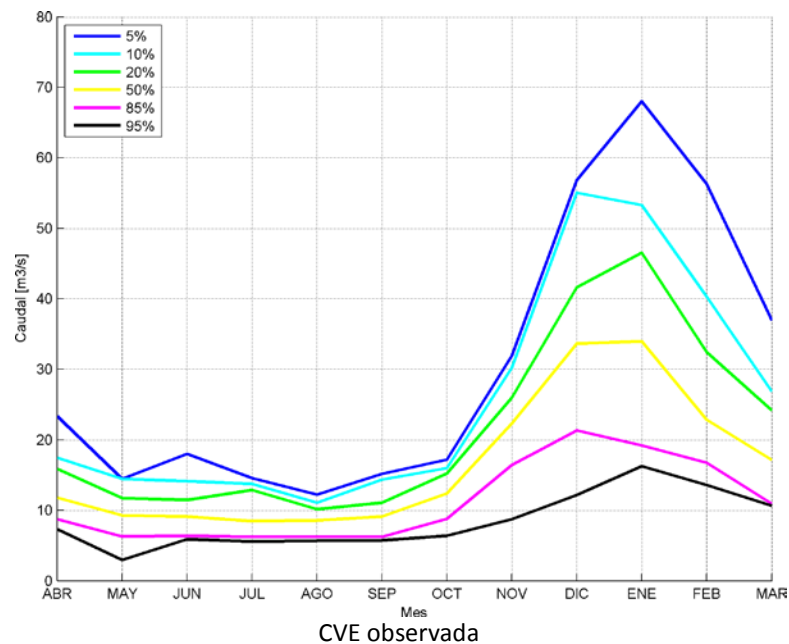


Figura 4.6: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Volcán en Queltehues.

4.5.1.3 Subcuenca Afluyente al embalse el Yeso

Según se observa en la Figura 4.7, para la Subcuenca AEY, existe un ajuste correcto en la estacionalidad, con una leve sub-estimación de los máximos caudales en el período de deshielo. La curva de duración presenta un ajuste aceptable, ligeramente sub estimada para probabilidades de excedencia altas. En el caso de los caudales medios anuales, estos presentan un correcto ajuste tanto en el período de calibración como de validación.

Las curvas de variación estacional que se muestran en la Figura 4.8 ratifican lo expresado sobre la subestimación de los valores observados en el período de deshielo, en particular en el mes de máximo caudal y en la zona de recesión. Se aprecia además que para probabilidades de excedencia alta los caudales medios mensuales son ligeramente sobreestimados durante todo el año por el modelo hidrológico.

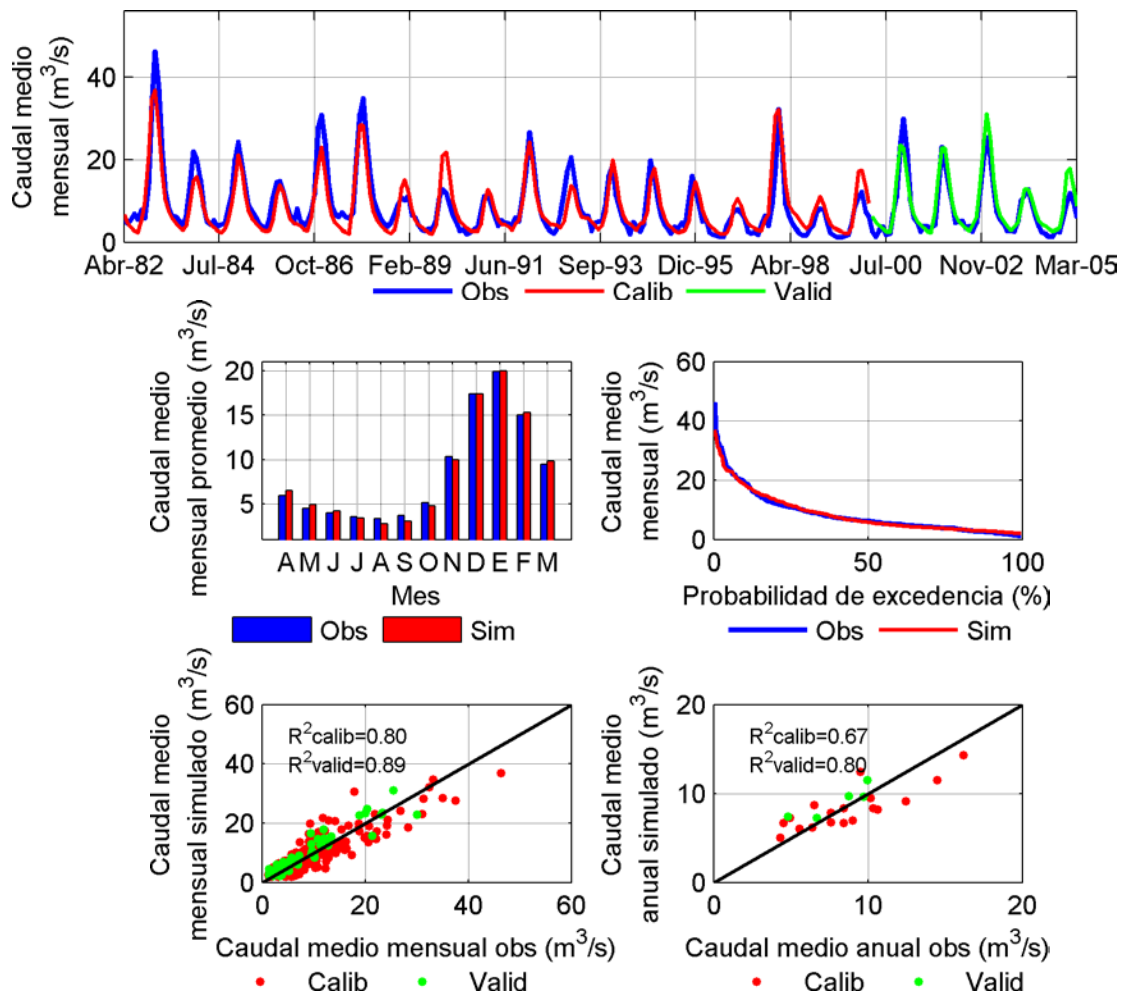


Figura 4.7: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Afluyente Embalse El Yeso.

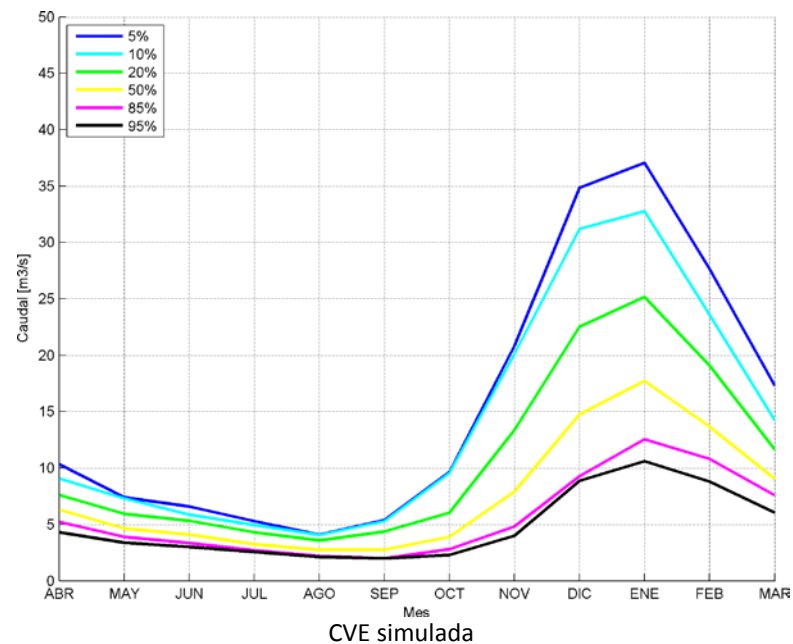
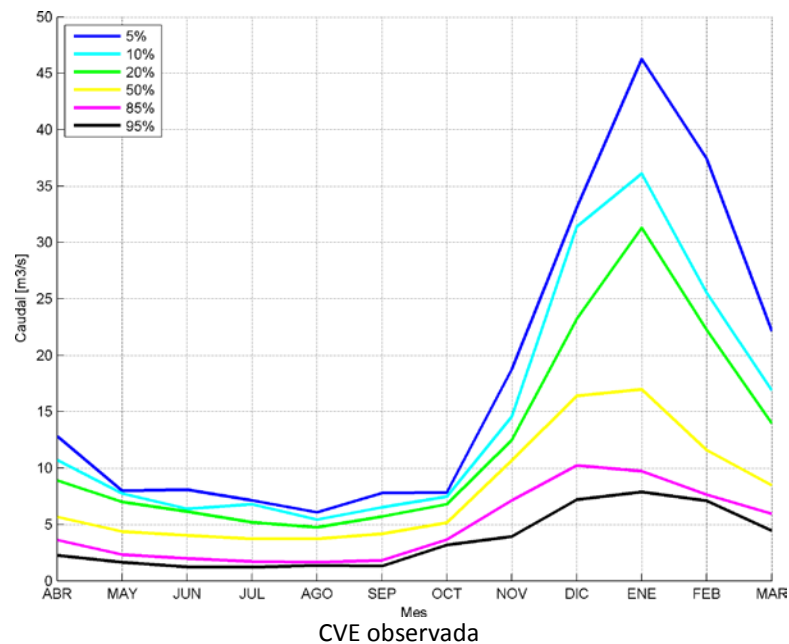


Figura 4.8: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Afluyente Embalse El Yeso.

4.5.1.4 Maipo en San Alfonso

La Figura 4.9 muestra el resultado del proceso de calibración para la cuenca Maipo en San Alfonso. Esta cuenca es la que define el sistema Maipo, por lo que este proceso de calibración es el resultado de la integración de las calibraciones de las cuencas de cabecera de los puntos anteriores y de la hoya intermedia. Se puede apreciar que el proceso de calibración resulta adecuado, ya que tanto la estacionalidad como la curva de duración es correctamente representada aunque se observa una leve subestimación de los máximos caudales medios mensuales.

Las curvas de variación estacional que se presentan en la Figura 4.10 indican que el modelo hidrológico sobreestima levemente los máximos caudales medios mensuales en el período de deshielo para probabilidades de excedencia altas mientras que estos son subestimados para las probabilidades de excedencia bajas, dado que nuevamente hay un caudal extremo que el modelo no puede reproducir, al igual que en el caso del subsistema AEY.

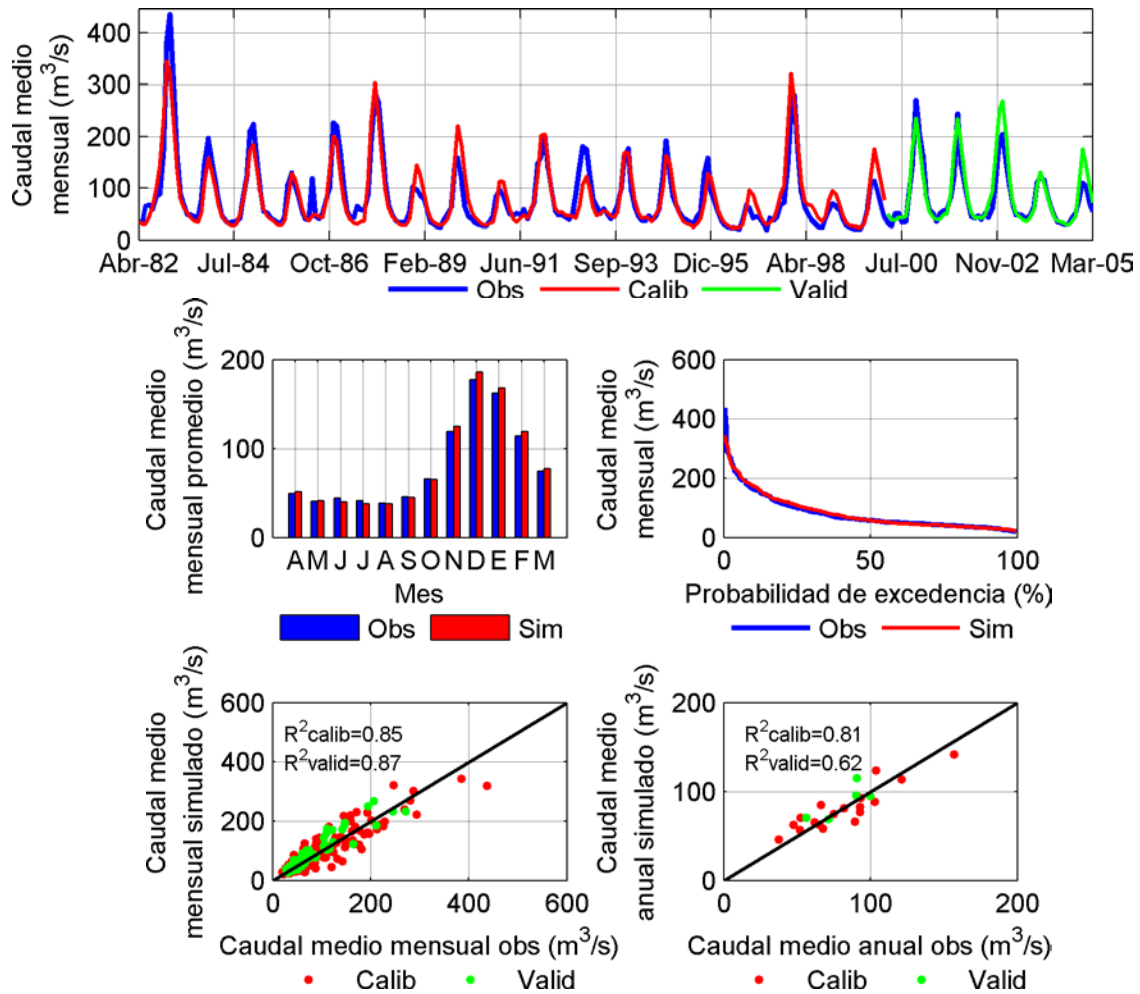


Figura 4.9: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Maipo en San Alfonso.

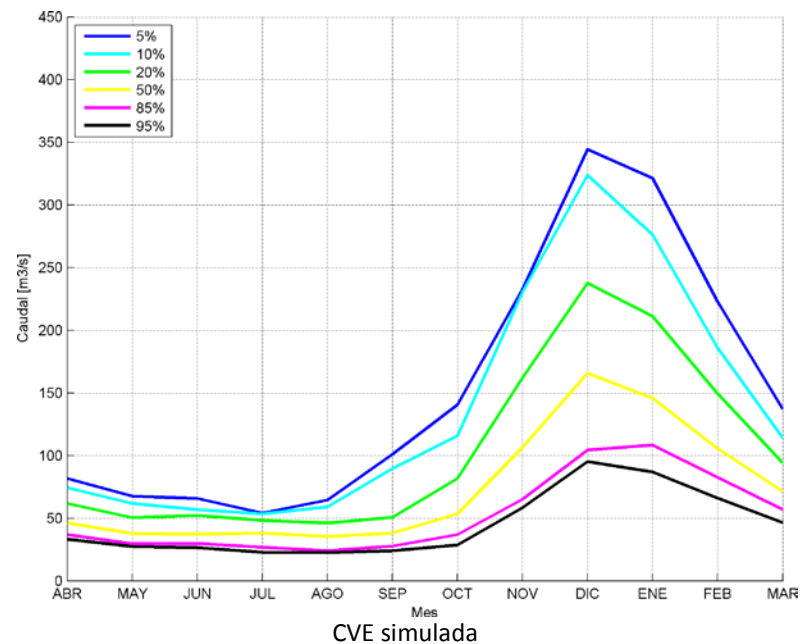
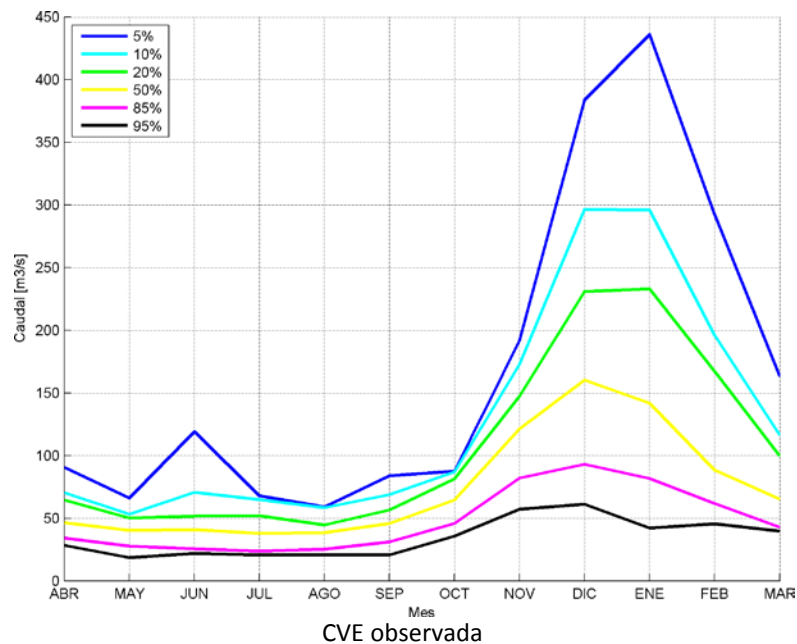


Figura 4.10: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Maipo en San Alfonso.

4.5.2 Sistema Colorado

4.5.2.1 Subcuenca Olivares antes junta Colorado

Se aprecia en la Figura 4.11 que el modelo de la Subcuenca OAJC presenta un buen ajuste en la estacionalidad, por lo que el régimen hídrico de la cuenca queda correctamente modelado, con una ligera sub estimación en el mes de Enero. La Curva de duración de los caudales medios mensuales está correctamente estimada y la estimación de los caudales medios anuales es considerada aceptable.

Las curvas de variación estacional de la Figura 4.12 muestran que para probabilidades de excedencia altas los caudales medios mensuales del período de deshielo tienden a ser levemente subestimados por el modelo hidrológico mientras que los asociados a probabilidades de excedencia bajas son ligeramente sobreestimados a excepción del valor en el mes de noviembre para la probabilidad de excedencia 5%.

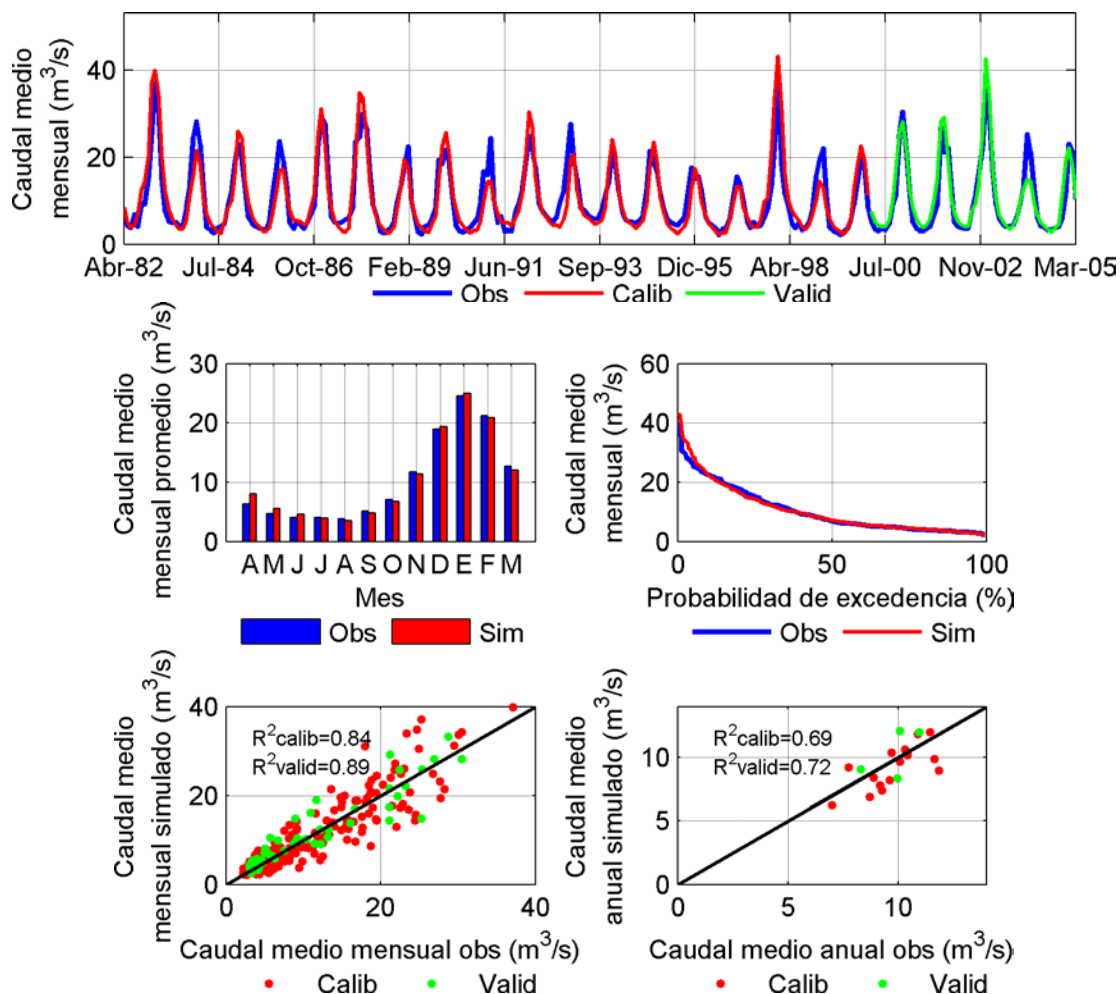


Figura 4.11: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Olivares antes junta Colorado.

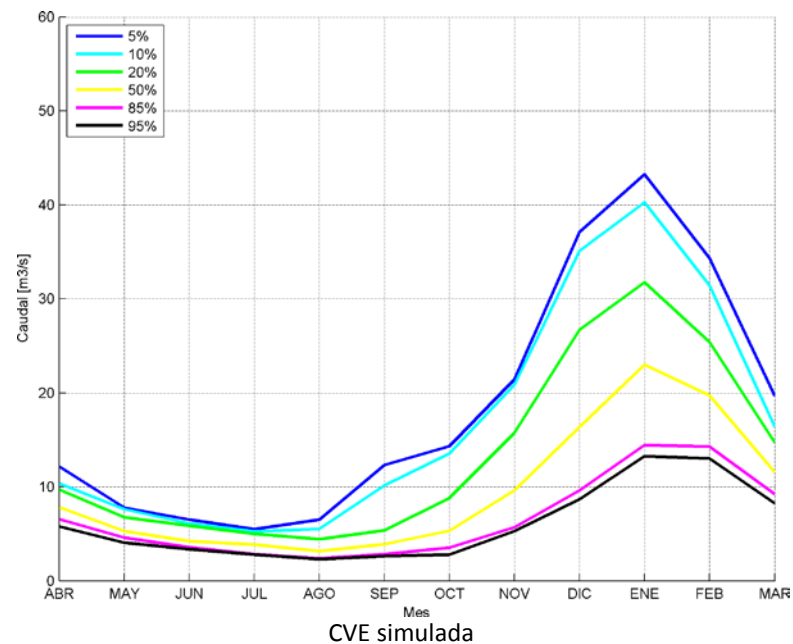
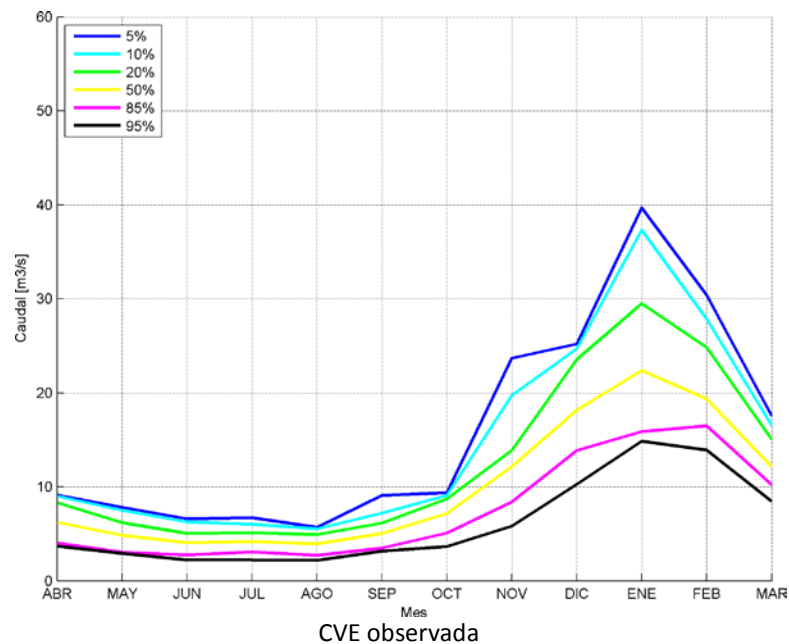


Figura 4.12: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Olivares antes junta Colorado.

4.5.2.2 Sistema Colorado antes junta Olivares

Tal como se observa en la Figura 4.13, la Subcuenca CAJO, presenta un régimen hidrológico nival, cuyos máximos, en promedio, están concentrados en Diciembre y Enero. Dicho régimen ha quedado correctamente simulado. La curva de duración está correctamente simulada y los caudales medios anuales, si bien no presentan un alto R^2 en el período de calibración (0.67), éste aumenta en la validación.

Las curvas de variación estacional que se observan en la Figura 4.14 señalan que en años húmedos el proceso de deshielo se inicia anticipadamente en el modelo y además se sobreestiman los caudales medios mensuales en el mes de diciembre. También en los años secos los valores del período de deshielo son sobre estimados entre diciembre y marzo.

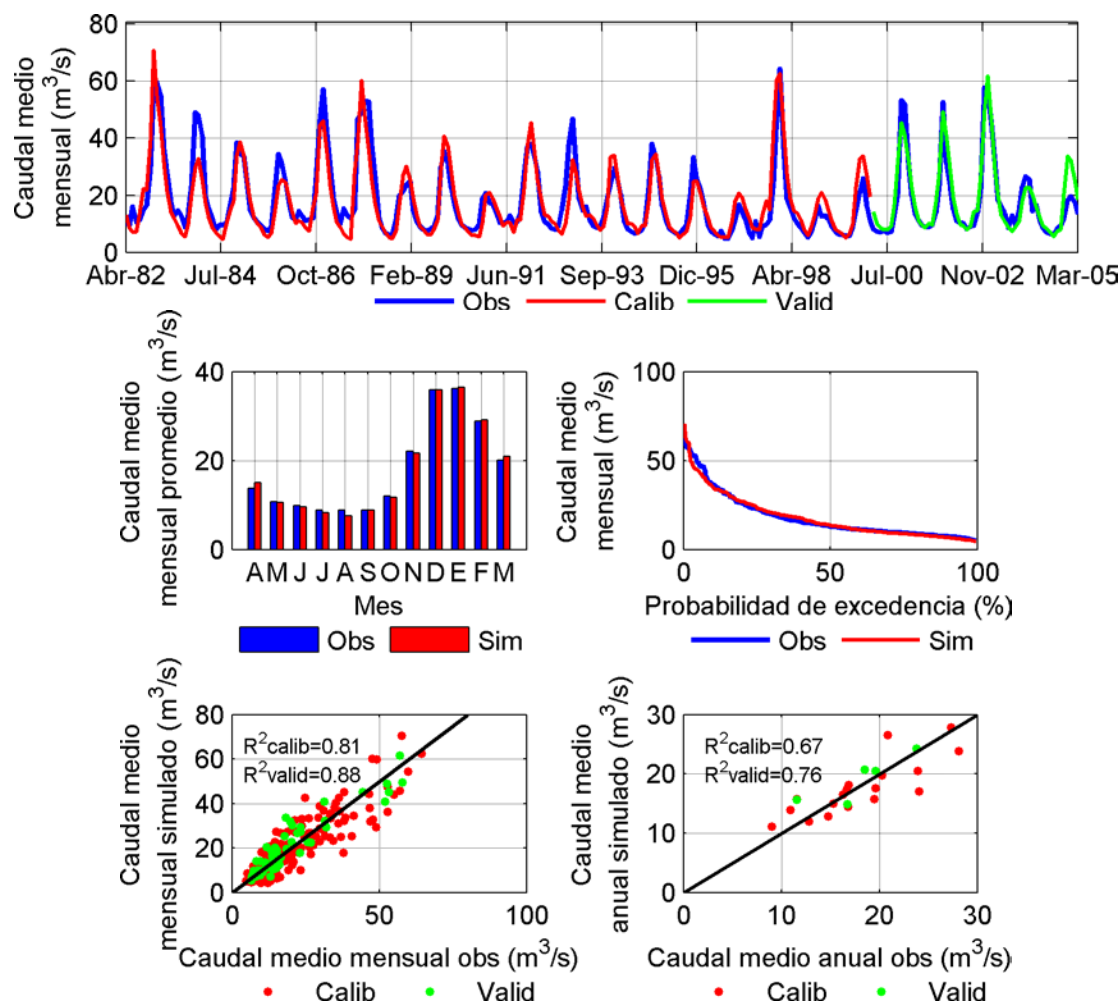


Figura 4.13: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Colorado antes junta Olivares.

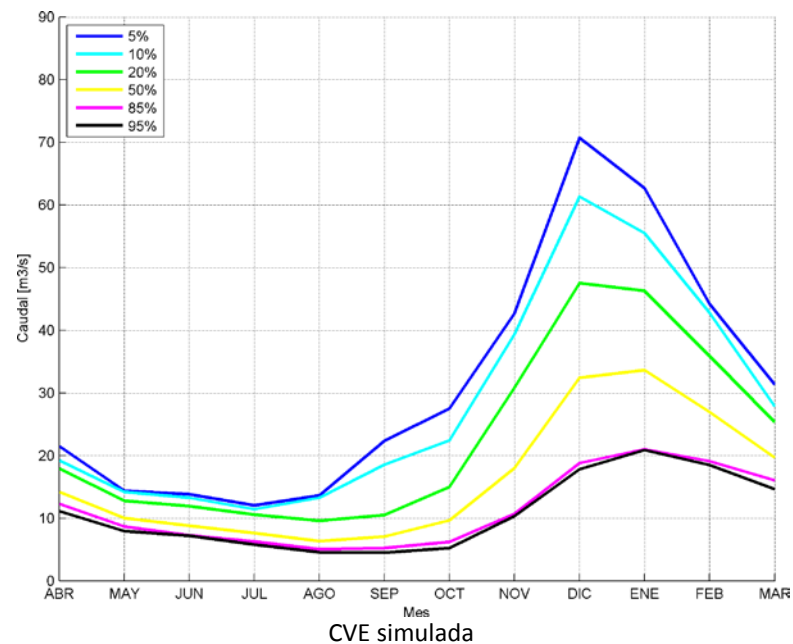
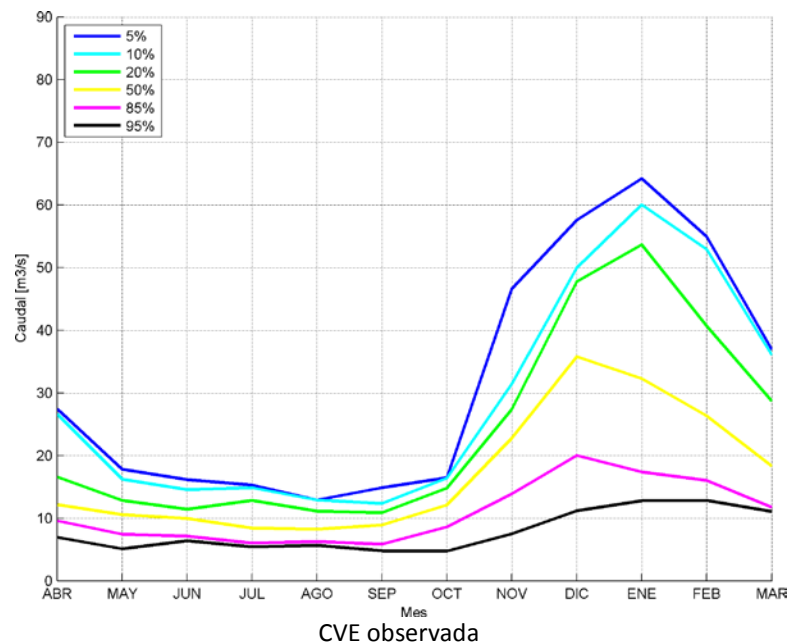


Figura 4.14: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Colorado antes junta Olivares.

4.5.2.3 Colorado antes junta Maipo

La Figura 4.15 presenta el ajuste del proceso de calibración para la cuenca CAJM, que define el sistema Colorado. Este proceso de calibración es el resultado de la integración de las calibraciones de las cuencas de cabecera de los puntos anteriores más el proceso de calibración de la hoya intermedia. En general el proceso de calibración resulta adecuado, siendo los años 1983 y 1992 los más difíciles de modelar. Se observa un correcto ajuste de la estacionalidad y de la curva de duración de caudales, y una estimación aceptables de los montos anuales en el período considerado.

Por su parte, en la Figura 4.16 se observa que, al igual que en la cuenca anterior, entre septiembre y diciembre los caudales medios mensuales son sobre estimados por el modelo en los años húmedos mientras que los caudales medios mensuales asociados a probabilidad de excedencia 85% se subestiman en los meses de octubre y noviembre.

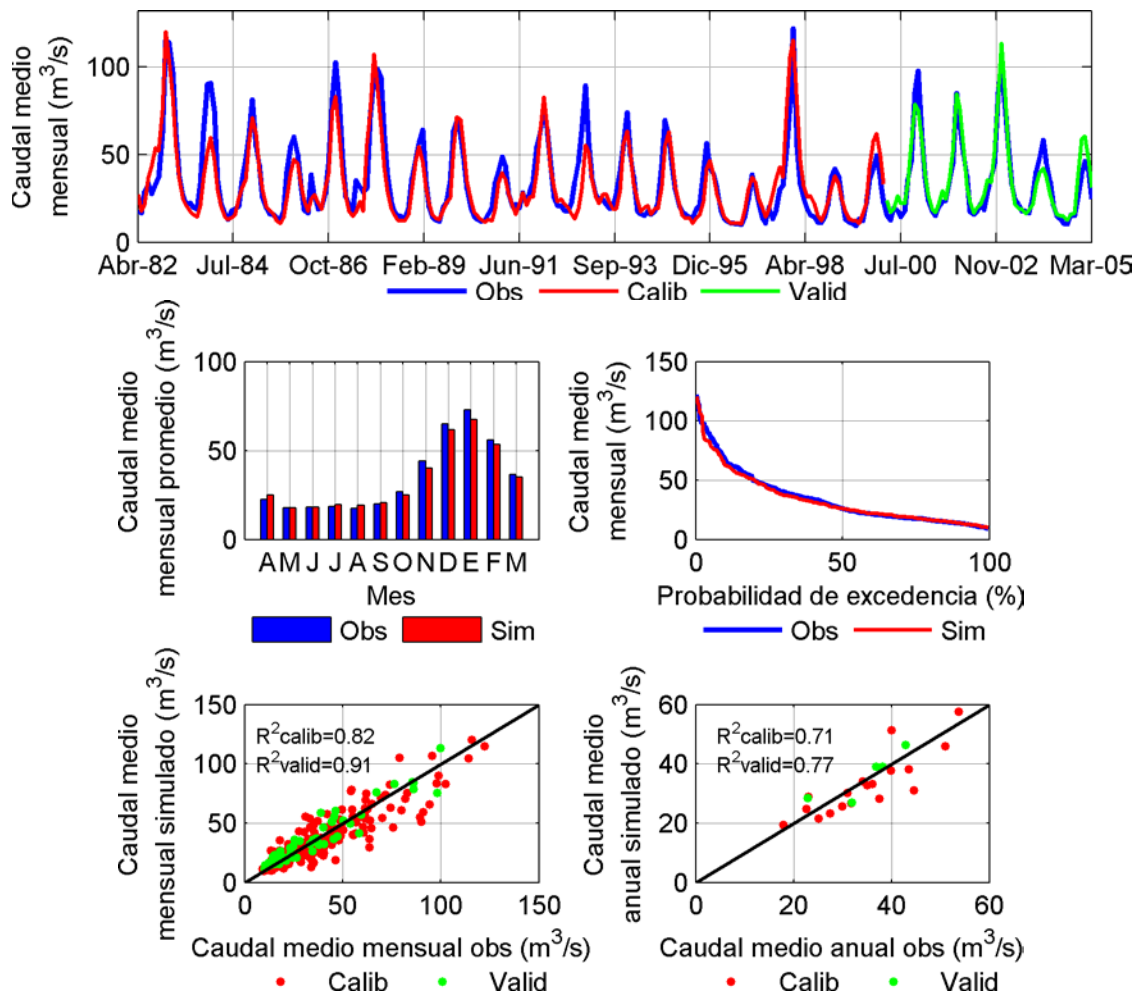


Figura 4.15: Resultados proceso de calibración y validación en la cuenca Colorado antes junta Maipo.

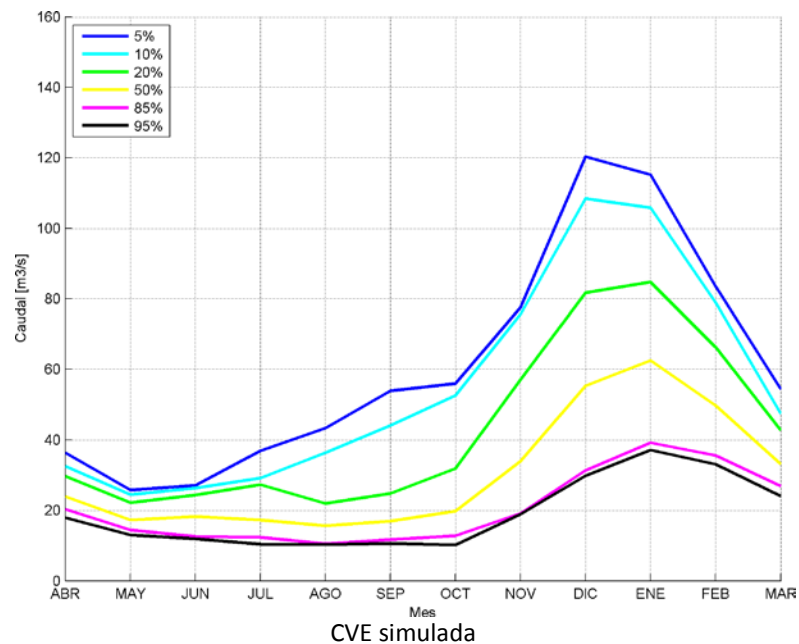
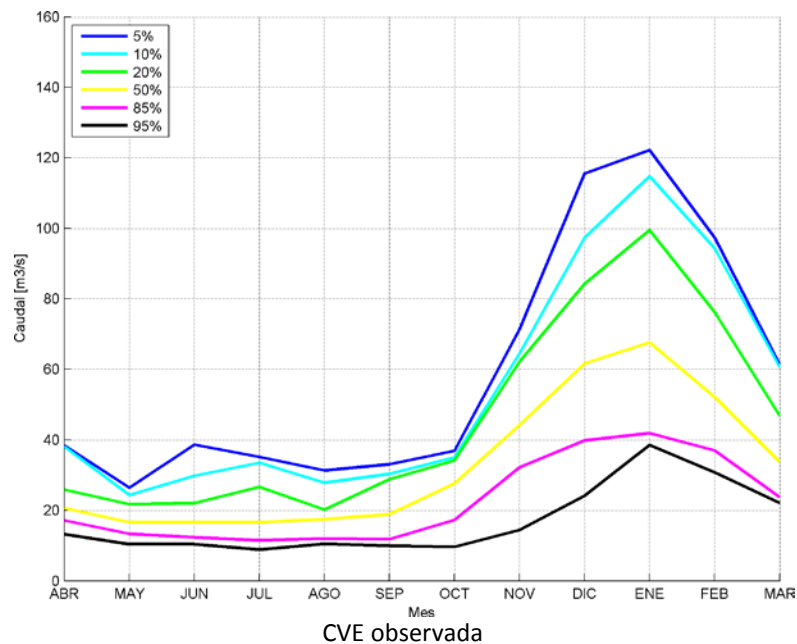


Figura 4.16: Resultados de Curva de Variación Estacional (CVE) en el proceso de calibración en la cuenca Colorado antes junta Maipo.

4.5.3 Análisis de Parámetros de Eficiencia de los Modelos Calibrados

La Tabla 4.5 presenta los coeficientes NS, NS-Log y coeficiente de determinación R^2 de los caudales medios mensuales y medios anuales.

Tabla 4.5: Parámetros de Evaluación del proceso de calibración por Subcuenca.

Indicador	NS		NS-Log		R2 mensual		R2 anual	
	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.	Calib.	Valid.
MELM	0,86	0,83	0,86	0,89	0,87	0,85	0,83	0,46
VEQ	0,78	0,87	0,82	0,90	0,80	0,92	0,70	0,94
AEY	0,80	0,86	0,74	0,82	0,80	0,89	0,67	0,80
MSA	0,85	0,81	0,85	0,88	0,85	0,87	0,81	0,62
OAJC	0,81	0,87	0,84	0,90	0,84	0,89	0,69	0,72
CAJO	0,81	0,87	0,78	0,86	0,81	0,88	0,67	0,76
CAJM	0,82	0,90	0,83	0,90	0,82	0,91	0,71	0,77

Notas:

NS: Nash-Sutcliffe

NS-Log: Nash-Sutcliffe Logarítmico. Es equivalente al indicador NS, pero se calcula con valores transformados de caudal y representa el ajuste a los valores más bajos.

R^2 mensual: Coeficiente de correlación entre los caudales medios mensuales observados y simulados.

R^2 anual: Coeficiente de correlación entre los caudales medios anuales observados y simulados.

En general se observa un buen coeficiente de eficiencia NS para todos los modelos involucrados. El coeficiente más bajo, de 0.78 corresponde a la cuenca VEQ, mientras que el mayor, de 0.86, corresponde a la cuenca MELM. En promedio el coeficiente NS tiene un valor de 0.82, lo que es considerado un ajuste correcto y significativo para estimar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos.

Respecto del proceso de validación, los indicadores son aún mejores, lo que, en general, ratifica la buena respuesta de los modelos o simulaciones para las cuencas de cabecera de ambos sistemas en estudio. Además el indicador NS-Log presenta valores mayores a 0.74, lo que se condice con una modelación adecuada para los flujos base, siendo mucho mejor en la etapa de validación, alcanzando valores de 0.77 a 0.9.

Tanto MSA como CAJM, cuencas que definen a los sistemas Maipo y Colorado, presentan muy buenos valores de calibración y validación, validando el tercer proceso de revisión de la calibración efectuado para esta etapa. En general el flujo base en ambos sistemas

queda bien representado (NS-Log mayor a 0.83), sin embargo los índices de bondad de ajuste a nivel anual son más bajos, lo que se explica por la sub-estimación de caudales medios mensuales máximos en los modelos y la baja cantidad de años del período.

5. Resultados de Simulaciones en Línea Base y futuros para los Escenarios A2 Y RCP2.6

Tal como se mencionó en la metodología del estudio, se disponen de resultados futuros bajo 2 escenarios de cambio climático. Para el primero de estos SRES A2, el cual es reconocido como el más desfavorable en términos de aumento de emisiones de CO₂ (IPCC, 2007), se han escalado los resultados de tres modelos GCM lo que permite obtener la banda de incertidumbre en las estimaciones futuras para un mismo escenario. El segundo de los escenarios considerado es el denominado RCP 2.6 (“Representative Concentration Pathways”) que ha sido definido como el escenario más favorable en términos de la forzante radiativa que actúa como condición de borde en el modelo; en este caso se utilizan los resultados de una de las simulaciones que entrega una versión mejorada del modelo australiano, denominado GCM2 en este estudio, lo que permite obtener la incertidumbre respecto al escenario climático futuro.

A continuación se presentan los resultados para el Escenario A2 seguidos de los resultados del escenario RCP2.6, para cada cuenca seleccionada. En Anexo II-A y II-B se presentan las tablas de resultados con caudales simulados, con y sin variación glaciar.

Para el escenario A2, se presentan los resultados considerando la componente glaciar para el sistema Maipo, reflejando la situación real del sistema; mientras que el sistema Colorado no se ha considerado, siendo consistentes con los estudios precedentes. Para ambos sistemas, los resultados se organizaron en cuatro figuras importantes para este escenario, a saber:

1. La primera figura consta de 4 paneles. El panel superior izquierdo tiene por objetivo analizar la variabilidad estacional de los GCMs en comparación con la serie simulada con datos históricos en el período de línea base (LB). En esta figura se puede apreciar cómo se ajustan los GCMs seleccionados en el período de LB, lo que permite tener una estimación de la incertidumbre y de la variabilidad de los modelos de circulación general. El resto de los paneles tiene por objetivo efectuar una comparación de la curva de duración de los caudales medios mensuales para los períodos de línea base en cada uno de los GCMs seleccionados para cada una de las cuencas estudiadas. Esta comparación es relevante para tener una estimación de la variabilidad e incertidumbre de la disponibilidad del recurso hídrico en el tiempo; es necesario recordar que en el sistema administrativo vigente la gestión de recursos hídricos se asocia a caudales de probabilidad de excedencia determinadas. Por lo tanto, conocer la evolución de estos valores

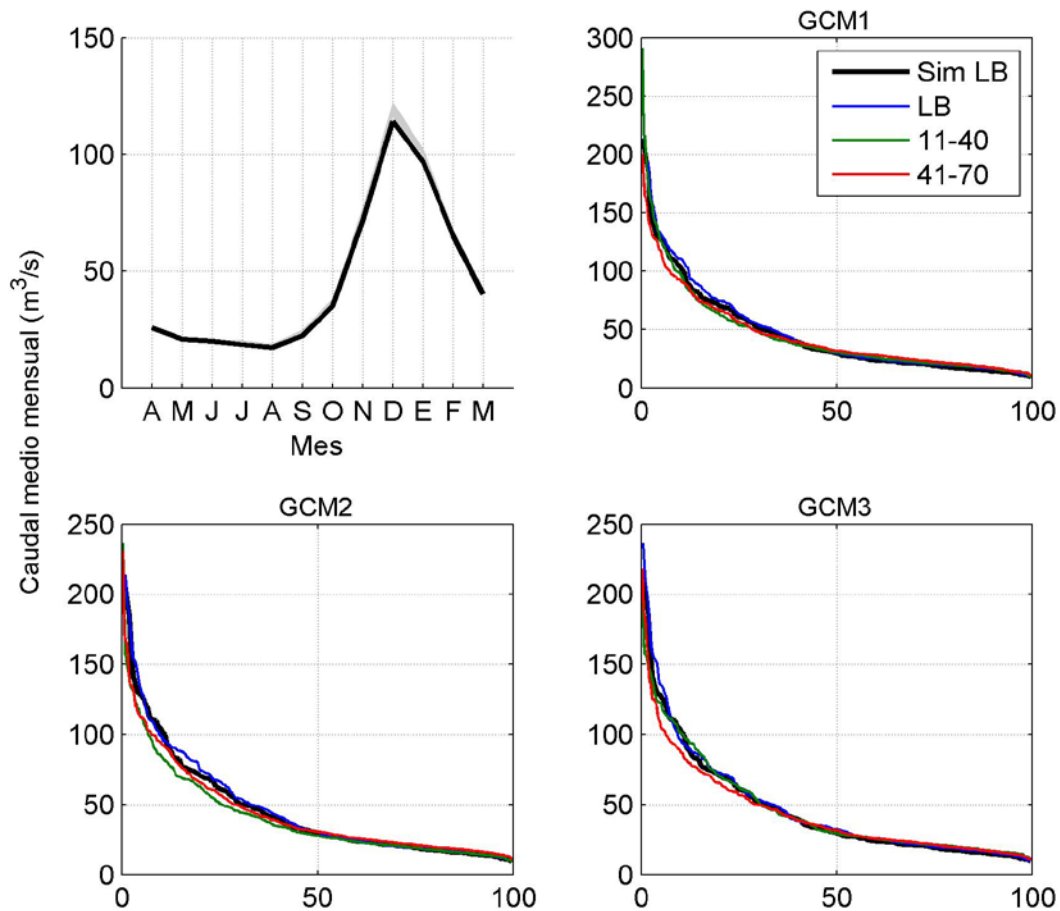
permite estimar los posibles impactos que el cambio climático pudiera tener en la disponibilidad de recursos en condiciones hidrológicas específicas.

2. La segunda figura corresponde a la comparación de las curvas de variación estacional en línea base (LB) para los 3 GCMs adoptados. Esta figura permite comparar los ajustes alcanzados con estos 3 modelos en términos de estacionalidad y monto para diversos valores de probabilidad de excedencia. Se debe tener en cuenta que esta figura debe ser contrastada con las del capítulo 4.5, en particular, con la curva de variación estacional simulada para cada sistema o subsistema en el período de calibración, que coincide en este caso con el período de línea base (1982-2000).
3. La tercera figura consta de dos paneles. El panel superior informa sobre la variación de la estacionalidad el año promedio de caudales en un período de tiempo dado. En este caso se comparan las dos ventanas de tiempo futuras y además se presenta el caudal simulado en la línea base. Este gráfico es útil pues muestra si existen reducciones o aumentos de caudal, específicamente, si estas ocurren en todo el año o se concentran en el régimen pluvial o nival del sistema analizado. Informa también de la incertidumbre de este resultado pues presenta este año promedio para todo los GCMs analizados, pues en cada período se grafica el GCM que sobreestima más junto que el subestima más, haciendo una analogía con el máximo y el mínimo cambio presentado en el período. El panel inferior tiene por objetivo comparar el monto o valor del caudal anual promedio por período junto con su incertidumbre asociada y tiene por objetivo detectar disminuciones o aumentos netos del recurso en el período analizado. También se presenta el caudal simulado con datos históricos en el período de línea base (línea azul).
4. Por su parte la cuarta y última figura consta de seis paneles. Los paneles superiores corresponden a la simulación futura de la curva de variación estacional para cada punto de control (subsistema), según los tres modelos GCMs seleccionados y considerando el primer período en estudio (2011-2040). El panel de tres figuras en la parte inferior, representa los resultados para los tres modelos GCMs seleccionados para el segundo período de estudio (2041-2070). Esta información se ha generado y presentado porque dan información acerca de la variación de la disponibilidad del recurso hídrico para cada punto en particular, y permiten comparar con los resultados de los estudios de referencia (CONIC-BF, 2008; GCAM, 2007).

Por su parte, los resultados de RCP2.6 se presentan con las mismas figuras, con la diferencia que considera un solo GCM. Para finalizar cada sección de resultados por sistema, se presenta una tabla que resume la diferencia porcentual de caudal para cada ventana de tiempo, esto es, el período de línea base (LB) y los dos períodos futuros (2011-2040, 2041-2070). La comparación se realiza para los caudales simulados con los datos provenientes de los GCMs en LB, expresándose como variación porcentual respecto de los caudales simulados con datos históricos (Simulado Observado) para el mismo período. En este caso “Lim Inf” y “Lim Sup” equivalen al mínimo y máximo valor simulado para ese mes por alguno de los tres GCMs y permite estimar la incertidumbre asociada al cálculo de esta diferencia porcentual. Como se menciona al principio de la sección, estos cinco resultados (cuatro figuras y una tabla) se presentan para la situación sin componente de retroceso glaciar para el caso del sistema Colorado y con la componente de retroceso glaciar para el sistema Maipo. A continuación se muestran estos resultados ordenados para las cuencas y subcuencas definidas en el estudio.

5.1 Simulación en línea base y futura con retroceso glaciar: Sistema Maipo, Escenario A2

5.1.1 Subcuenca Maipo en las Melosas



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.1: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.

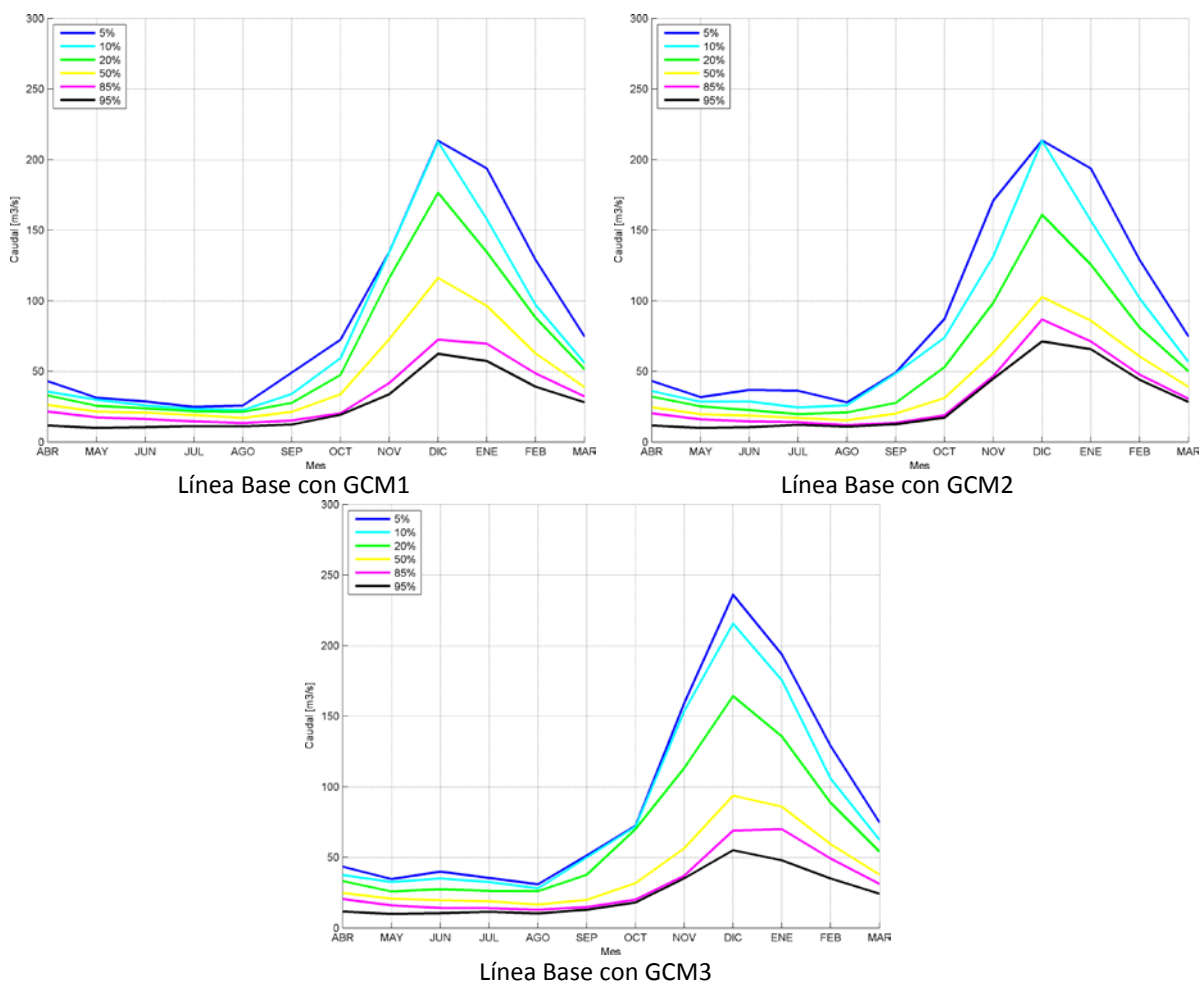
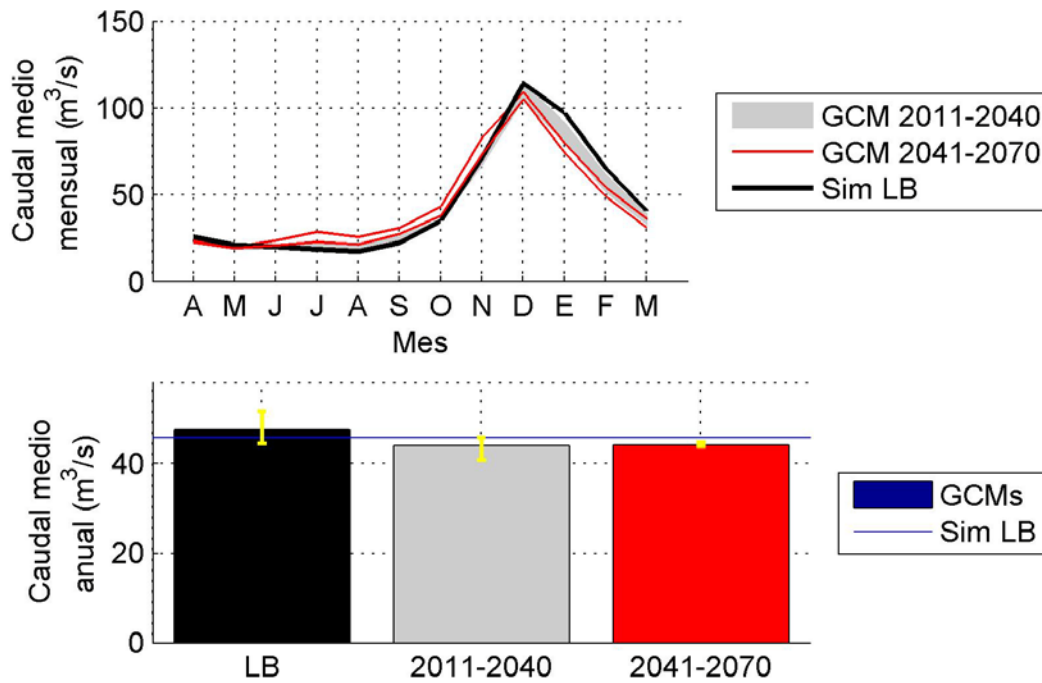


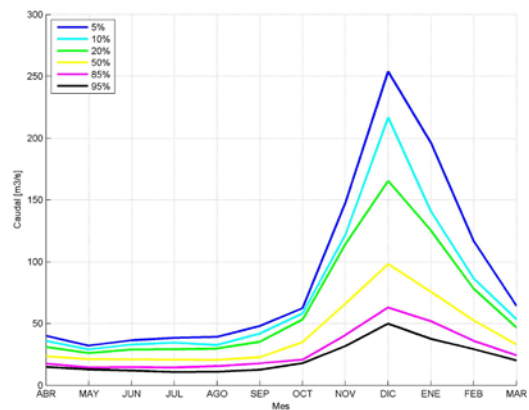
Figura 5.2 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Se observan algunas diferencias en las curvas de variación estacional de los modelos GCM pero estas no parecen significativas en los años normales y secos. En la condición promedio y años húmedos es el modelo GCM2 el que representa mejor la CVE simulada a base de los datos observados aunque en el mes de noviembre se observa una sobre estimación para los años más húmedos.

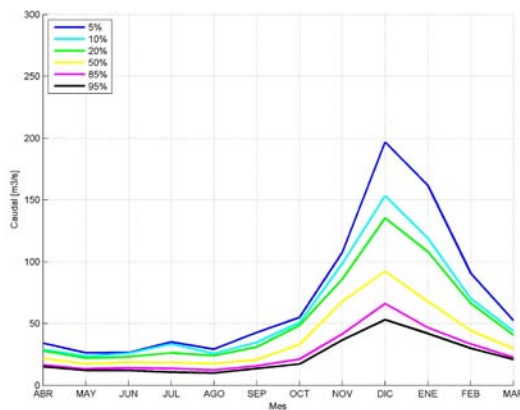


Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)
Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

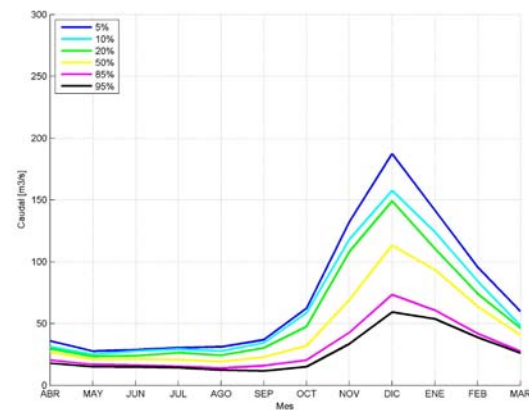
Figura 5.3: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario A2.



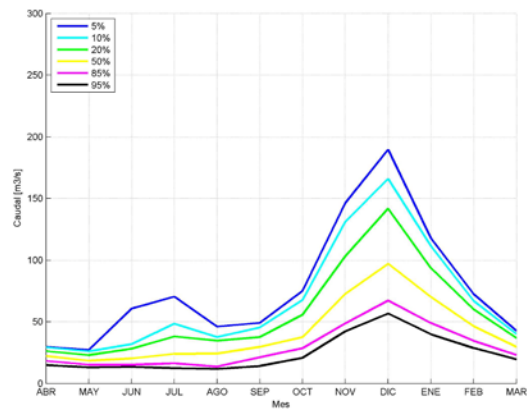
Curva de Variación Estacional GCM1
Período 2011-2040



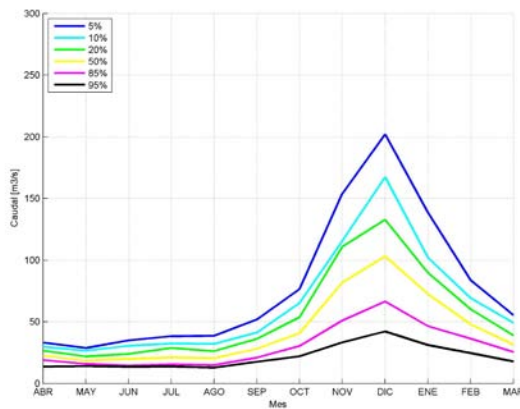
Curva de Variación Estacional GCM2
Período 2011-2040



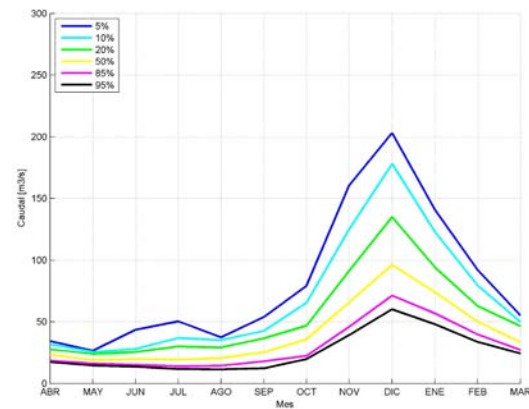
Curva de Variación Estacional GCM3
Período 2011-2040



Curva de Variación Estacional GCM1
Período 2041-2070



Curva de Variación Estacional GCM2
Período 2041-2070



Curva de Variación Estacional GCM3
Período 2041-2070

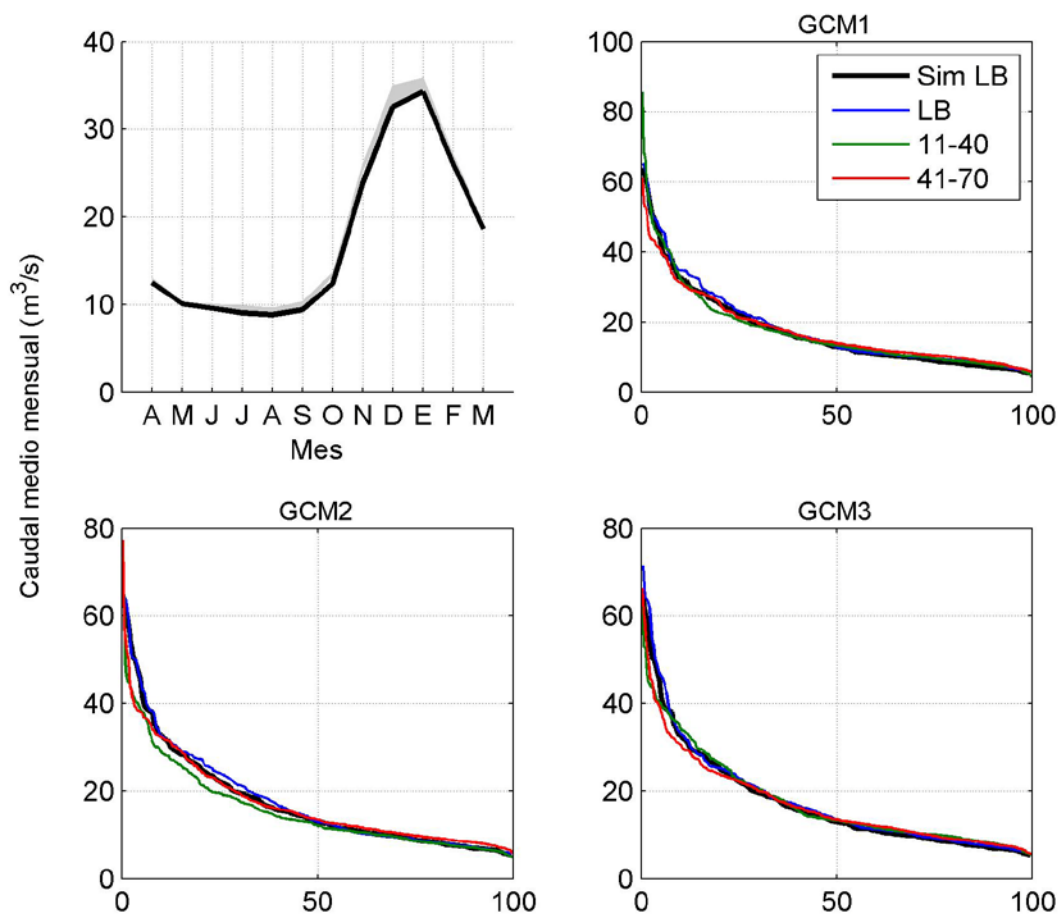
Figura 5.4: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

Tabla 5.1: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	25,7	0,4	2,4	5,3	-12,2	-5,1	1	-12,4	-9,8	-6,8
May	21	-1,4	1,4	3,4	-13,3	-4,4	0,6	-8,4	-6,9	-4,9
Jun	20	-2,5	1,4	5,5	-7,3	1,9	7,9	4,1	10,1	18,4
Jul	18,6	-3,5	2,5	10	7,8	14,5	20,8	22,9	33,8	54,4
Ago	17,3	-4,2	2,4	10,9	4,2	16	28,5	23,5	33,1	48,5
Sep	22,4	1,7	5,5	12,1	3,4	8,9	17,9	22,6	30	38
Oct	35	5,7	7,5	8,9	-1,9	1,1	4,5	8,4	16,3	23,6
Nov	71,4	3,1	6	8,3	-6,9	0,7	5,3	2,5	10,7	16
Dic	114,1	1,8	4,8	7,1	-8,7	-2,7	0,5	-7,9	-6	-4,4
Ene	97	2,6	3,7	5,5	-18,4	-11,2	-5,2	-23,6	-21,5	-17,9
Feb	65,1	1,8	3,2	4,6	-21,6	-12,9	-4,7	-24,9	-21,8	-16,7
Mar	40,4	2,4	3,5	4,2	-19,7	-11	-2,3	-23,6	-17,5	-10,6

Para este sistema se distinguen 2 resultados importantes. El primero apunta a que los caudales medios anuales tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones en torno al 8% hacia el 2070. El segundo resultado es que los valores medios mensuales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo, y a aumentar en el período pluvial. Esto se ve reflejado de distinta manera en ambos períodos. Esto significa un paulatino cambio en la estacionalidad, debido al retroceso que tiene el área nival y glaciar. El comportamiento del caudal peak es distinto según sea el GCM analizado. Por ejemplo, el mes de Diciembre en el GCM 1 presenta una disminución de 250 a 180 m³/s aproximadamente hacia el 2070 (Pexc 5-10%), mientras que en el caso de los GCMs 2 y 3, este caudal peak aumenta, por el aumento de temperatura, sin embargo, el caudal en el período de deshielo sigue disminuyendo (año promedio). Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor. No obstante lo anterior, se considera que la tendencia futura es significativa hacia la disminución.

5.1.2 Subcuenca Volcán en Queltehues



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.5: Comportamiento del modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.

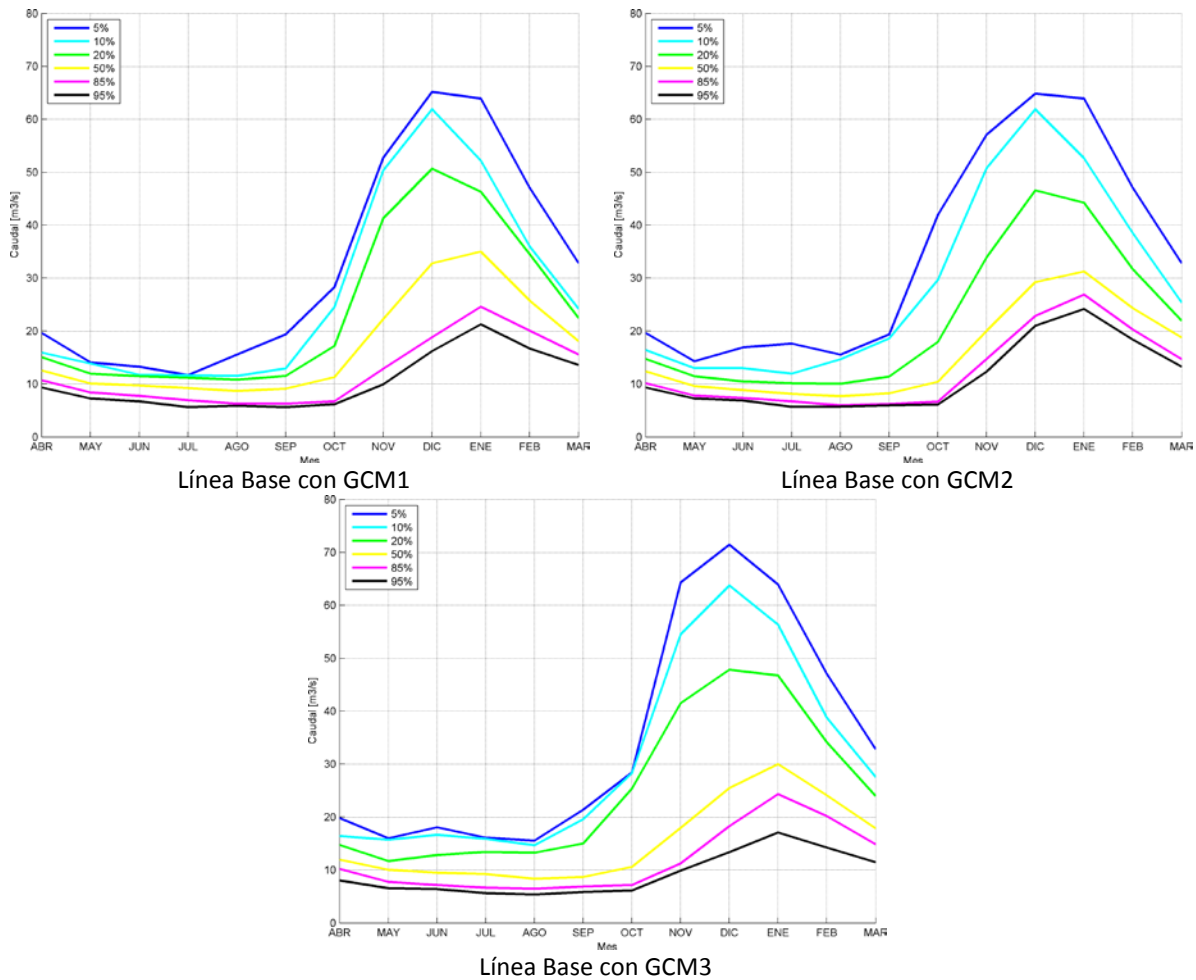
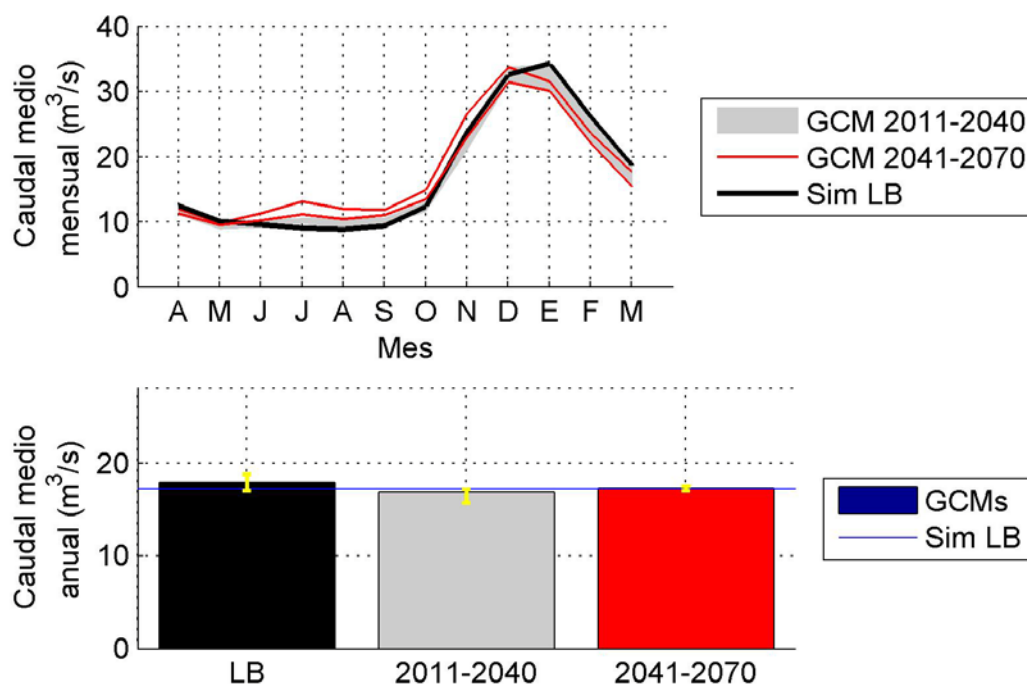


Figura 5.6 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Se aprecia que en el período de línea base la tendencia de los modelos GCM es a subestimar los caudales en el período de pluvial y a sobrestimarlos en el período de deshielo. Por otra parte, en este período las curvas de variación estacional simuladas con los modelos GCM1 y GCM2 son más similares a la simulada con el modelo WEAP a base de las forzantes observadas aunque el GCM2 sobre estima los caudales en los meses de octubre y noviembre en los años húmedos .



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)
Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.7: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciario. Escenario A2.

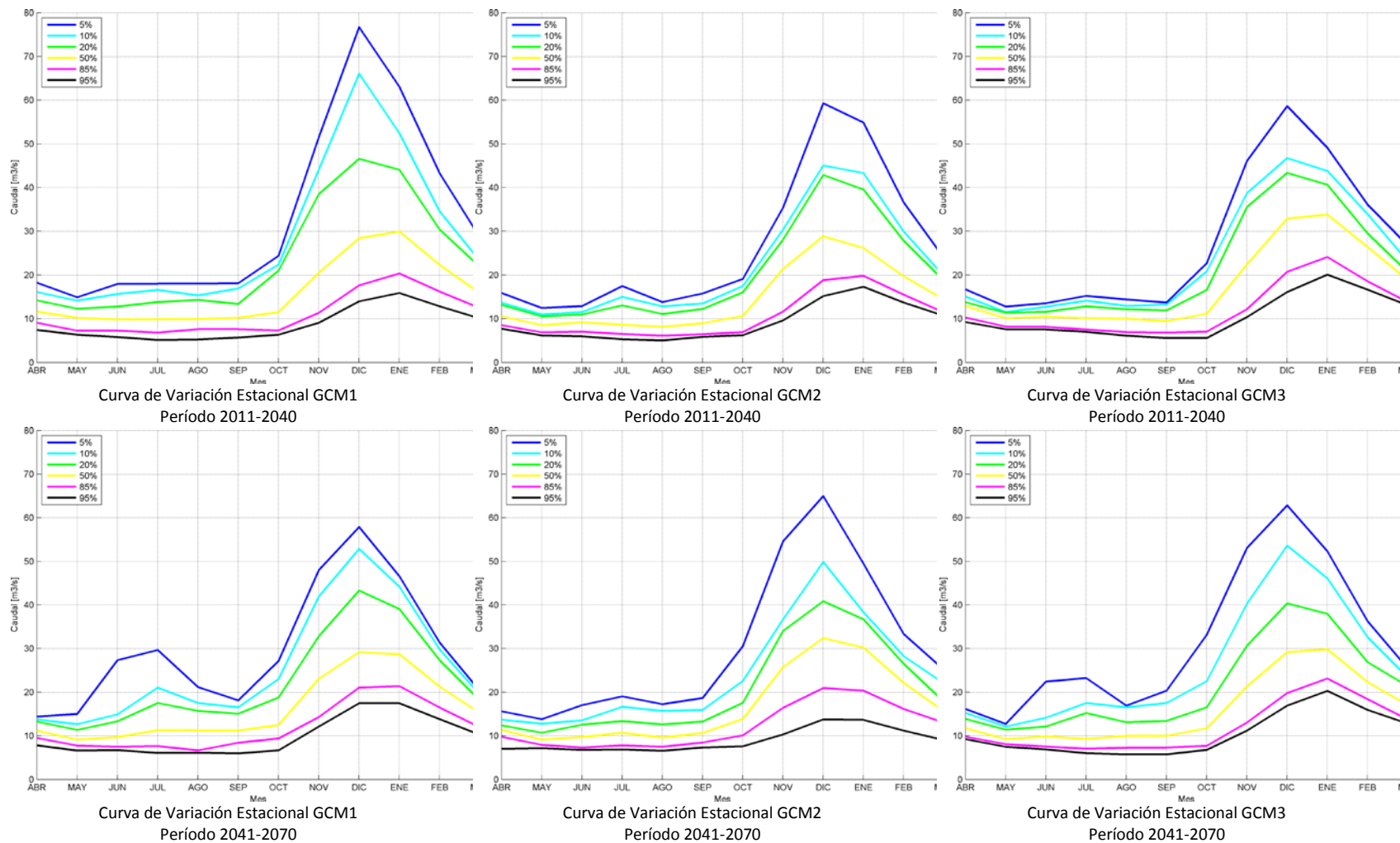


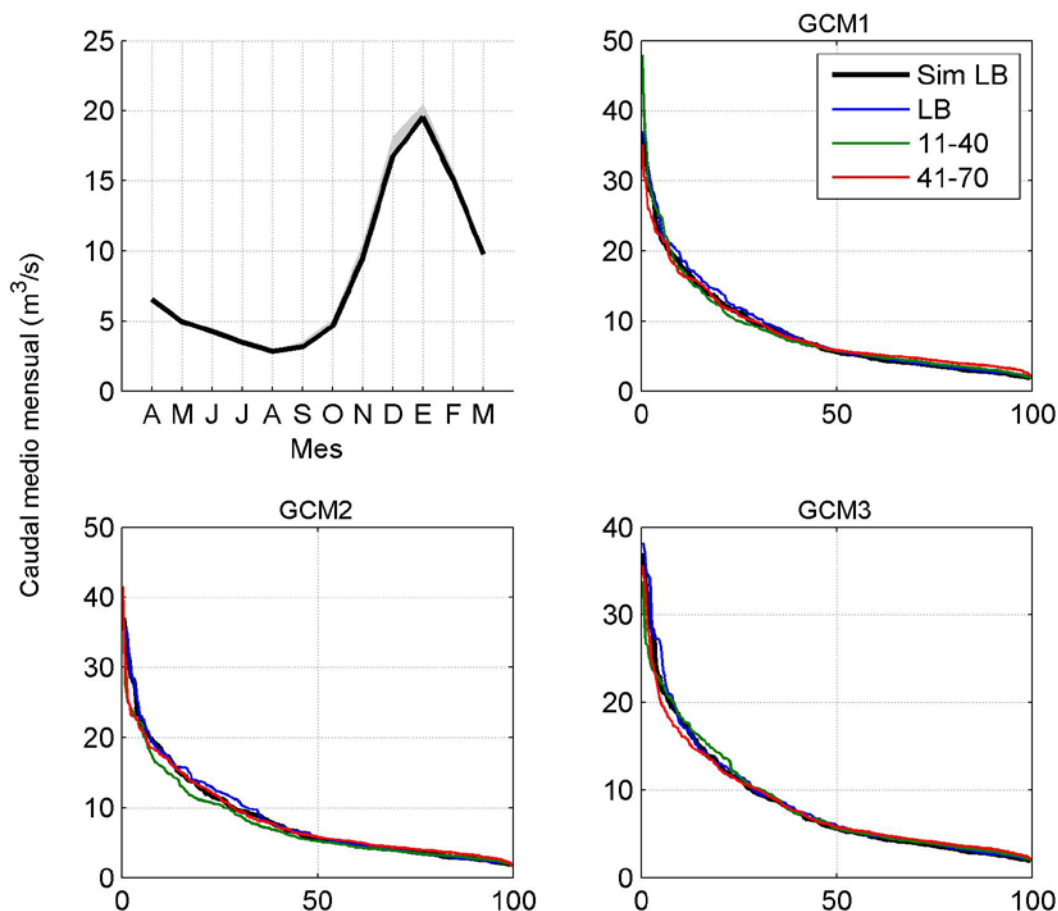
Figura 5.8: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Volcán en Queltehués, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

Tabla 5.2: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	12,5	0,6	2,2	4,5	-11,7	-5,1	1,2	-9,7	-7,6	-4,1
May	10,1	-1,5	1,2	2,7	-12,3	-4,1	0,5	-5,8	-4,3	-2,8
Jun	9,6	-2	1,7	5,9	-5	2,9	7,2	6,6	11,8	17,8
Jul	9	-2,1	3,5	10,8	7,5	13,8	17,4	23,3	30,9	45,3
Ago	8,8	-3,5	2,5	9,5	0	11,2	21,3	17,8	24,7	35,5
Sep	9,4	1,9	5,1	11,2	0,4	5,3	13,5	17,5	20,8	25,8
Oct	12,4	7,1	9	10,7	-6,7	-0,1	6,5	9	13,8	20,7
Nov	23,8	5,8	7,4	9,8	-12,1	-3,3	1,5	-3,4	4,9	11,7
Dic	32,5	1,2	4,9	7,8	-4	0,9	4	-3,6	1	3,5
Ene	34,3	1,1	3	4,9	-11,7	-6,2	-0,9	-12,3	-10,1	-8,1
Feb	26,1	1,6	2,8	4,2	-15,1	-8,6	-1,6	-15,5	-13,1	-9,7
Mar	18,6	2,6	3,3	3,9	-16,7	-8,8	-0,1	-17,5	-12,4	-5,6

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 4% hacia el 2070. En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas glaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3; adicionalmente los modelos GCM 1 y 2 coinciden en un leve adelantamiento de los caudales peak para probabilidades de excedencia bajas. Los valores medios mensuales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (10%), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad, debido al retroceso que tiene el área nival y glaciar. Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta baja conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución.

5.1.3 Subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.9: Comportamiento del modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.

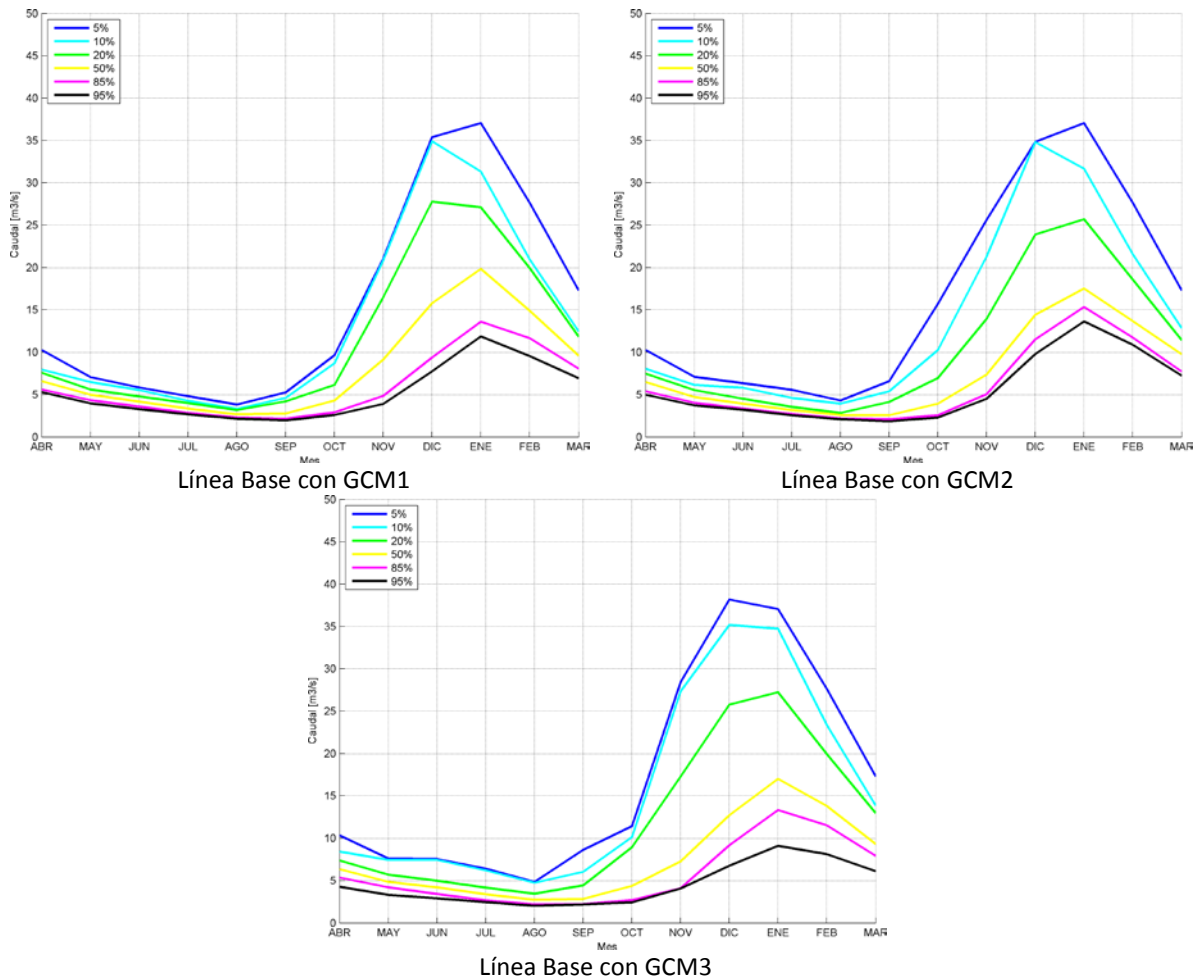
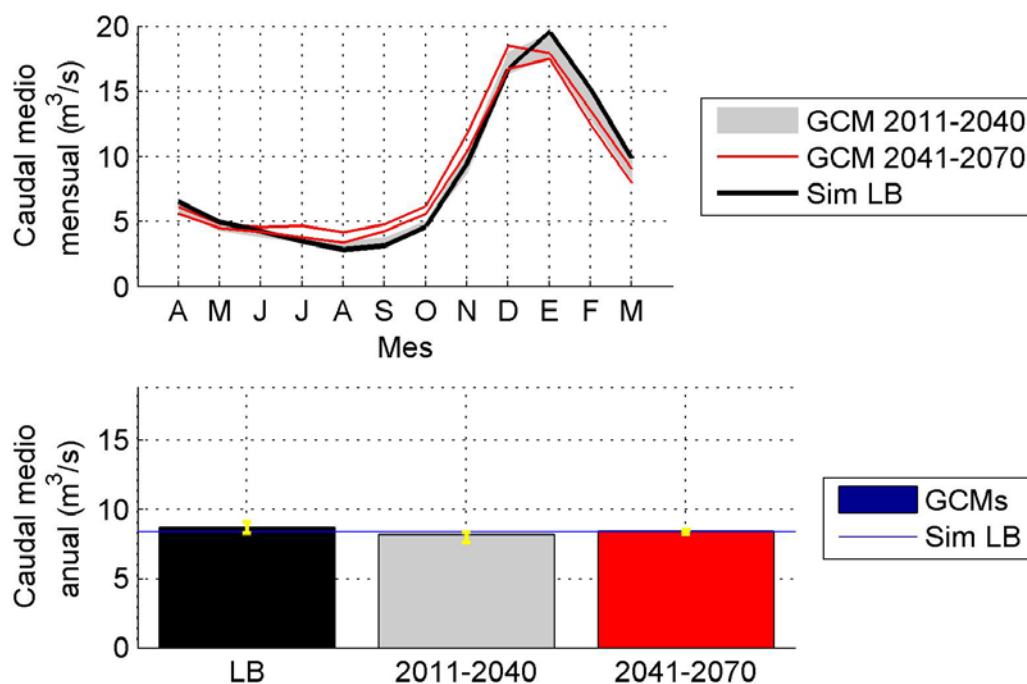


Figura 5.10 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Afluente al Embalse el Yeso en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Se aprecia que en el período de línea base la tendencia de los modelos GCM es a subestimar los caudales en el período de pluvial y a sobrestimarlos en el período de deshielo. Respecto de los modelos GCM, estos no presentan diferencias demasiado significativas en las curvas de variación estacional simuladas respecto a la obtenida en el período de calibración aunque es el modelo GCM2 el que mejor representa la variabilidad en los años normales a secos y con algunas diferencias en los años húmedos para los meses de octubre a diciembre donde se tiende a sobre estimar los caudales medios mensuales.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)
Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.11: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario A2.

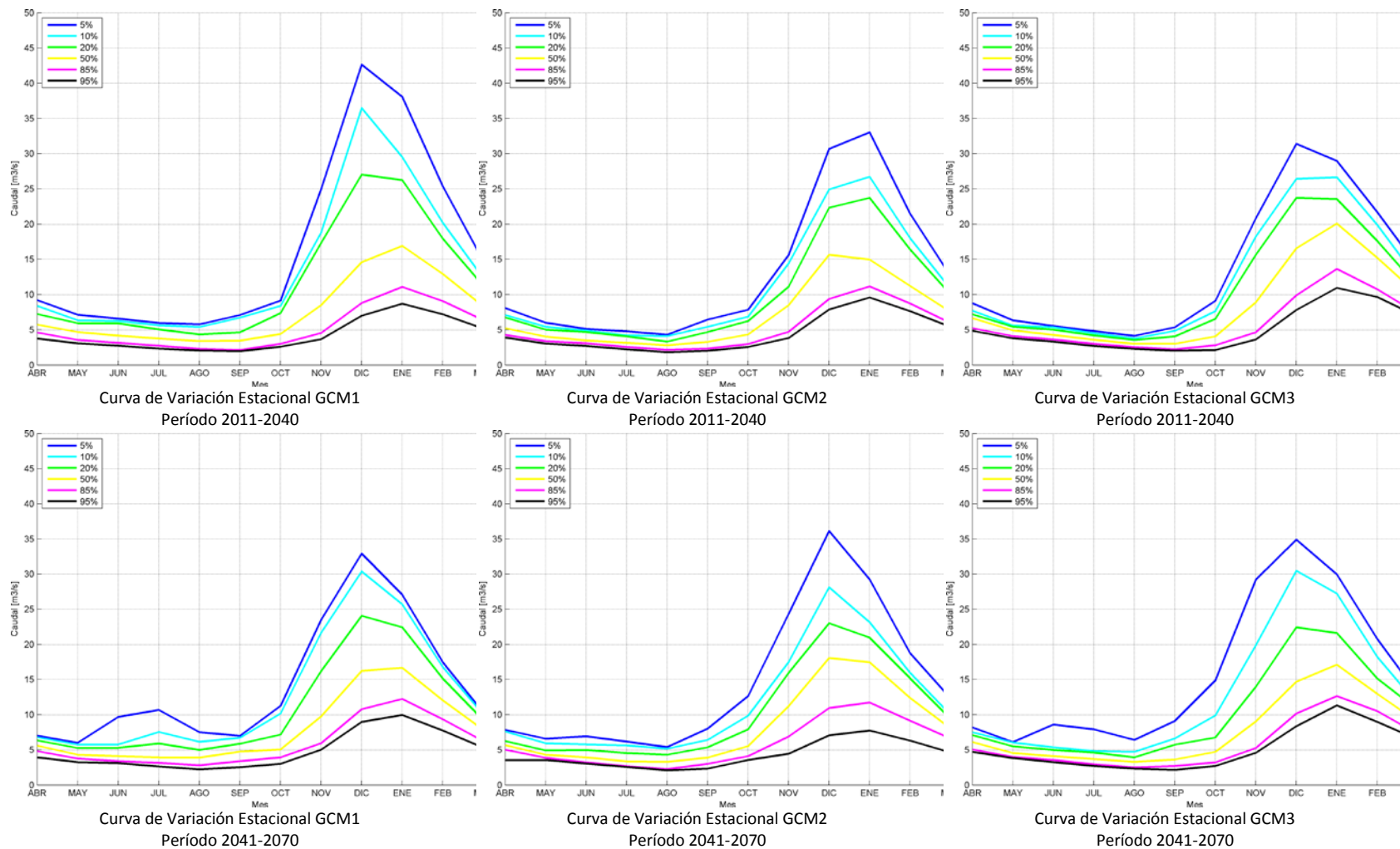


Figura 5.12: Simulación futura de la CVE de la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

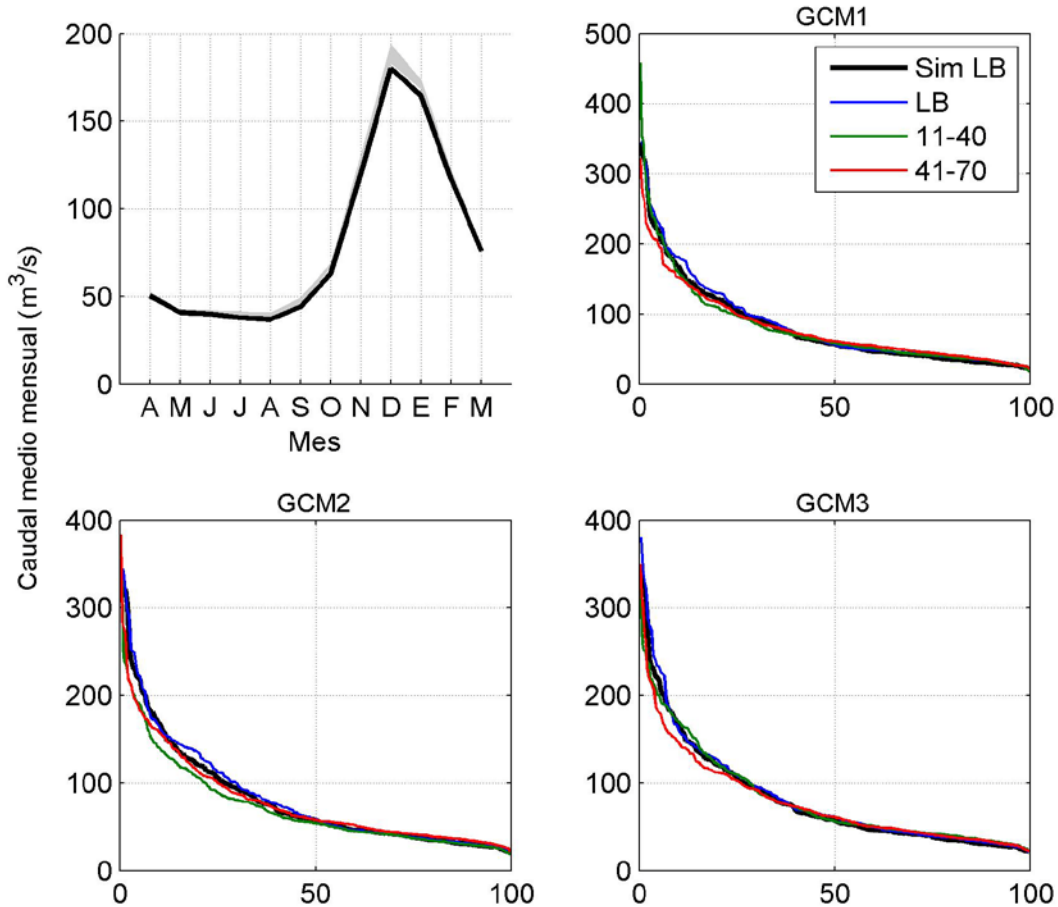
Tabla 5.3: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	6,5	0,9	2,0	3,8	-14,0	-7,2	0,3	-14,1	-10,9	-6,0
May	5,0	-1,5	1,3	3,1	-13,8	-5,6	-0,4	-9,3	-6,9	-3,1
Jun	4,3	-2,9	1,1	5,2	-11,3	-1,9	3,5	-1,1	4,3	7,4
Jul	3,5	-3,6	0,8	5,6	-3,6	4,2	11,0	8,8	19,1	34,3
Ago	2,8	-4,3	-0,2	5,1	2,0	10,9	23,2	18,8	29,1	47,0
Sep	3,1	-4,1	2,8	13,3	1,8	11,8	20,7	35,8	42,2	52,1
Oct	4,6	4,7	8,9	11,7	-0,4	4,3	9,7	21,4	26,3	34,4
Nov	9,5	7,3	10,1	11,6	-8,7	3,1	9,9	9,5	17,5	23,9
Dic	16,7	1,1	5,5	8,8	-2,6	3,2	7,8	-0,2	6,8	10,5
Ene	19,5	1,1	3,1	4,8	-9,8	-5,1	-0,7	-10,6	-9,2	-8,5
Feb	15,1	1,8	2,5	4,0	-15,7	-9,0	-1,1	-17,9	-15,2	-10,9
Mar	9,8	1,9	2,9	3,8	-16,9	-9,4	-0,3	-19,2	-14,8	-8,1

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 3% hacia el 2070. En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas glaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3; adicionalmente el comportamiento del caudal peak no muestra variaciones en términos de mes de ocurrencia, pero para la ventana del 2010-2040, sólo el GCM 2 reporta un retroceso hacia el mes de enero para probabilidades de excedencia bajas, hecho que se revierte luego en la ventana del 2040-2070. La diferencia de ocurrencia del caudal peak para probabilidades de excedencia alta y baja se explica dado que se tiene el mismo comportamiento de la serie observada y simulada en el proceso de calibración y línea base.

Los valores medios mensuales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (10%), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad, debido al retroceso que tiene el área nival y glaciar. Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta disminuye conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución.

5.1.4 Maipo en San Alfonso



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.13: Comportamiento del modelo en Maipo en San Alfonso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario A2.

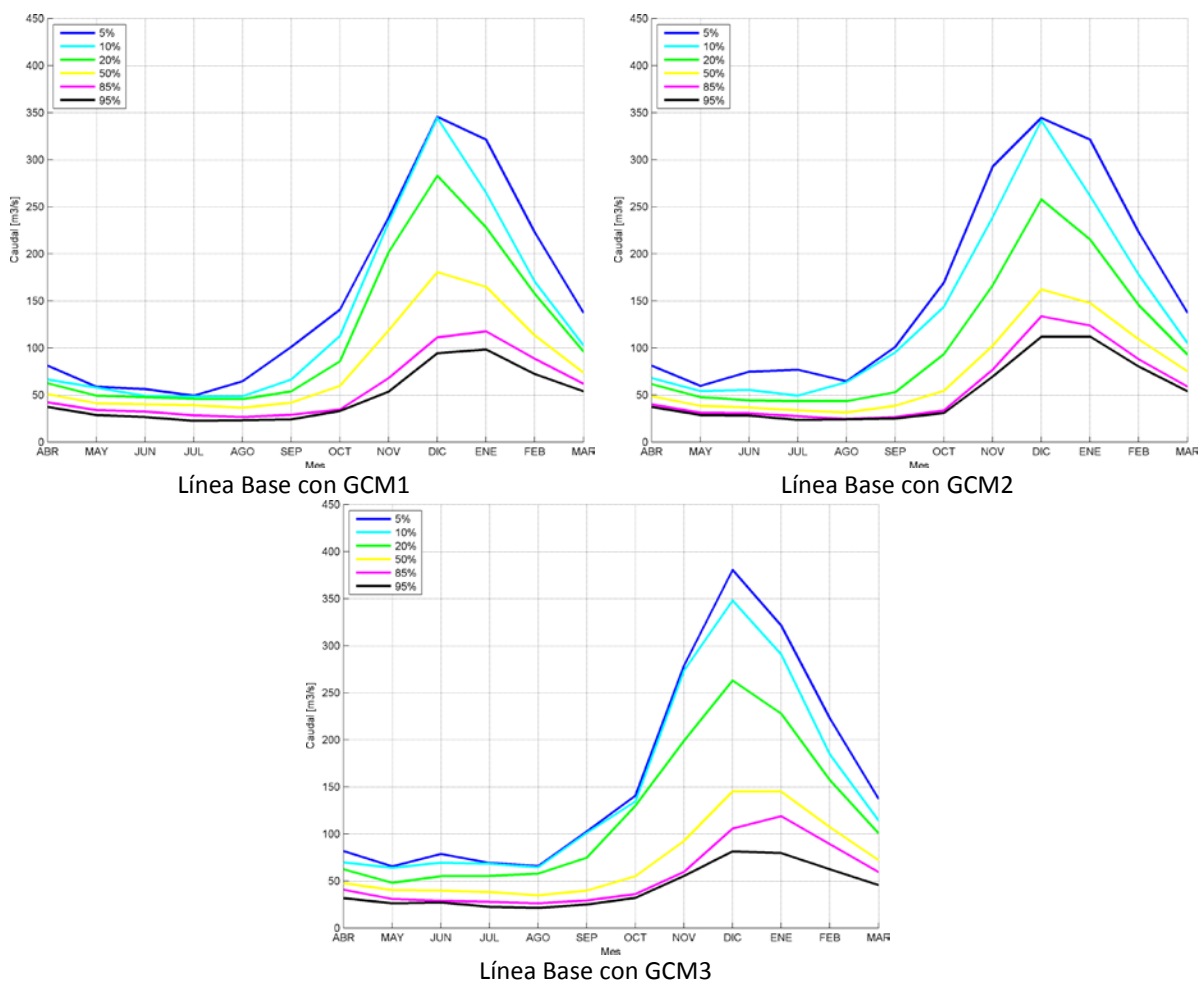
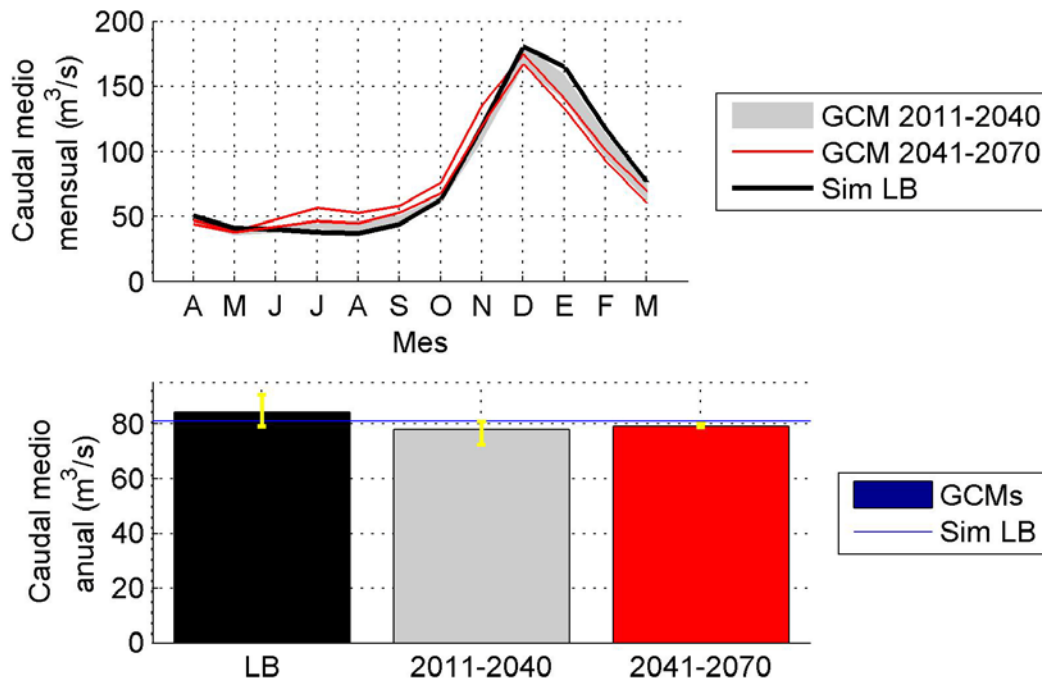


Figura 5.14 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Las curvas de variación simuladas con las forzantes meteorológicas obtenidas a base de los tres modelos GCM no son significativamente diferentes de la simulada a base de las forzantes observadas aunque las asociadas al modelo GCM2 parecen más similares, apreciándose una ligera sobre estimación sólo en los meses de julio y noviembre para los años más húmedos.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)
Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.15: Variación estacional y montos por período para el modelo en Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario A2.

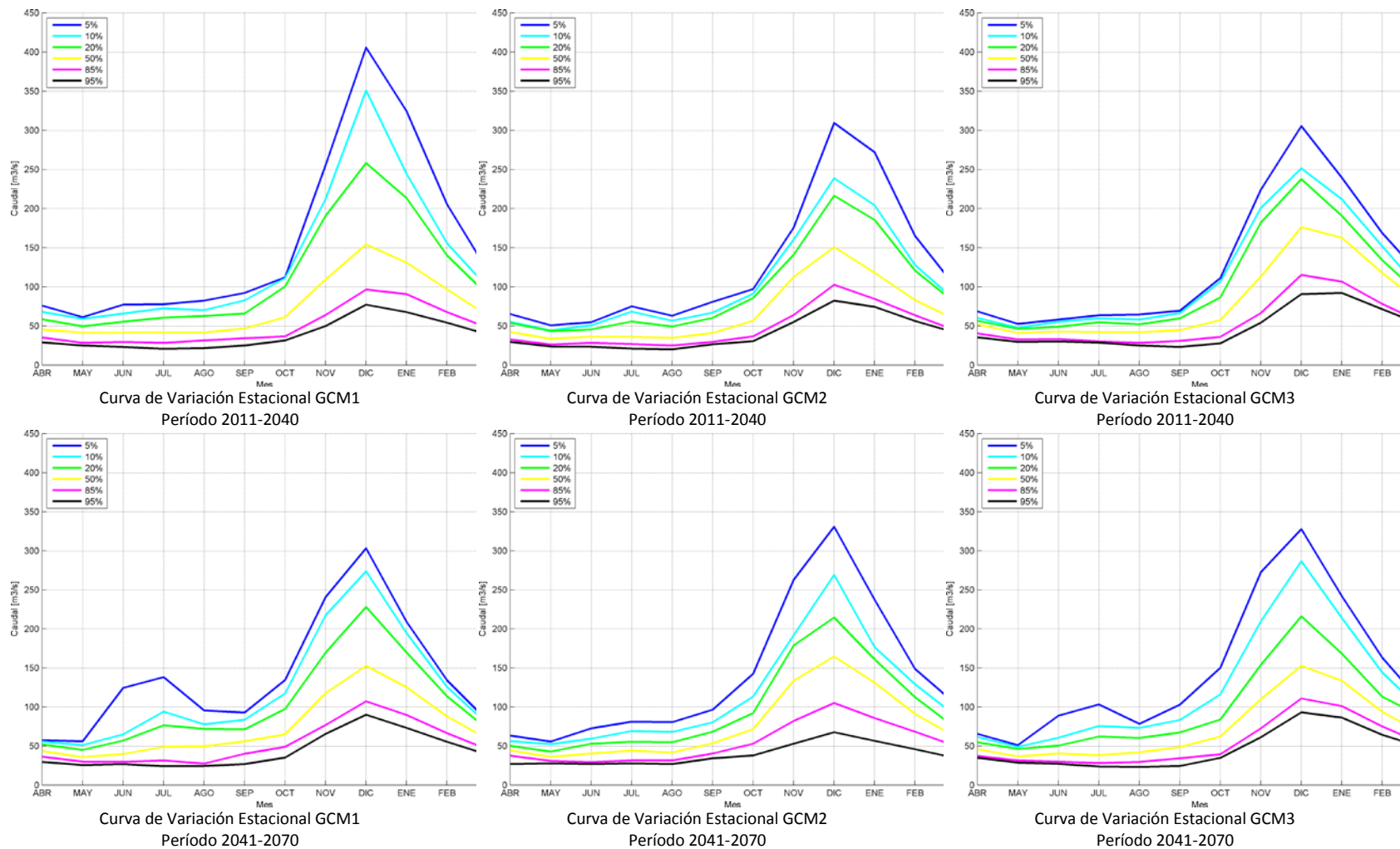


Figura5.16: Simulación futura de la CVE de Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

Tabla 5.4: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario A2.

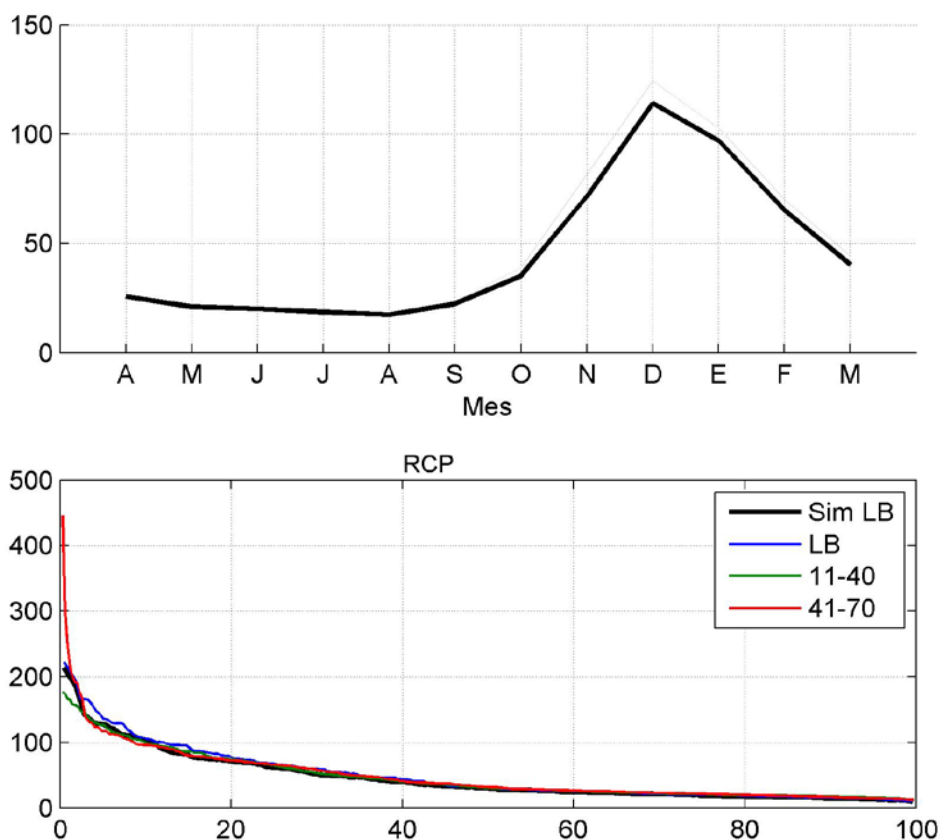
Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	50,3	0,5	2,3	5	-13	-6	0,2	-12,5	-10,1	-6,8
May	40,9	-1,4	1,3	3,1	-13,7	-5,1	-0,3	-7,8	-6,9	-5,2
Jun	40,1	-2,2	1,6	5,9	-6,4	2,2	7,1	5,2	10,7	18,9
Jul	37,8	-2,2	3,3	10,6	7,6	13,7	18,5	22,8	32	49,9
Ago	36,9	-3,5	2,8	10,5	2,5	13,8	25,3	21,3	29,5	42,9
Sep	44,1	1,9	5,5	12	2,1	6,8	15,4	20	25,6	31,9
Oct	63	6,1	7,9	9,3	-4,7	-0,2	4,4	7,6	13,8	20,7
Nov	119,6	4,5	6,7	9	-9,7	-1,2	3,6	0,1	7,5	13,2
Dic	180,2	1,5	4,9	7,5	-8,4	-2,4	0,8	-7,3	-4,7	-3,2
Ene	164,7	2,2	3,5	5,4	-16	-9,5	-3,7	-19,6	-17,7	-14,9
Feb	117	2,2	3	4,6	-19	-11,2	-3,4	-21	-18,7	-14,2
Mar	76,1	2,5	3,4	3,8	-18,3	-10	-1,3	-21,1	-15,6	-8,9

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 7% hacia el 2070. En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas glaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3; adicionalmente el comportamiento del caudal peak no muestra variaciones significativas en términos de mes de ocurrencia (DIC). Los valores medios mensuales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (11%), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino traslado del centro de gravedad del hidrograma hacia los meses invernales, debido al retroceso que tiene el área nival y glaciar. Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta baja conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución de los caudales.

5.2 Simulación en línea base y futura con retroceso glaciar: Sistema Maipo, Escenario RCP2.6

De acuerdo a lo señalado en la metodología, los resultados que aquí se presentan corresponden a los obtenidos con las forzantes meteorológicas entregadas por la nueva versión del modelo MK3.0 denominada MK3.6 y que corresponde al acá denominado GCM2-1.

5.2.1 Subcuenca Maipo en las Melosas



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulado por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.17: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

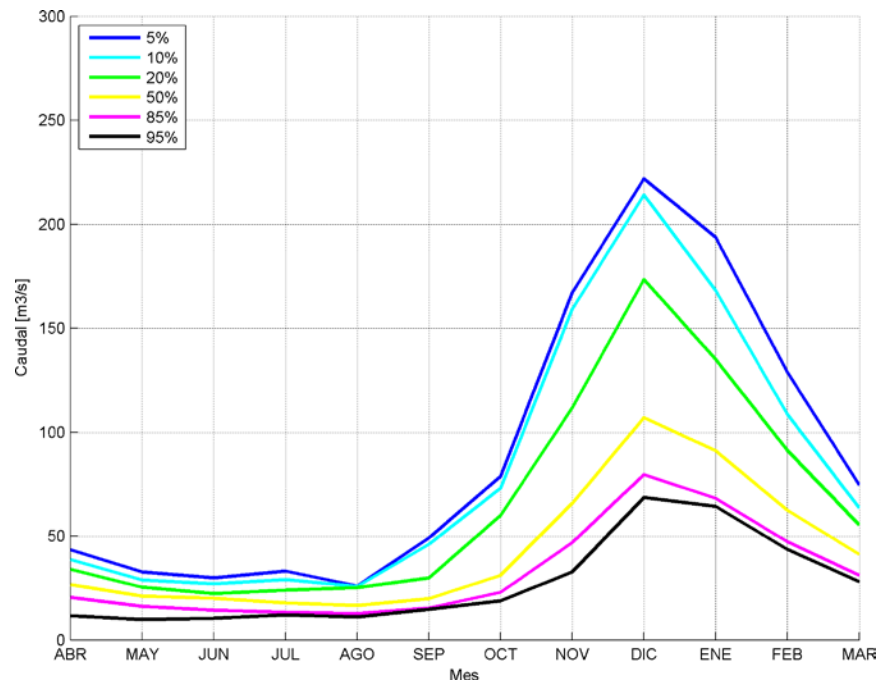
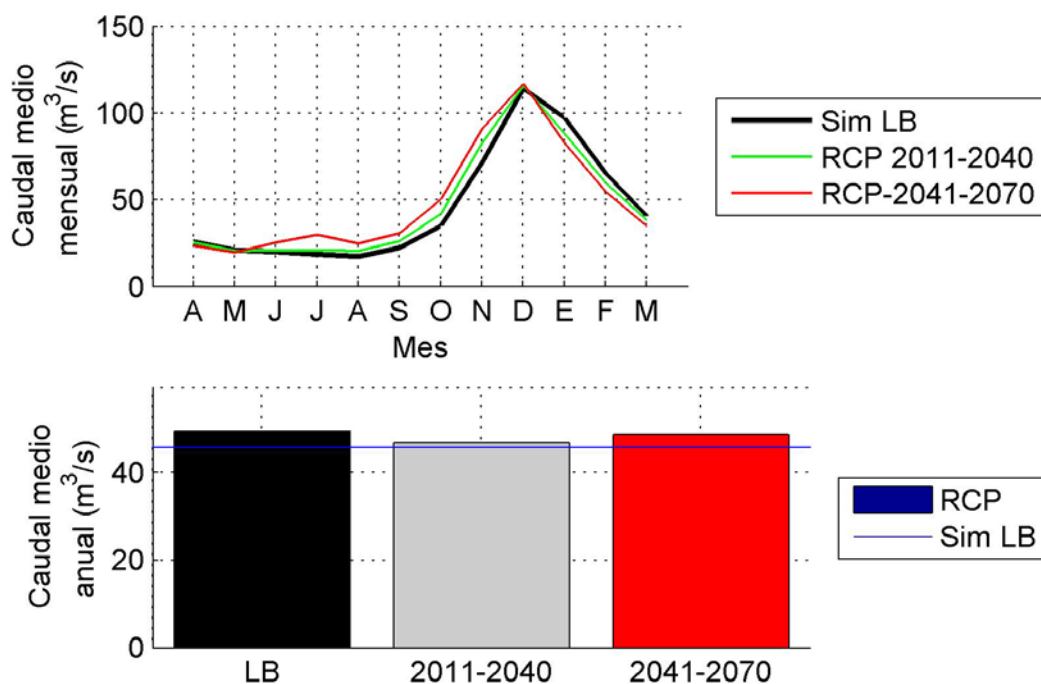


Figura 5.18 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Maipo en las Melosas en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad, pero comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 tiende a sobrestimar los caudales en valores en torno al 5%.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (verde y rojo)
Panel Inf: Magnitud del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.19: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir levemente en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 5%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis. Este efecto, si bien indica que en términos promedio se tendrán reducciones del orden de 2% hacia el 2070, se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento de las precipitaciones a futuro, leve para la ventana 1, pero mayor para la ventana 2.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivoglaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones en los meses invernales. y de la magnitud de los máximos.

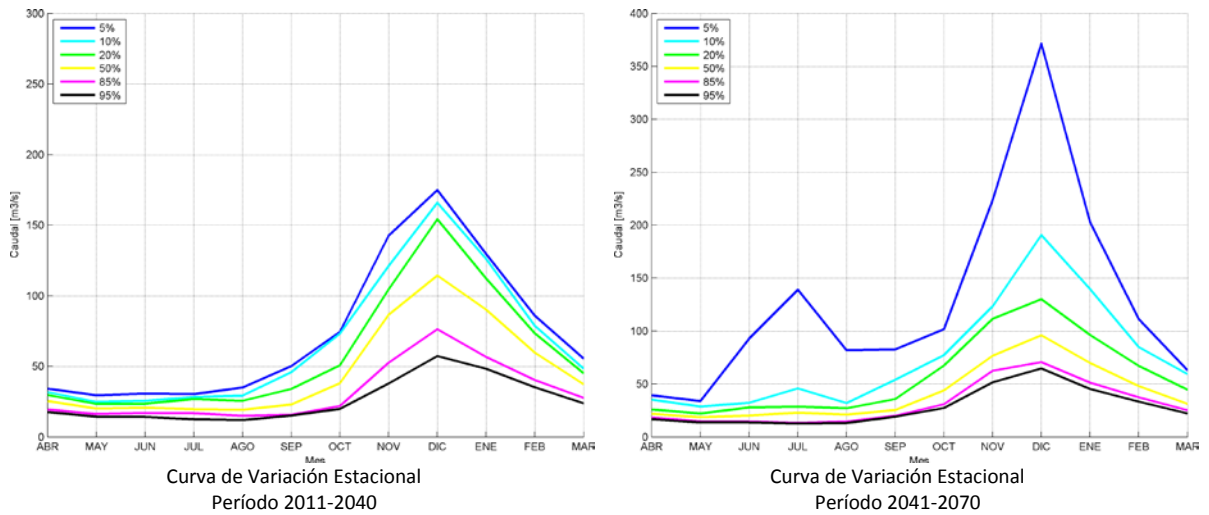


Figura 5.20: Simulación futura de la curva de variación estacional de Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.5: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en las Melosas, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 L.B.	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	25,7	6,3	-1,1	-8,5
May	21	1,9	-1,5	-6,2
Jun	20	-1,2	3,6	27
Jul	18,6	3,1	13,4	60,8
Ago	17,3	5,2	18,3	43,2
Sep	22,4	5,8	17,2	37,4
Oct	35	11,4	19,6	43,6
Nov	71,4	14,5	15,8	27,1
Dic	114,1	9,1	1,4	2,4
Ene	97	6,1	-9,4	-14,9
Feb	65,1	7,9	-8,5	-16,3
Mar	40,4	10,1	-5,6	-14

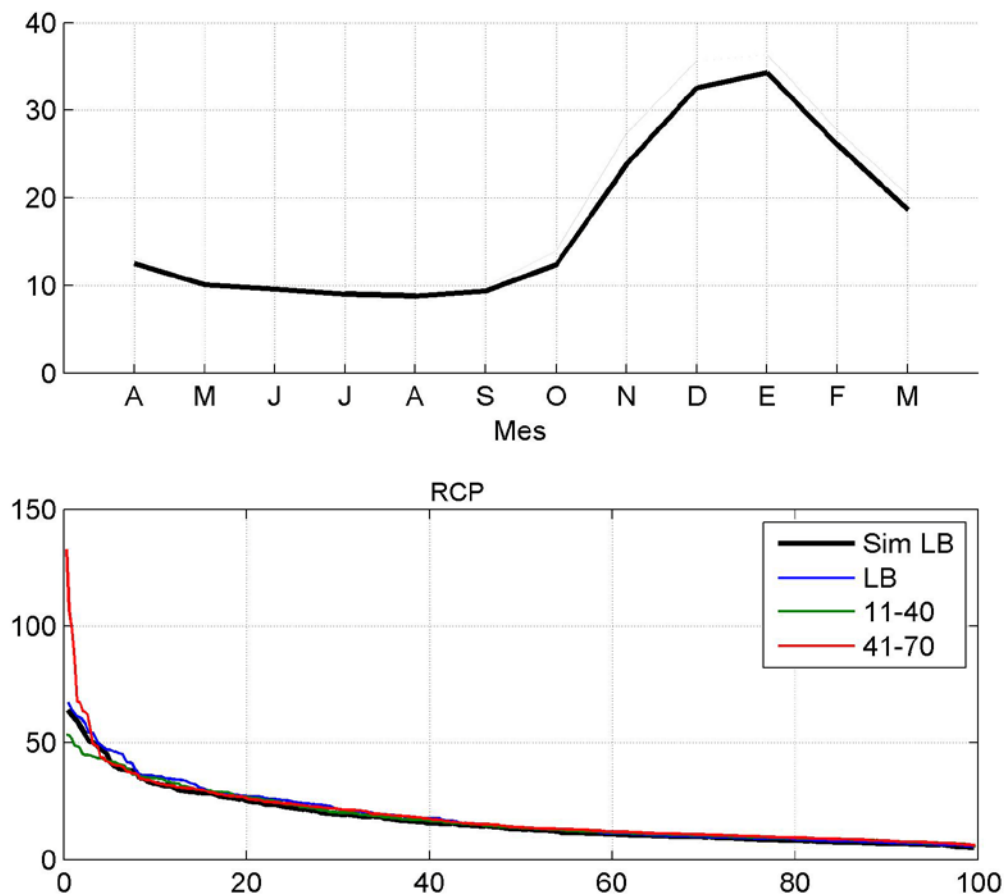
El comportamiento del caudal peak no sufre cambios que se reflejen en la CVE del GCM analizado, además el comportamiento del año promedio no permite asegurar que en general se podría tener un adelanto del caudal peak respecto de la línea base. Este se sigue produciendo en Diciembre.

Sin embargo en la ventana del 2041-2070 parecieran presentarse algunas precipitaciones mensuales de gran magnitud en el período invernal que justificarían el alto valor de la curva de variación estacional de caudales asociada a la probabilidad de excedencia del 5%.

Los valores medios mensuales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (12% de Enero a Mayo), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial en los años húmedos, observándose un segundo peak en Julio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular de la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que en promedio la señal es hacia la disminución, pero en menor magnitud que la observada en A2.

5.2.2 Subcuenca Volcán en Queltehues



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.21: Comportamiento del modelo en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

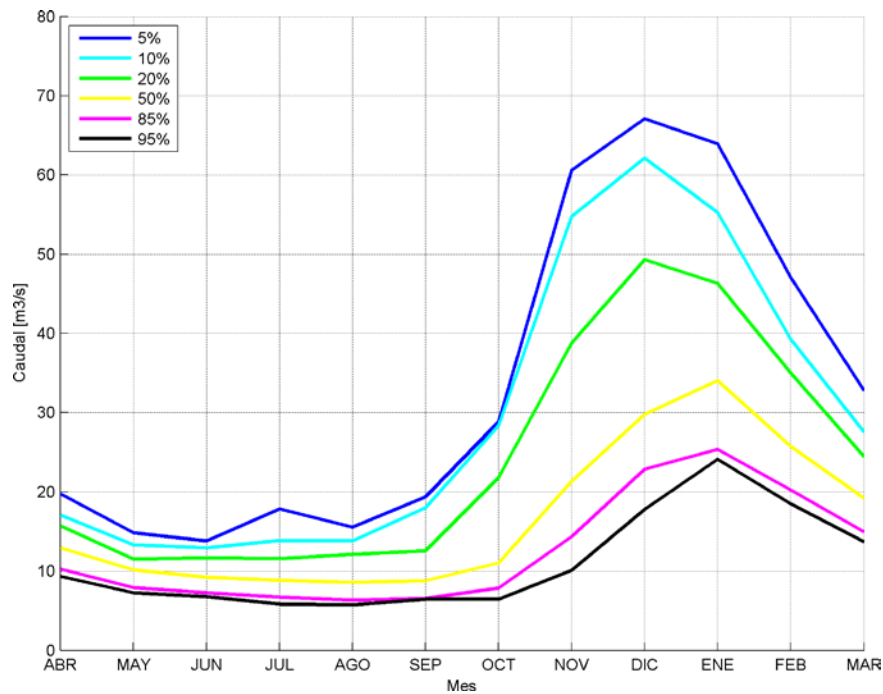
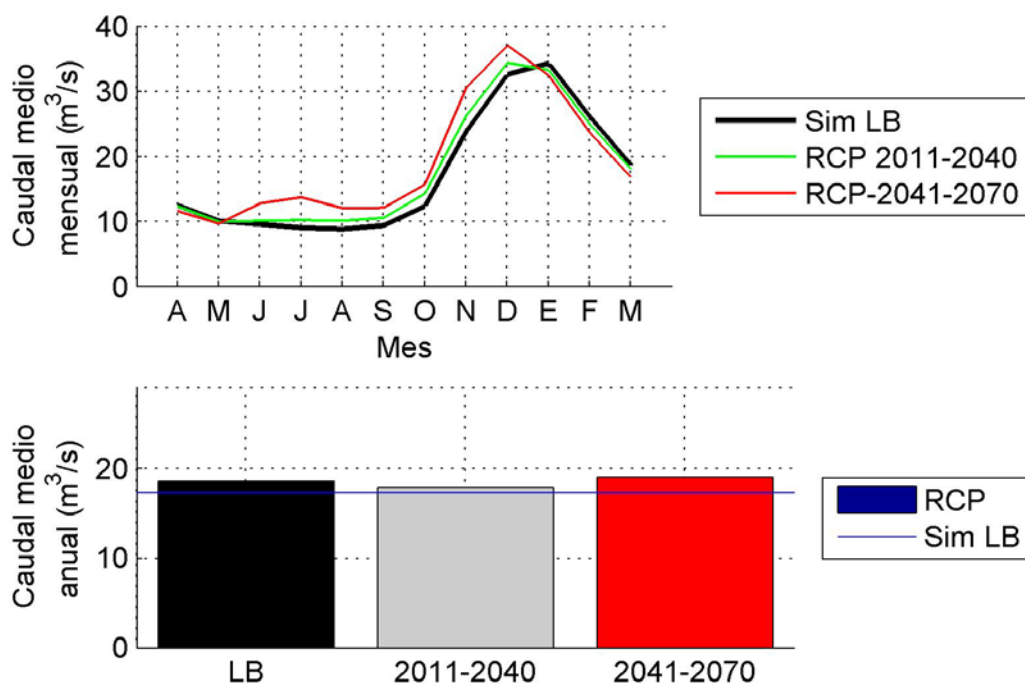


Figura 5.22 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Volcán en Queltehues en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Diciembre para probabilidades bajas y en Enero para las probabilidades altas. En general tiende a sobrestimar los caudales en valores en torno al 2%. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los mayores caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (verde y rojo)

Panel Inf: Magnitud del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.23: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Volcán en Queltehués, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 5%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis. Este efecto, si bien indica que en términos promedio se tendrán reducciones del orden de 4% pasado el 2070, se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento leve de las precipitaciones a futuro, leve para la ventana 1, pero mayor para la ventana 2.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivoglaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones en los meses invernales.

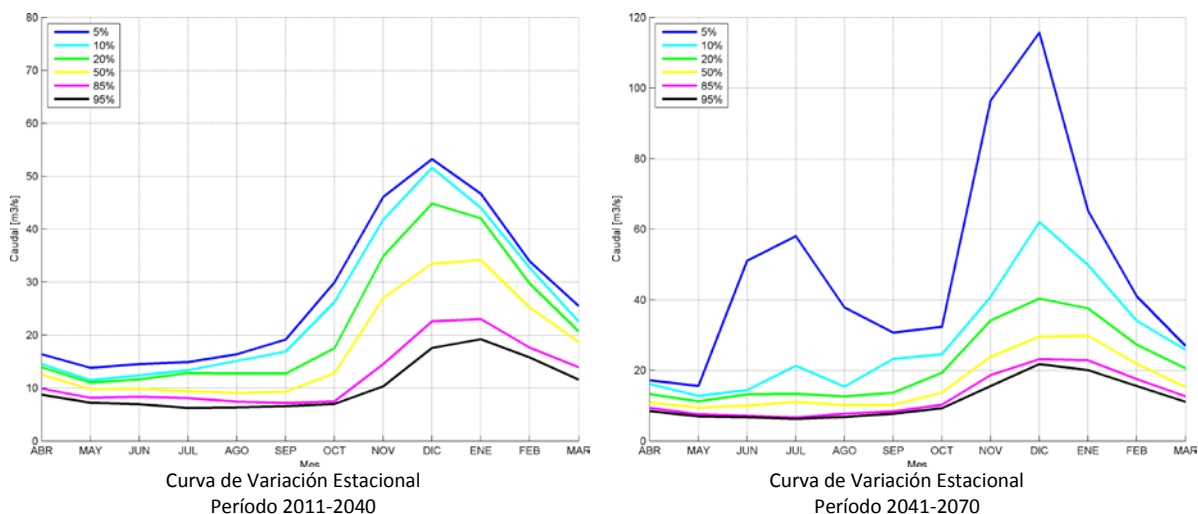


Figura 5.24: Simulación futura de la curva de variación estacional de Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.6: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Volcán en Queltehues, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 L.B.	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	12,5	5,8	-1,3	-7,1
May	10,1	1,2	-1,3	-4,2
Jun	9,6	0,3	5,4	33,4
Jul	9	4,6	13	52
Ago	8,8	4,2	14,3	36,3
Sep	9,4	5,5	12,5	29
Oct	12,4	13,4	15,7	27
Nov	23,8	15,1	10,1	28,1
Dic	32,5	9,6	5,5	13,7
Ene	34,3	6,3	-3,1	-5,5
Feb	26,1	6,5	-4,5	-9,5
Mar	18,6	9,1	-3,4	-10,2

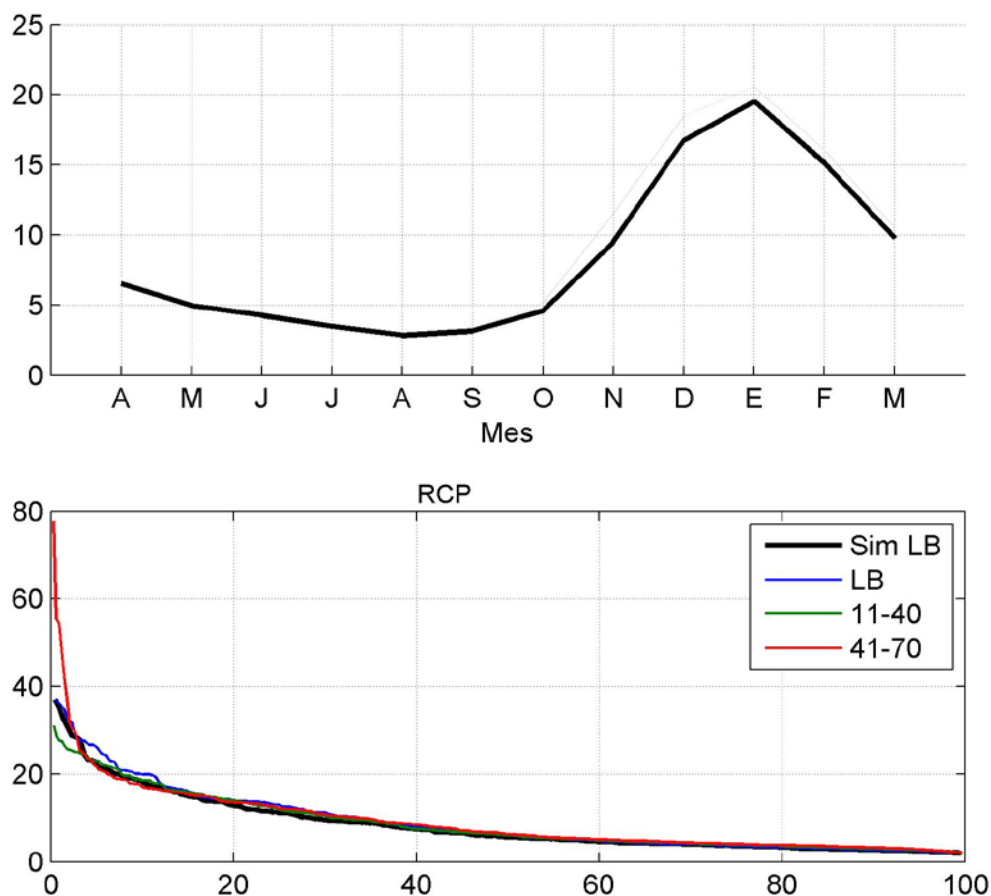
El comportamiento del caudal peak no sufre cambios que se reflejen en la CVE del GCM analizado, pero el comportamiento del año promedio permite suponer que en general se podría tener un adelanto del caudal peak respecto de la línea base.

La ventana del 2041-2070 presenta algunas precipitaciones mensuales de gran magnitud que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un segundo caudal peak que empieza a aparecer en el mes de Julio.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (7% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Julio en los años húmedos.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular de la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal promedio es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar un caudal medio anual ligeramente superior al de la línea base.

5.2.3 Subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.25: Comportamiento del modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

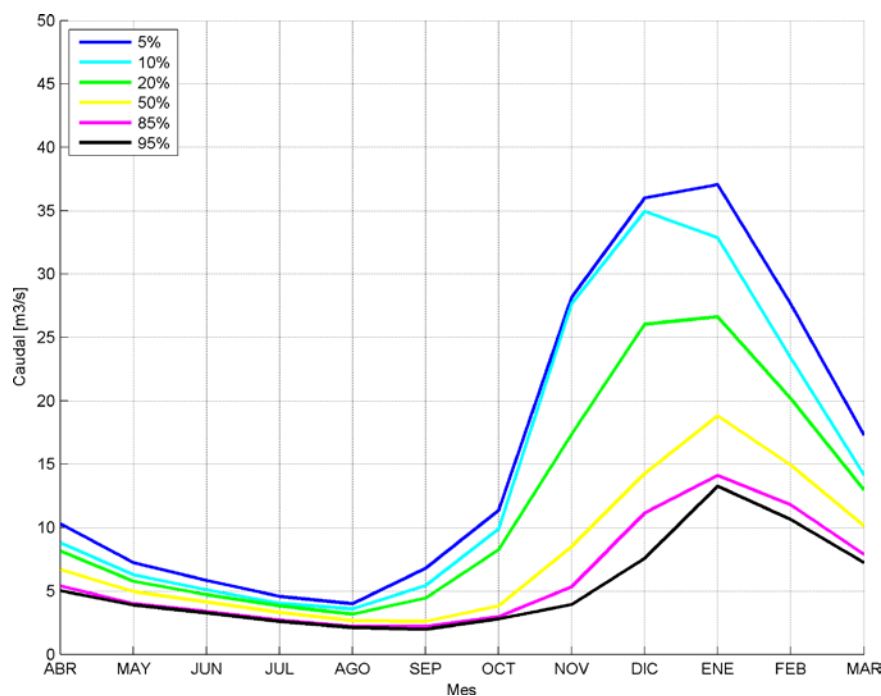
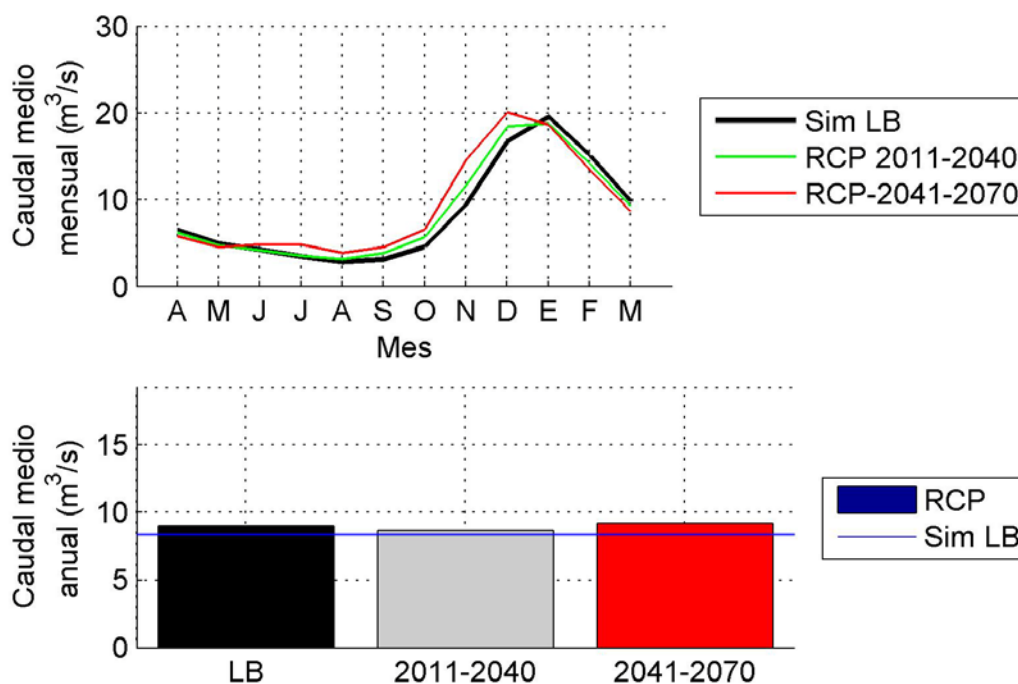


Figura 5.26 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Afluente al Embalse el Yeso en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Enero salvo para la probabilidad de excedencia del 10%. En general tiende a sobre estimar los caudales en valores en torno al 3%. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los máximos caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (verde y rojo)
Panel Inf: Magnitud del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.27: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Afluyente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 4%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis cercana a un 6%. Este efecto se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento leve de las precipitaciones a futuro.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivoglaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones en el período invernal.

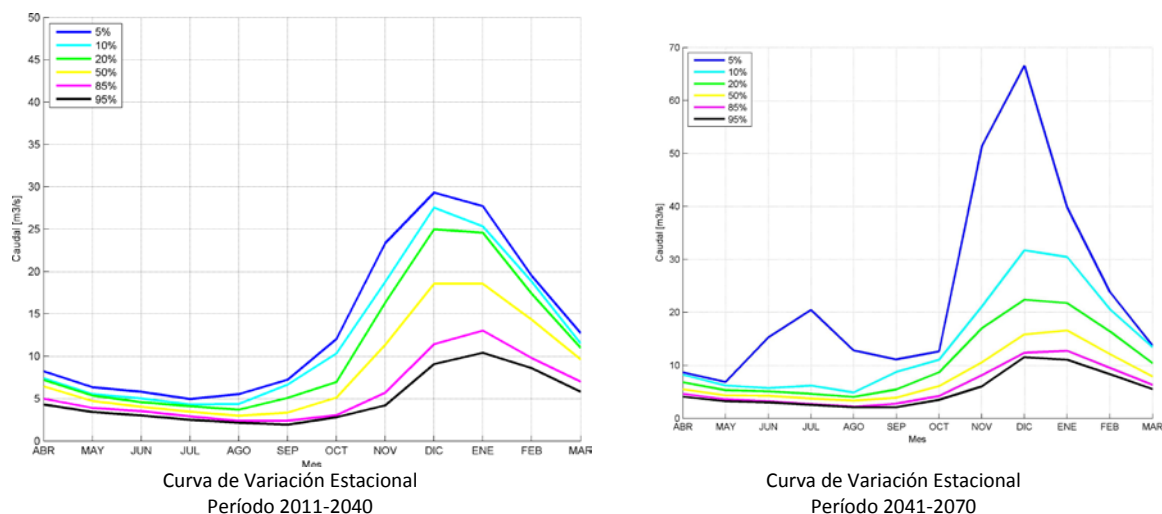


Figura 5.28: Simulación futura de la curva de variación estacional de Afluente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.7: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Afluente al Embalse el Yeso, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 L.Base	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	6,5	6	-4,6	-10,8
May	5	2,4	-4	-8,2
Jun	4,3	-1,4	-1,7	14,7
Jul	3,5	-2,7	2,2	39,5
Ago	2,8	-1,7	11,1	36,6
Sep	3,1	0	22,8	44,8
Oct	4,6	13,5	24,3	43,3
Nov	9,5	22,1	23,1	54
Dic	16,7	10,6	10,2	19,8
Ene	19,5	5,3	-4	-4,8
Feb	15,1	6,2	-6,6	-11,3
Mar	9,8	7,8	-5,8	-12,1

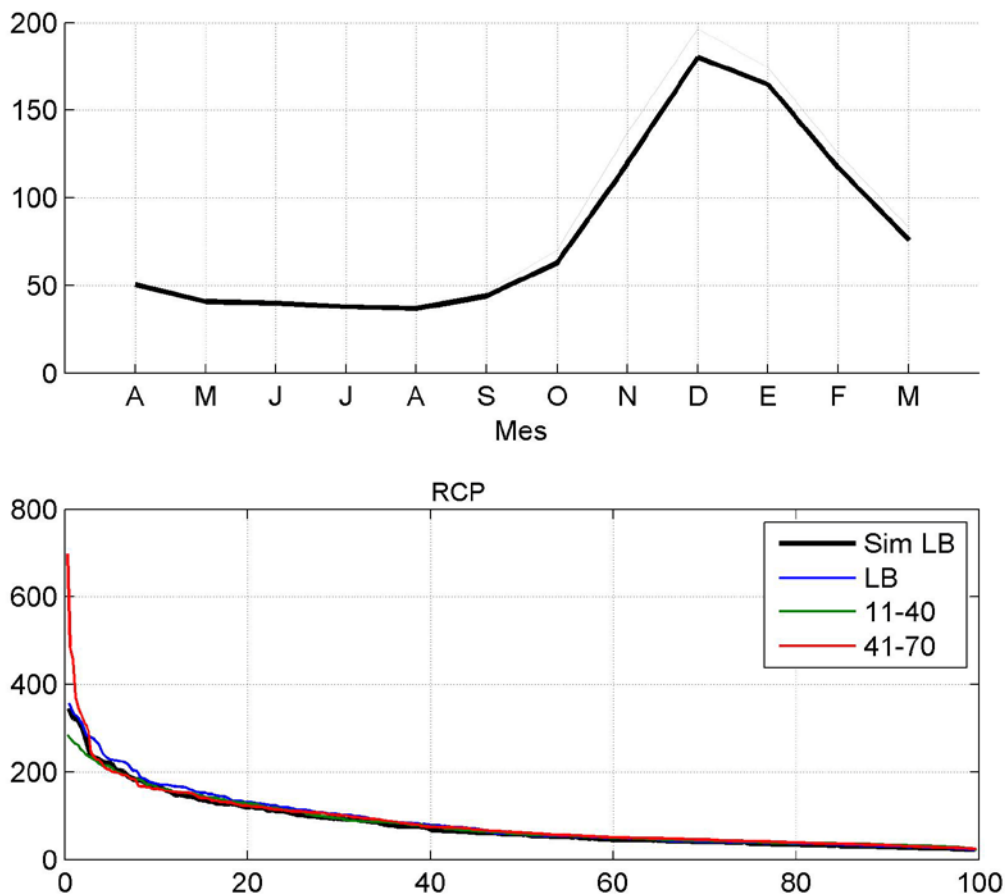
El comportamiento del caudal peak que se refleja en la CVE del GCM analizado, respaldado por el comportamiento del año promedio, permite suponer que en general se podría tener un adelanto del caudal peak respecto de la línea base hacia el mes de Diciembre.

La ventana del 2041-2070 presenta algunos meses con precipitaciones que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un segundo máximo que empieza a aparecer en el mes de Julio en los años húmedos.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en la curva de recesión del período de deshielo (9% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Julio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular sobre la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal promedio es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar un caudal medio anual ligeramente superior al de la línea base.

5.2.4 Maipo en San Alfonso



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.29: Comportamiento del modelo en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB y períodos futuros, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

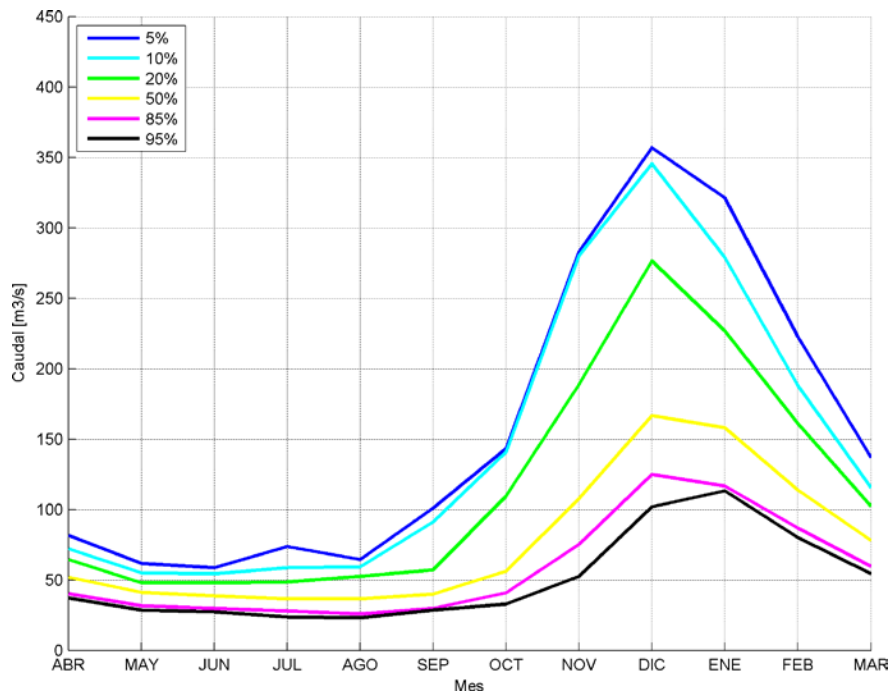
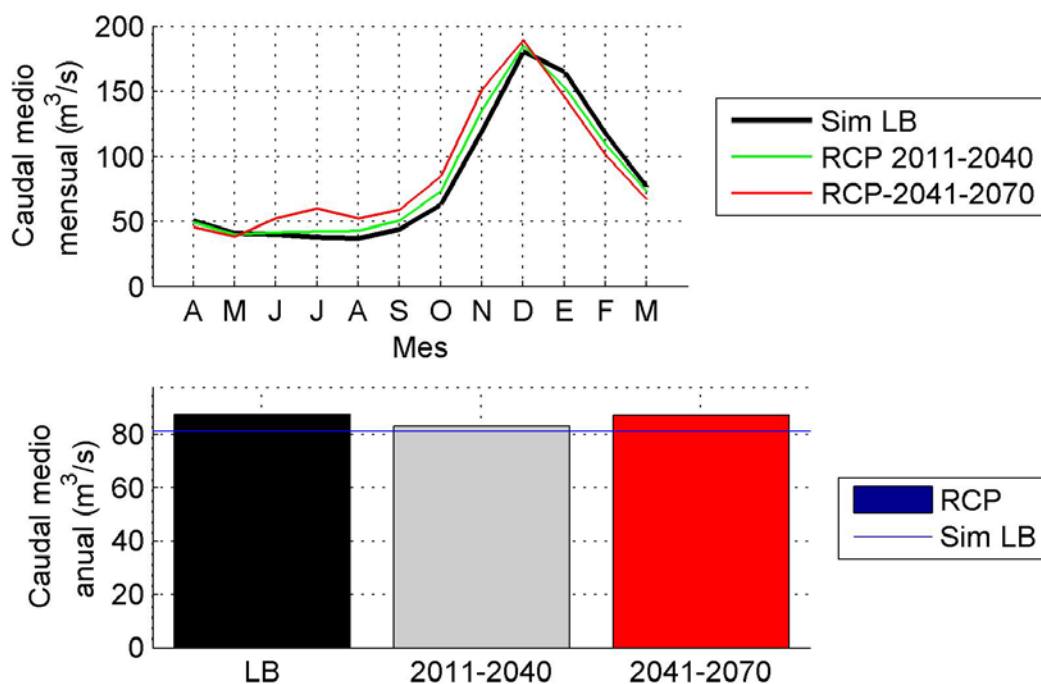


Figura 5.30 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Maipo en San Alfonso en LB, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Diciembre salvo para la probabilidad del 85%. En general tiende a sobrestimar los caudales en valores en torno al 3%. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los máximos caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (verde y rojo)

Panel Inf: Magnitud del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.31: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 5%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis cercana a un 5%. Este efecto se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento leve de las precipitaciones a futuro.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivoglaciares y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones en el período invernal.

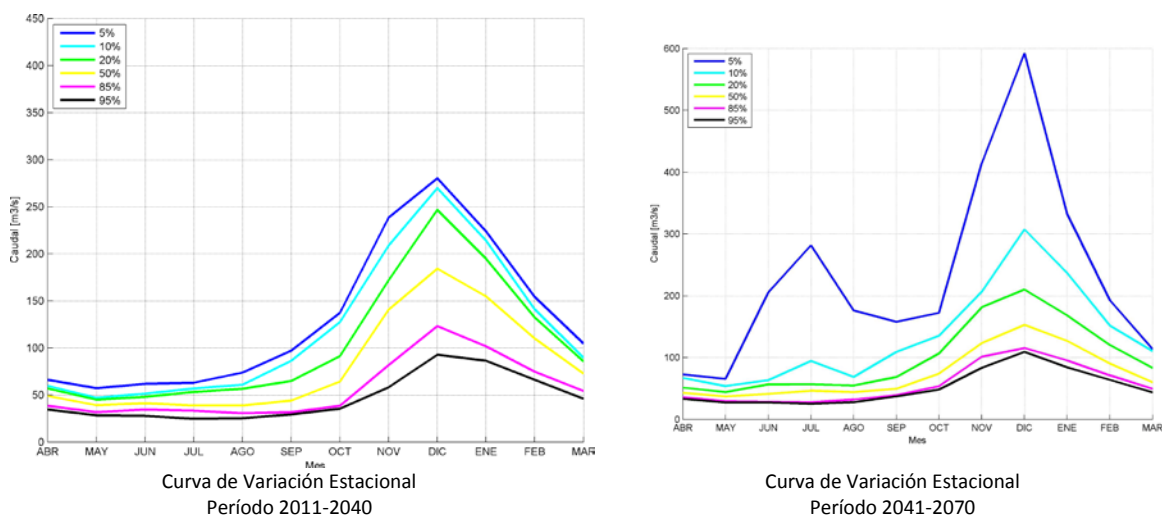


Figura 5.32: Simulación futura de la curva de variación estacional de Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.8: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Maipo en San Alfonso, con retroceso glaciar. Escenario RCP2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 L.B.	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	50,3	5,9	-2,1	-9,1
May	40,9	1,4	-2,2	-6,2
Jun	40,1	-0,4	4	30,8
Jul	37,8	5,3	12,1	58,9
Ago	36,9	6,7	16,2	41,6
Sep	44,1	6,3	15	34
Oct	63	11,8	16,4	34,5
Nov	119,6	14,8	13,3	26,5
Dic	180,2	9,1	2,5	4,9
Ene	164,7	5,9	-7,1	-11,8
Feb	117	7,2	-6,9	-13,9
Mar	76,1	9,4	-4,7	-12,6

El comportamiento del caudal peak no sufre cambios que se reflejen en la CVE del GCM analizado. Esto es respaldado por el comportamiento del año promedio, lo que permite suponer que en general el caudal peak se sigue produciendo en el mes de Diciembre al igual que en el período de línea base.

La ventana del 2041-2070 presenta algunos meses con precipitaciones que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un segundo máximo que empieza a aparecer en el mes de Julio en los años húmedos.

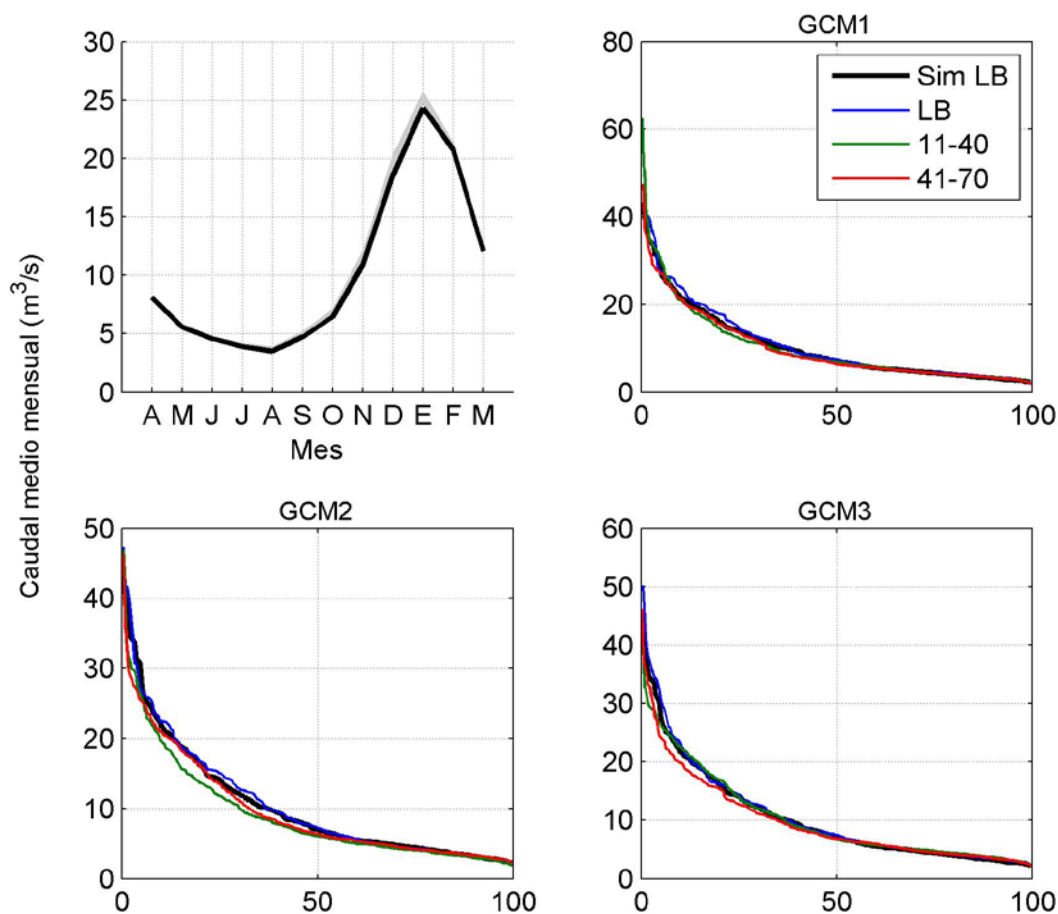
Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en la curva de recesión del período de deshielo (10% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Julio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular sobre la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal promedio es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar un caudal medio anual ligeramente superior al de la línea base.

.

5.3 Simulación futura: Sistema Colorado, Escenario A2

5.3.1 Subcuenca Olivares antes junta Colorado



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.33: Comportamiento del modelo en subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB y períodos futuros. Escenario A2.

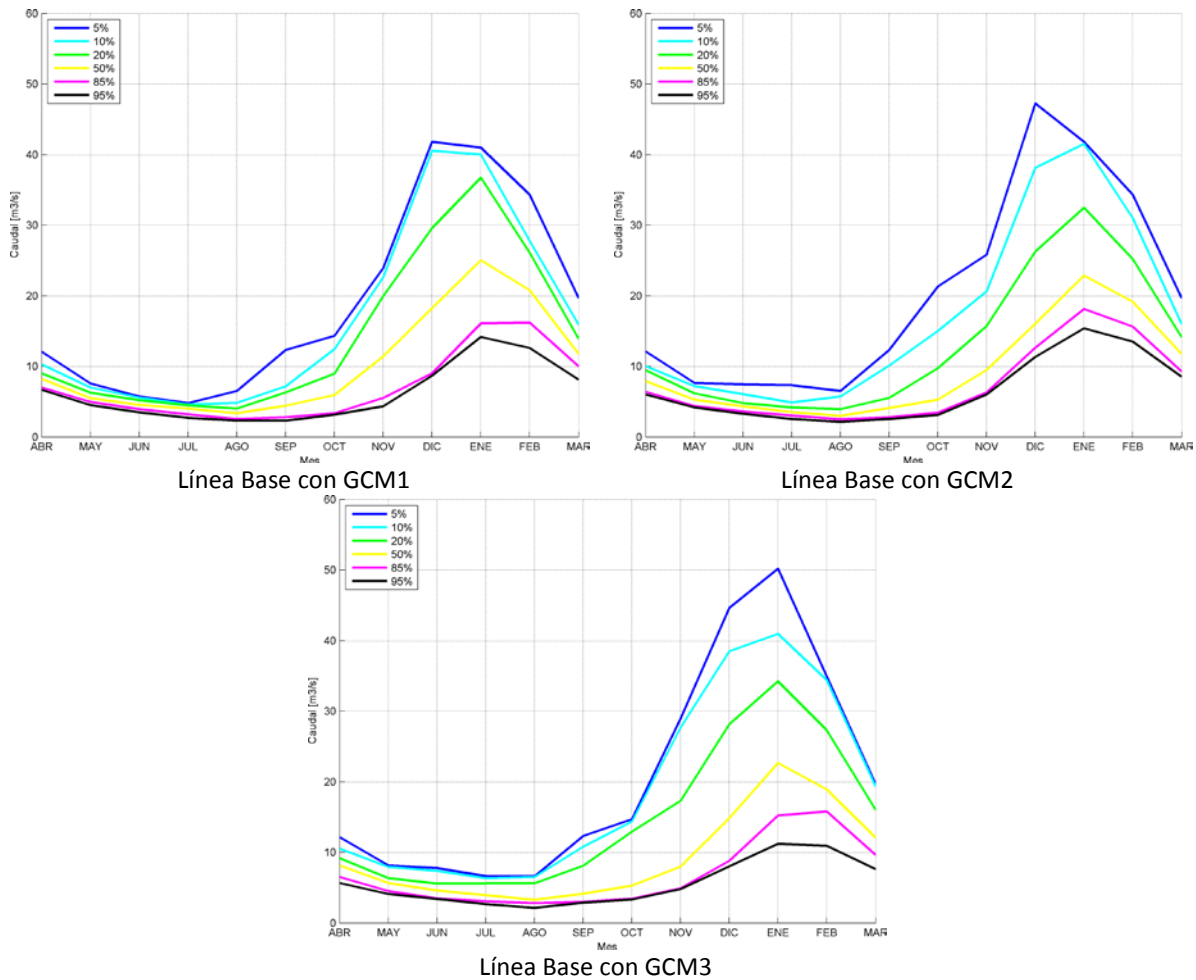
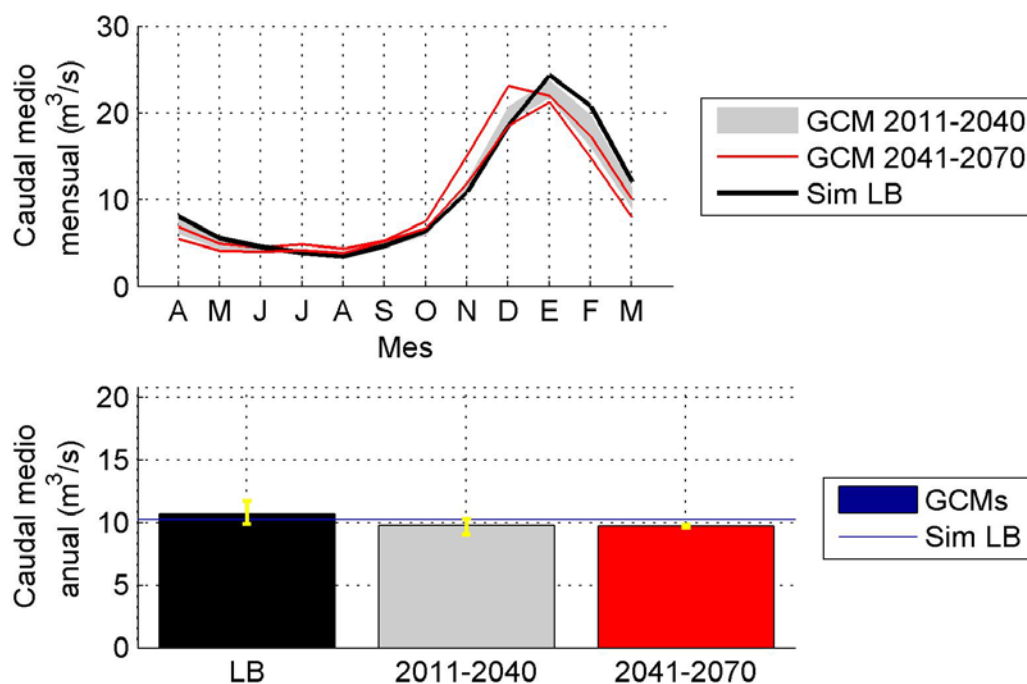


Figura 5.34 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB. Escenario A2.

Las curvas de variación estacional que se obtienen al utilizar las forzantes meteorológicas obtenidas con los tres modelos GCM no se consideran muy similares a las simuladas con el modelo hidrológico para las probabilidades de excedencia altas, sin embargo para probabilidades altas es el modelo GCM2 el que presenta mayor similitud.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.35: Variación estacional y montos por período para el modelo en subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario A2.

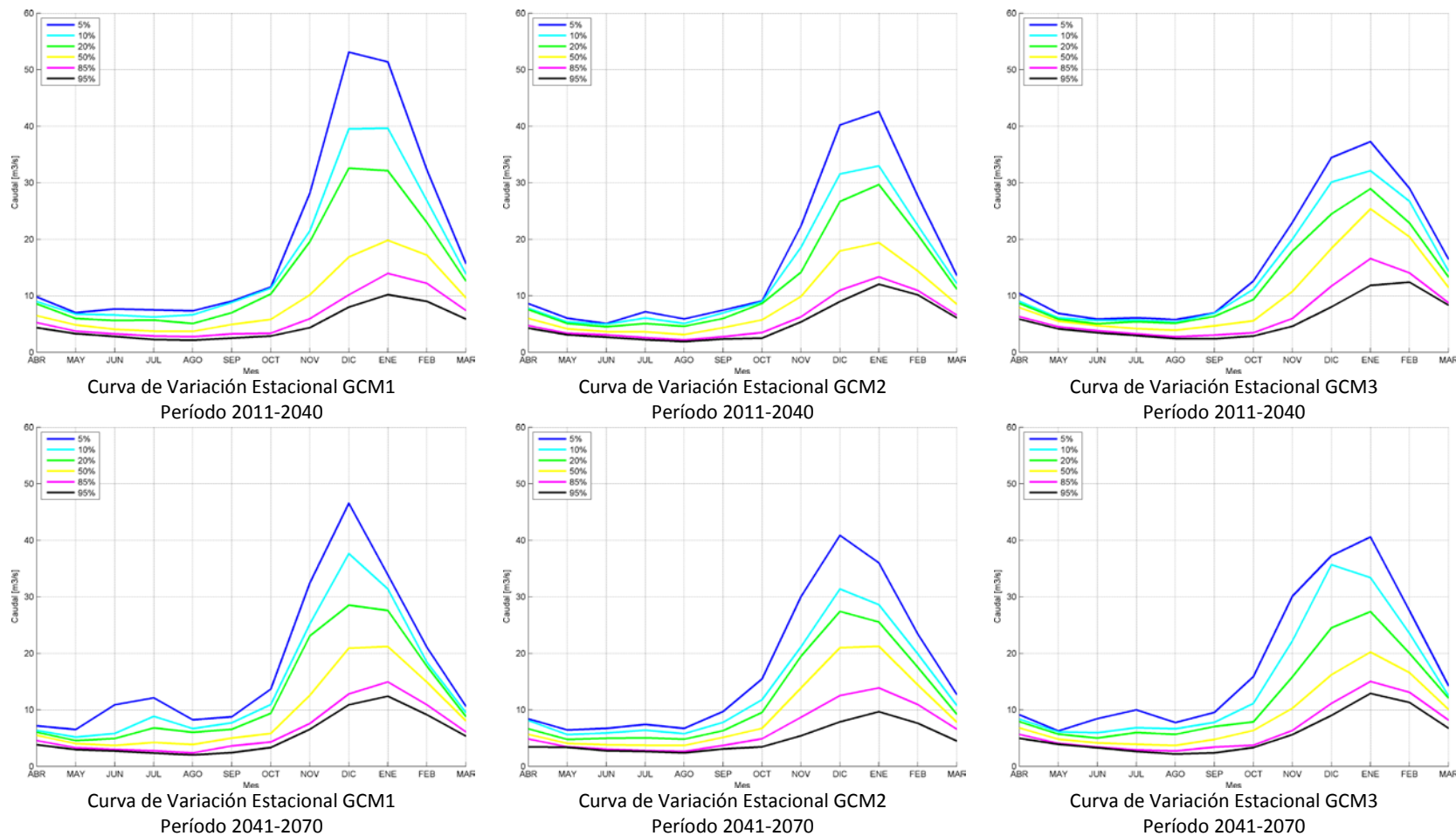


Figura 5.36: Simulación futura de la curva de variación estacional de subcuenca Olivares antes junta Colorado. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

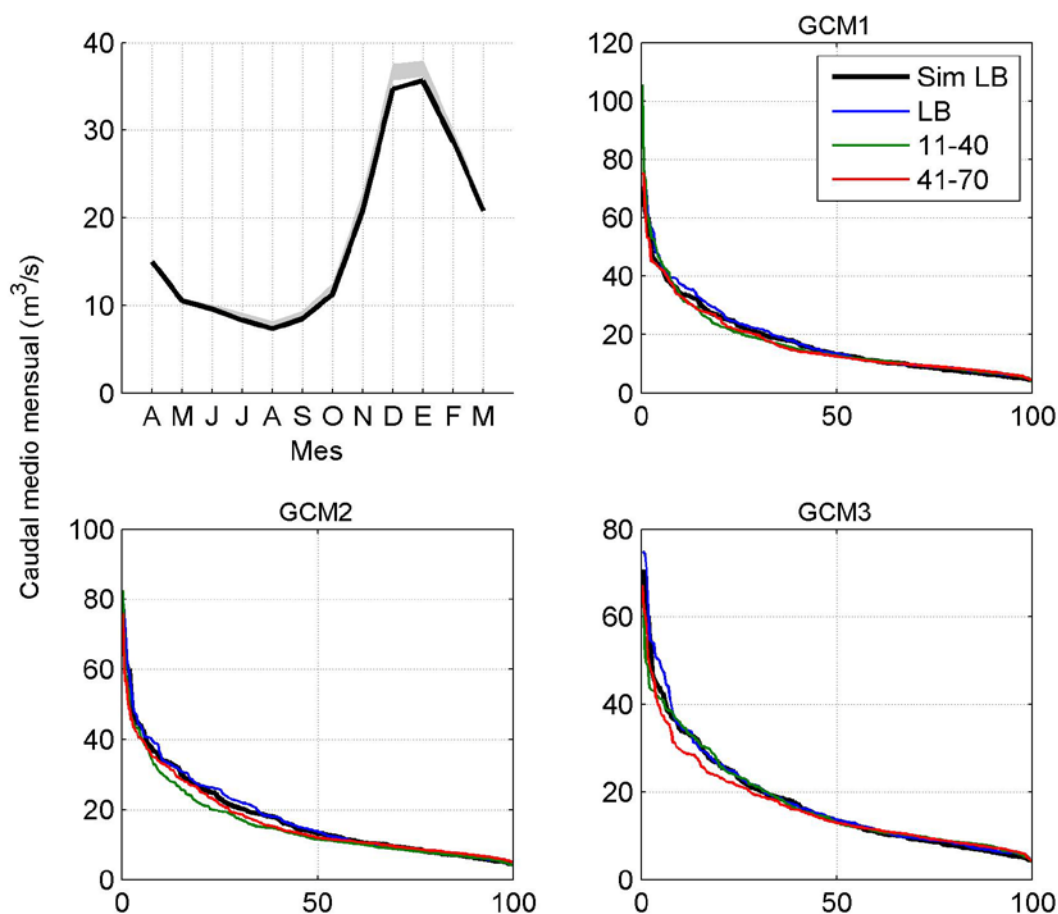
Tabla 5.9: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	8,1	-0,7	1,2	2,5	-25,1	-15	-3,9	-32,4	-25,4	-15
May	5,6	-2	0,9	3	-22,8	-12,2	-3,7	-25,7	-20,2	-11,5
Jun	4,6	-2,9	0,8	5,2	-16	-6,1	0,7	-12,5	-6,6	-1,5
Jul	3,9	-3,3	2	9,4	-0,6	6,2	10,9	6,9	15,2	24,2
Ago	3,5	-4,9	2,5	12,3	-2,1	9,3	16,5	10,2	17,9	24,2
Sep	4,7	2,5	5,7	12	-6,3	1,5	9,9	11,2	12,2	12,8
Oct	6,4	5,7	8,6	11,1	-8,7	-2,6	1	4,4	8,8	17,2
Nov	10,9	5	7,3	11,7	-0,6	7,3	12,8	9,5	27,9	38,9
Dic	18,5	2,5	6,6	9,9	2,2	7,1	12	-0,2	14,3	24,6
Ene	24,3	1,7	4	5,8	-10,9	-5,3	-2,3	-12,7	-10,9	-9,7
Feb	20,8	0,7	2,2	3,1	-23,2	-14	-4,9	-28,7	-24,6	-16,8
Mar	12,1	-0,1	1,9	4,2	-26,5	-16,4	-4,8	-34,3	-27,8	-17,1

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 9% hacia el 2070.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3, sin embargo, para la ventana del 2070, se esperan disminuciones en ambos períodos. Adicionalmente el comportamiento del caudal peak sufre un adelanto al mes de Diciembre para el GCM2, pero que no respaldan los GCM 1 y 3. Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (18%), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, debido al retroceso que tiene el área nival. Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta baja conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución.

5.3.2 Sistema Colorado antes junta Olivares



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.37: Comportamiento del modelo en Sistema Colorado antes junta Olivares en LB y períodos futuros. Escenario A2.

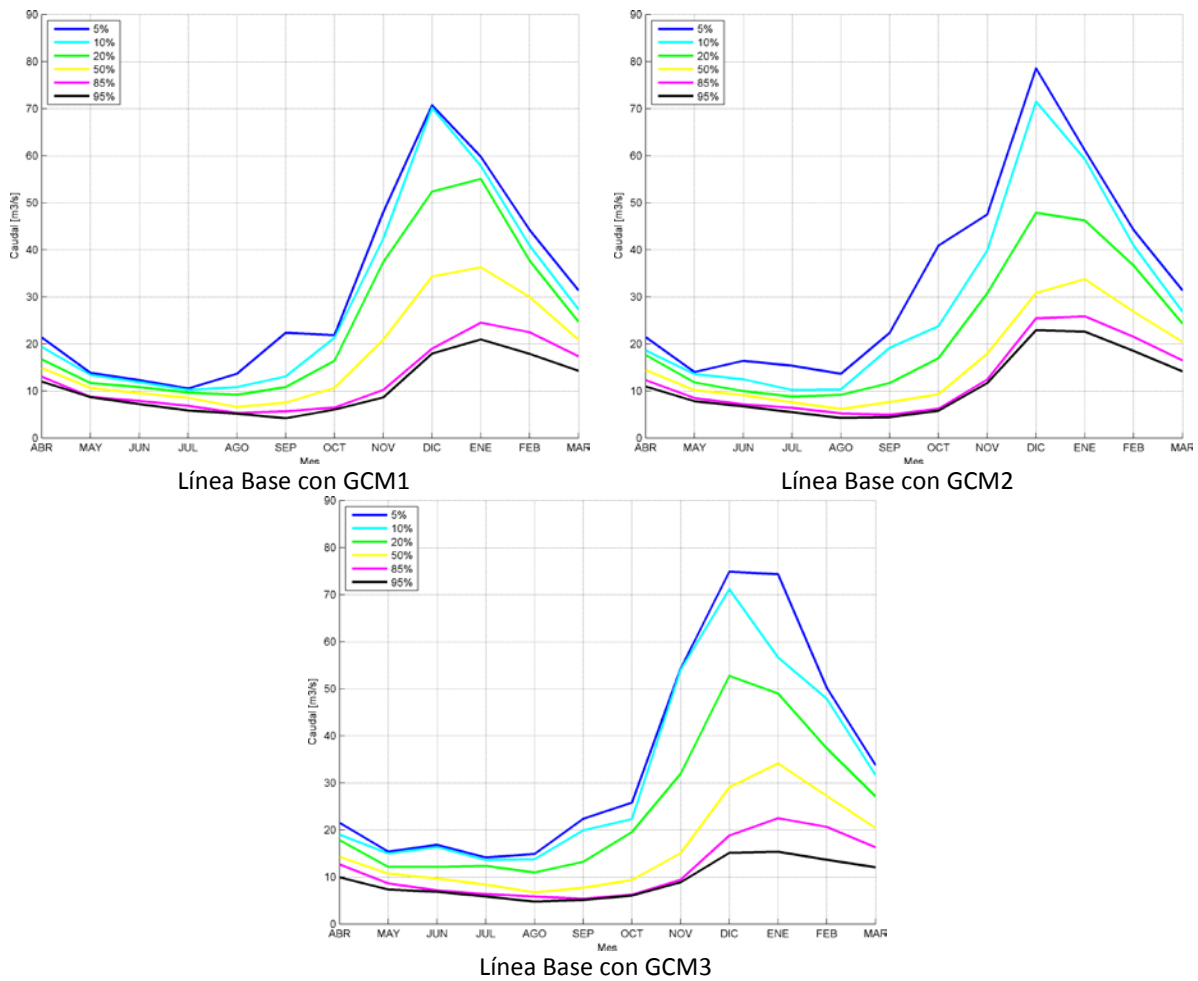
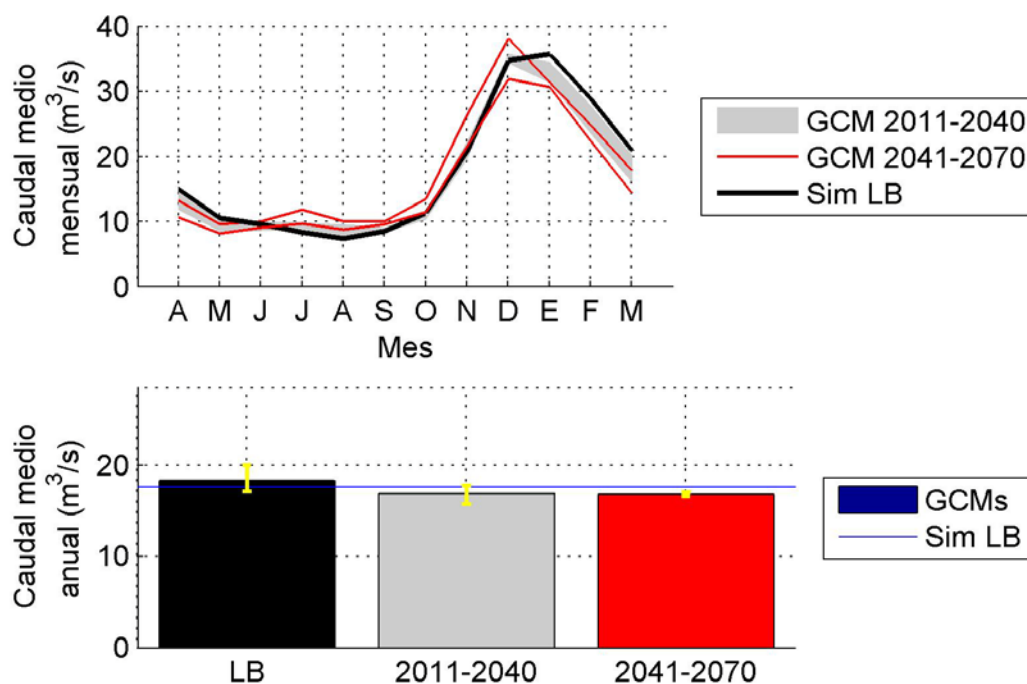


Figura 5.38 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB. Escenario A2.

En relación a las curvas de variación estacional simuladas con las forzantes dadas por los modelos GCM, se aprecia que la correspondiente al modelo GCM1 representa mejor los años húmedos siendo semejantes a las de probabilidades de excedencia altas obtenidas con el modelo GCM2.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.39: Variación estacional y montos por período para el modelo en Sistema Colorado antes junta Olivares. Escenario A2.

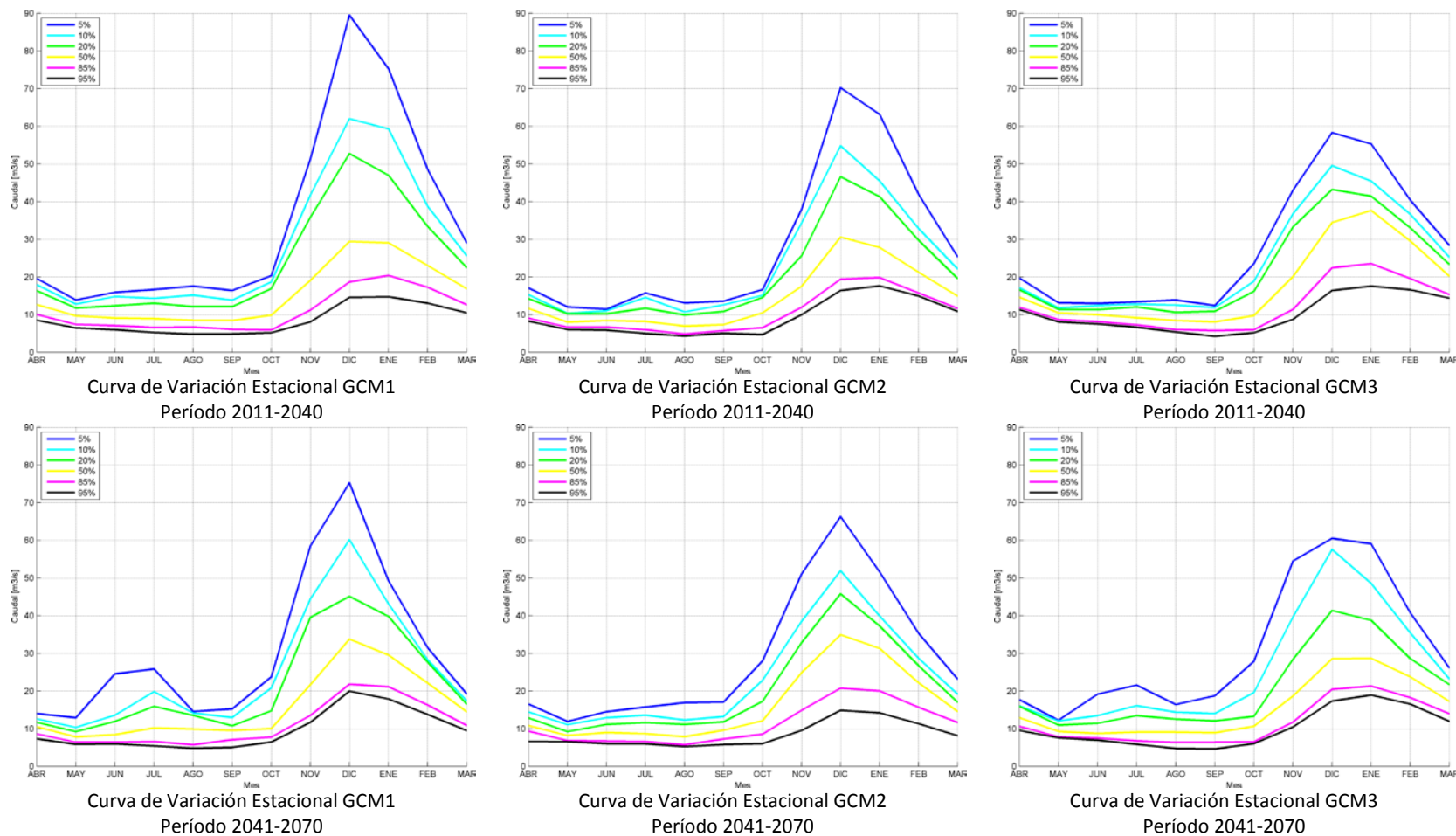


Figura5.40: Simulación futura de la curva de variación estacional del Sistema Colorado antes junta Olivares. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

Tabla 5.10: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, del Sistema Colorado antes junta Olivares. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	15	-0,9	0,8	2,4	-21,5	-11,6	-1,1	-29,1	-22,1	-11,9
May	10,5	-2	0,5	2,2	-19,6	-9,4	-1,6	-22,5	-17,3	-8,9
Jun	9,6	-3,3	0,6	5,5	-10,7	-1,5	4,4	-5,5	1,1	4,5
Jul	8,3	-3,6	2,1	10,1	6,1	13	18,2	16,2	27,3	41,6
Ago	7,4	-4,9	2,8	12,1	2,3	16,7	30,3	18,8	28,6	36,2
Sep	8,5	2,4	6,1	10,9	-3,1	0,6	7,4	12,5	14,4	17,7
Oct	11,3	5,1	7,2	11	-8,9	-4,3	-0,7	1,4	7,8	19,3
Nov	20,8	3,7	6,7	10,9	-6	3	7,7	3,6	17,6	27
Dic	34,7	3	6,1	8,4	-1,3	0,6	3	-8,2	2,5	9,7
Ene	35,7	1,4	4,1	6,5	-12,4	-6,4	-3,4	-14,1	-12,8	-12,1
Feb	28,8	1,5	2,9	4,2	-18,7	-10,8	-3,5	-22,6	-19,7	-14
Mar	20,8	-0,1	1,7	3,3	-23,5	-13,9	-3,1	-31,3	-25	-14,7

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 9% hacia el 2070.

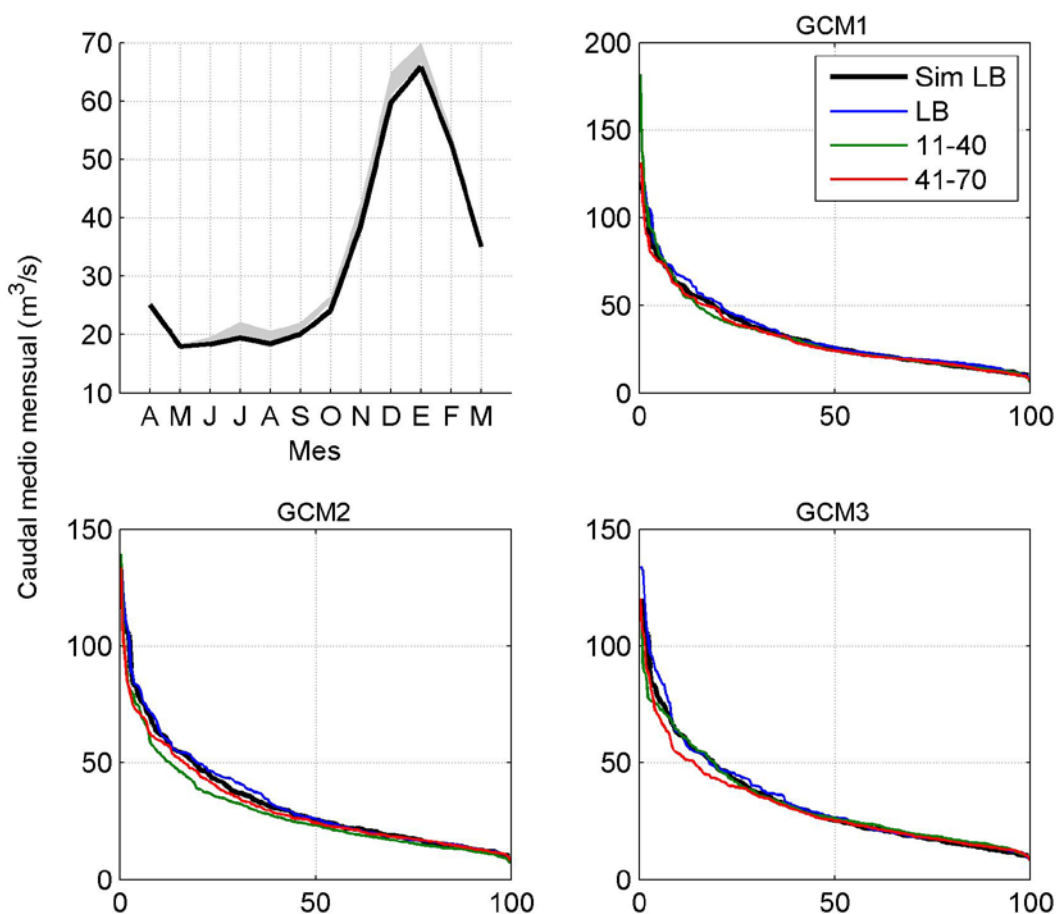
En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3. Adicionalmente el comportamiento del caudal peak no sufre cambios que se reflejen en la CVE de los GCMs, pero el comportamiento del año promedio informa que en general se podría tener un adelanto del caudal peak respecto de la línea base y la CVE del GCM 3 informa que la magnitud del descenso de este caudal es mayor que la predicha por los GCM 1 y 2.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de la curva de recesión del período de deshielo (17%), y a

aumentar en el período de Julio a Diciembre. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, debido al retroceso que tiene el área nival.

Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta baja conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución.

5.3.1 Colorado antes junta Maipo



Panel superior izq: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCMs seleccionados en LB (área gris).

Otros: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.41: Comportamiento del modelo en subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB y períodos futuros. Escenario A2.

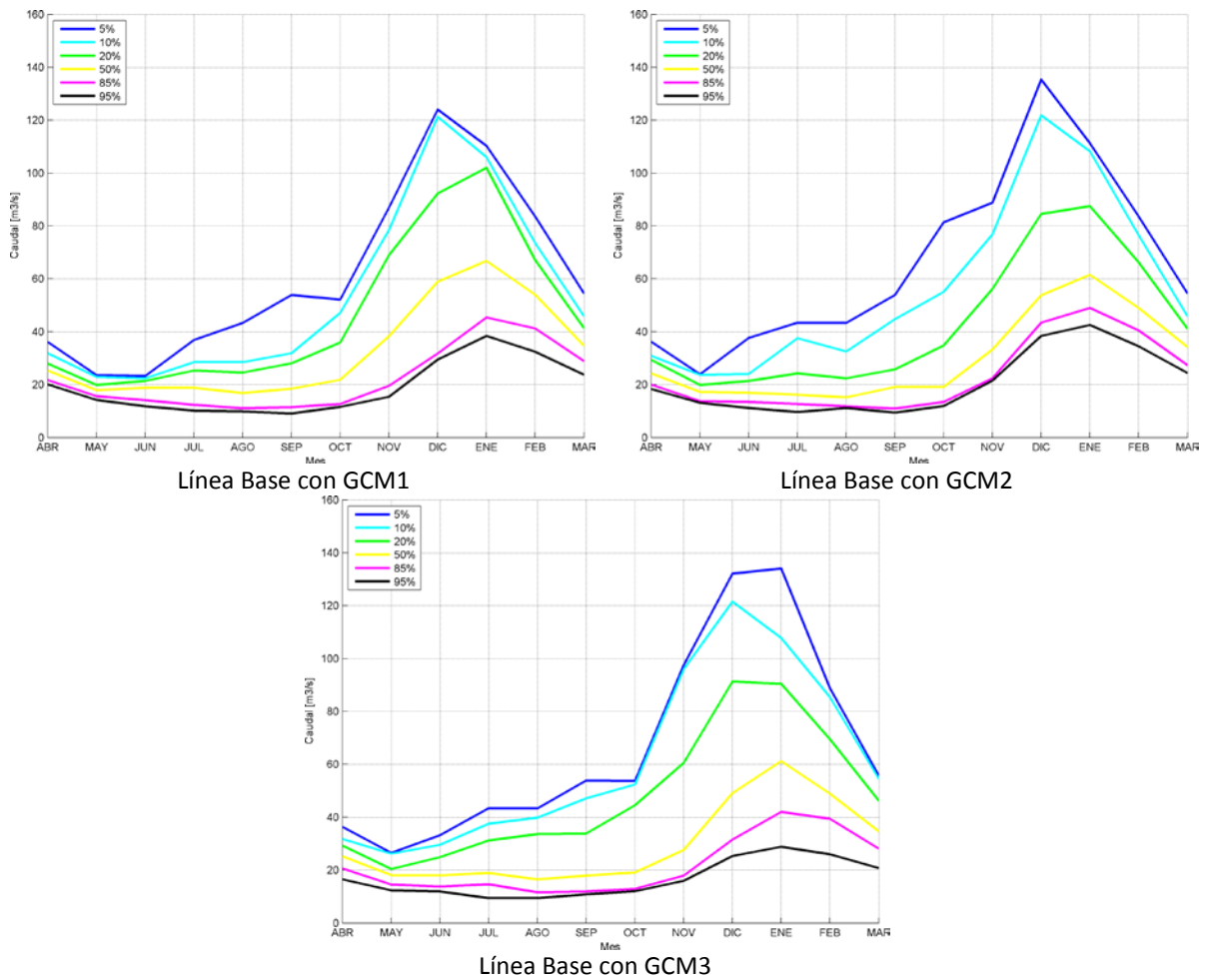
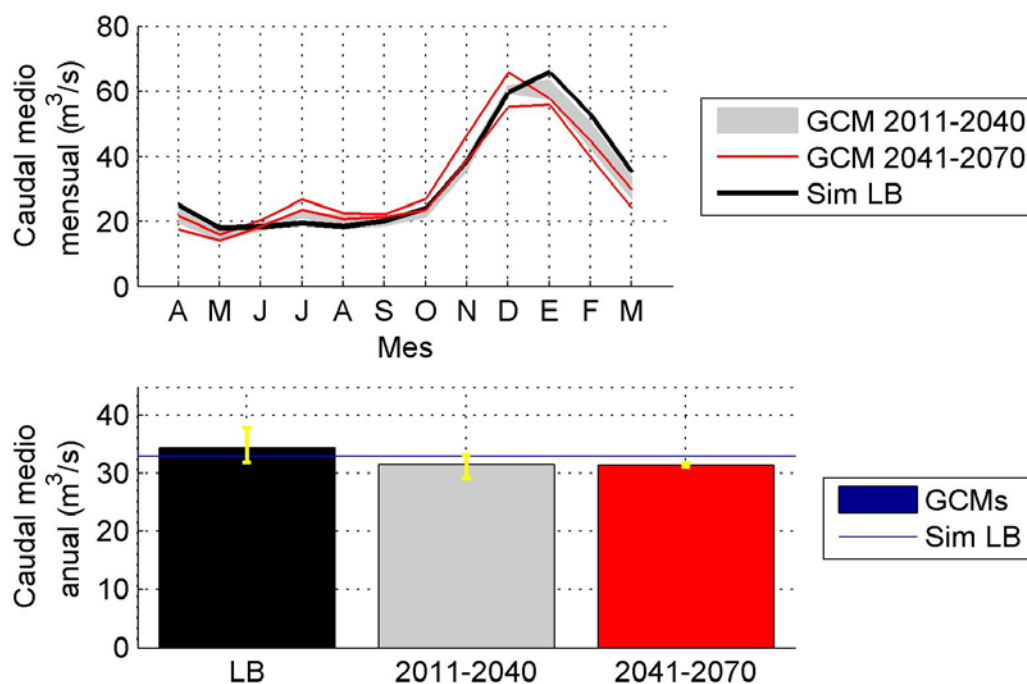


Figura 5.42 Curvas de Variación Estacional para los GCM seleccionados en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB, con retroceso glaciar. Escenario A2.

Las curvas de variación estacional determinadas a base de las forzantes meteorológicas de los modelos GCM indican que para los años secos y húmedos son más representativas las asociadas a los modelos GCM1 y GCM2.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.43: Variación estacional y montos por período para el modelo en subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario A2.

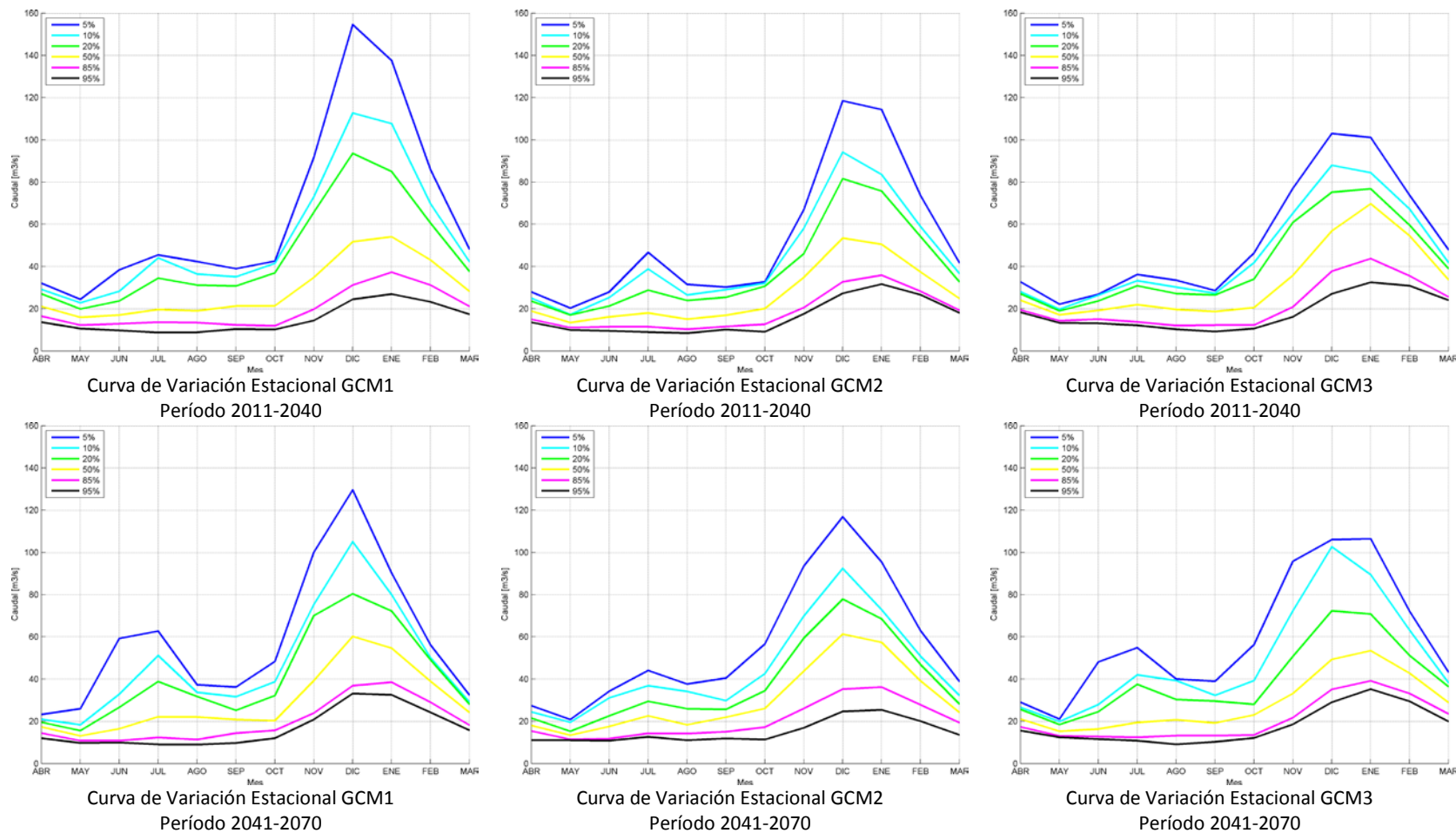


Figura 5.44: Simulación futura de la curva de variación estacional de subcuenca Colorado antes junta Maipo. Período 2010-2040 y 2041-2070, para los GCM seleccionados. Escenario A2.

Tabla 5.11: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario A2.

Mes	Simulado Observado (m ³ /s) LB	Diferencia porcentual caudal GCMs Línea Base			Diferencia porcentual caudal GCMs 2011-2040			Diferencia porcentual caudal GCMs 2041-2070		
		Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup	Lím Inf	Valor Medio	Lím Sup
Abr	25,1	-0,5	1,1	2,8	-23,2	-13,3	-3	-29,8	-23,3	-13,5
May	18	-2	0,6	2,4	-21,2	-10,8	-3,5	-21,3	-17,7	-10,7
Jun	18,4	-1,2	2,1	7	-7,9	0,5	7	0,2	5,7	10,7
Jul	19,4	-0,4	5,8	14,9	7,6	14	18,3	21,2	26,9	37,7
Ago	18,5	-3,7	3,6	11,9	-4,6	9,1	20,1	12	18,1	21,9
Sep	20,1	3,7	6,3	10,3	-8,3	-2,4	5,8	6,2	7,9	10,4
Oct	24,1	5,9	7,6	10,5	-12,4	-6,4	-3,3	-2,3	2,7	11,8
Nov	38,6	3,7	6,7	11	-8,3	0,7	5,5	0,5	13,2	20,9
Dic	59,6	2,4	6	8,9	-1	0,8	3,9	-7,4	3	10,2
Ene	65,8	1,2	3,9	6,3	-13	-6,9	-3,6	-15,1	-13,4	-12,4
Feb	52,7	1,3	2,7	3,9	-20,6	-12,2	-4,2	-25	-21,7	-15,3
Mar	35,1	0,2	1,9	3,4	-24,3	-14,6	-3,7	-31,6	-25,5	-15,5

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, lo que quiere decir que en términos de cantidad de recurso se esperan disminuciones menores al 9% hacia el 2070.

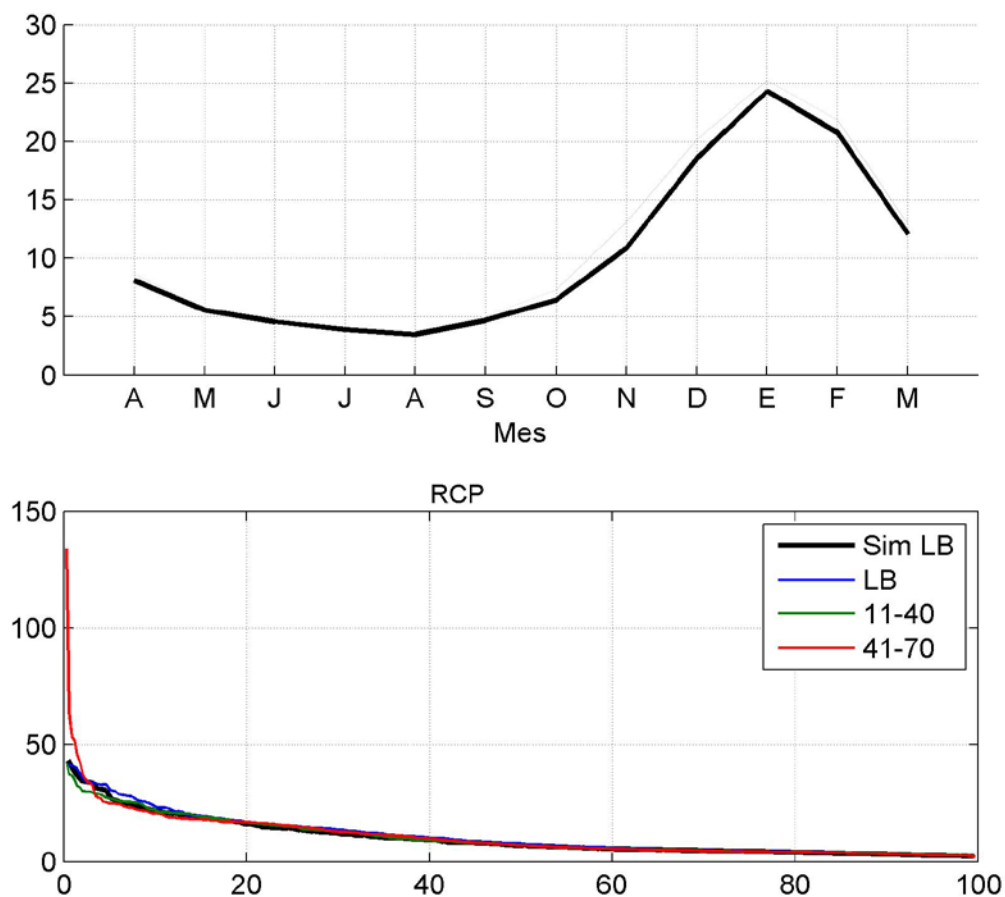
En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura, este resultado es mucho más fuerte en el GCM 1 y 3. Adicionalmente el comportamiento del caudal peak no sufre cambios que se reflejen en la CVE de los GCM 1 y 2. Además el comportamiento del año promedio no permite asegurar que en general se podría tener un adelanto del caudal peak respecto de la línea base, de hecho, sólo el GCM 3 le atribuye el mismo “peso” al mes de Diciembre y Enero. La CVE del GCM 1 informa que la magnitud del descenso de este caudal es mayor que la predicha por los GCM 2 y 3.

Los valores medios mensuales de los caudales promedio presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (20%), y a aumentar en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un

peak en Julio, debido al retroceso que tiene el área nival. Se aprecia que en el período de línea base la incertidumbre de los modelos es porcentualmente mayor, pero esta baja conforme se avanza al período 2070. No obstante lo anterior, se considera que existe una señal significativa hacia la disminución.

5.4 Simulación futura: Sistema Colorado, Escenario RCP2.6

5.4.1 Subcuenca Olivares antes junta Colorado



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.45: Comportamiento del modelo en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.

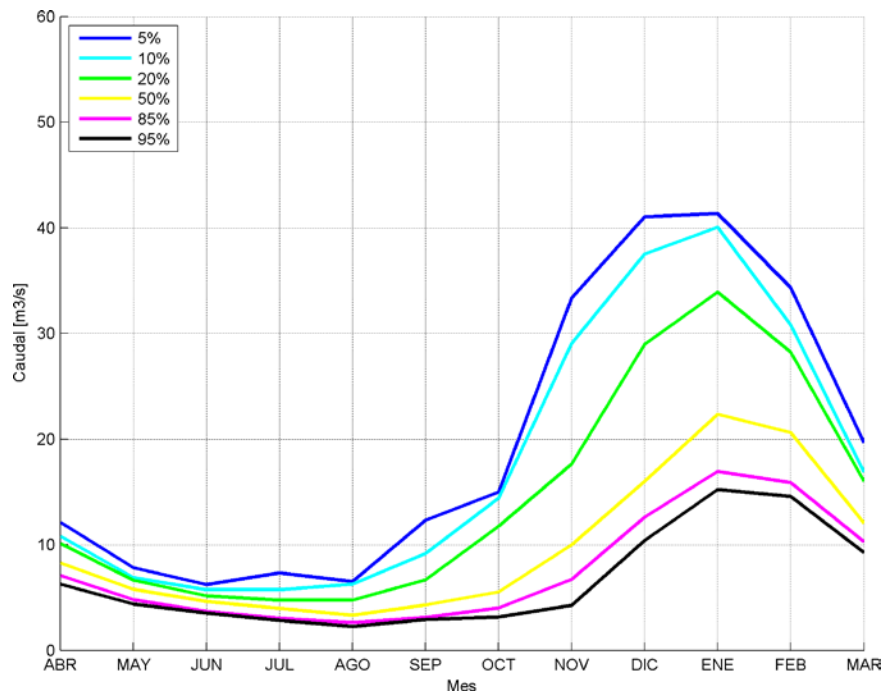
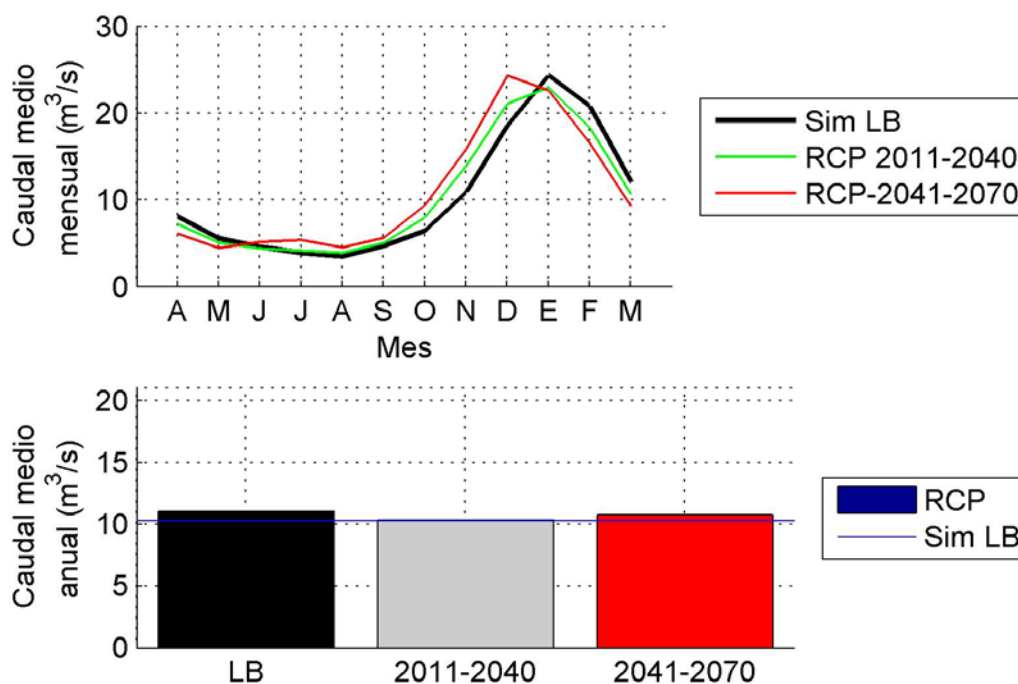


Figura 5.46 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Olivares antes junta Colorado en LB. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Enero. En general se tiende a sobre estimar los caudales en valores en torno al 8%, dicha sobre estimación se concentra entre los meses de Octubre a Diciembre. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los máximos caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



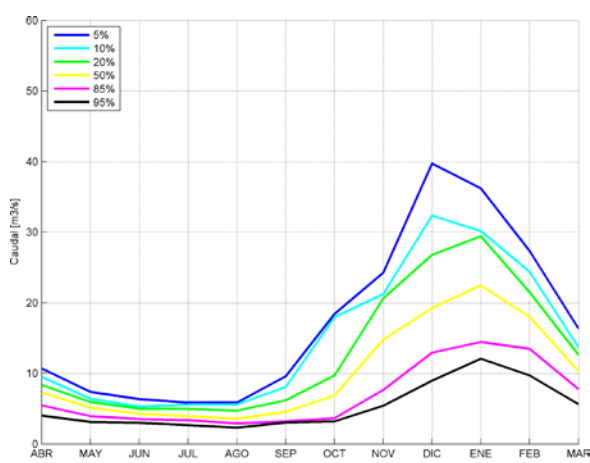
Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

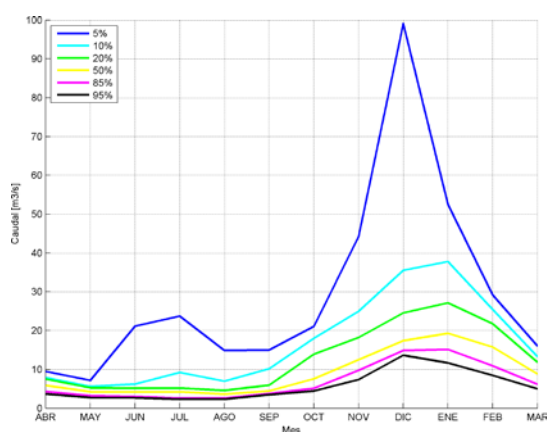
Figura 5.47: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario RCP2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 6%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis cercana a un 3%. Este efecto se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento de las precipitaciones a futuro.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones.



Curva de Variación Estacional
Período 2011-2040



Curva de Variación Estacional
Período 2041-2070

Figura 5.48: Simulación futura de la curva de variación estacional de Olivares antes junta Colorado. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.12: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Olivares antes junta Colorado. Escenario RCP 2.6

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 L.B.	GCM2-1 2011- 2040	GCM2-1 2041- 2070
Abr	8,1	6,9	-10,8	-24,4
May	5,6	4,1	-9	-20,3
Jun	4,6	1,6	-4,3	12,7
Jul	3,9	4,8	5,9	37,5
Ago	3,5	6,3	10,9	28,5
Sep	4,7	7,7	7,7	19,9
Oct	6,4	14,2	23,6	45,6
Nov	10,9	20,5	28	45,7
Dic	18,5	8,7	13,6	31
Ene	24,3	3,9	-5,8	-7,2
Feb	20,8	5,4	-12,1	-20,6
Mar	12,1	7,2	-12,3	-23,8

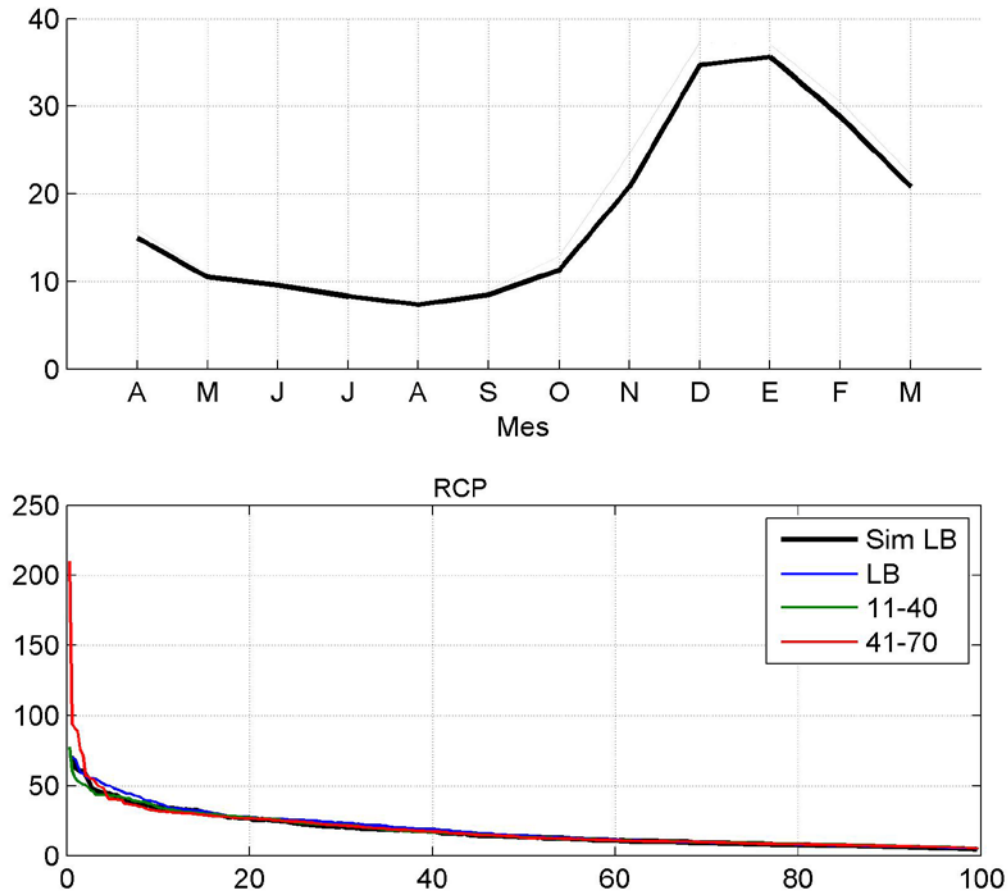
El comportamiento del caudal peak sufre cambios que se reflejan en la CVE del GCM analizado. Esto es respaldado por el comportamiento del año promedio, lo que permite suponer que en general el caudal peak se adelanta hacia el mes de Diciembre comparado con el período de línea base.

La ventana del 2041-2070 presenta precipitaciones mensuales en el período invernal que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un aumento significativo del caudal en el mes de Julio.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de deshielo (19% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Julio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular de la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal promedio es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar un caudal medio anual ligeramente inferior al de la línea base.

5.4.2 Sistema Colorado antes junta Olivares



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCMs para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.49: Comportamiento del modelo en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.

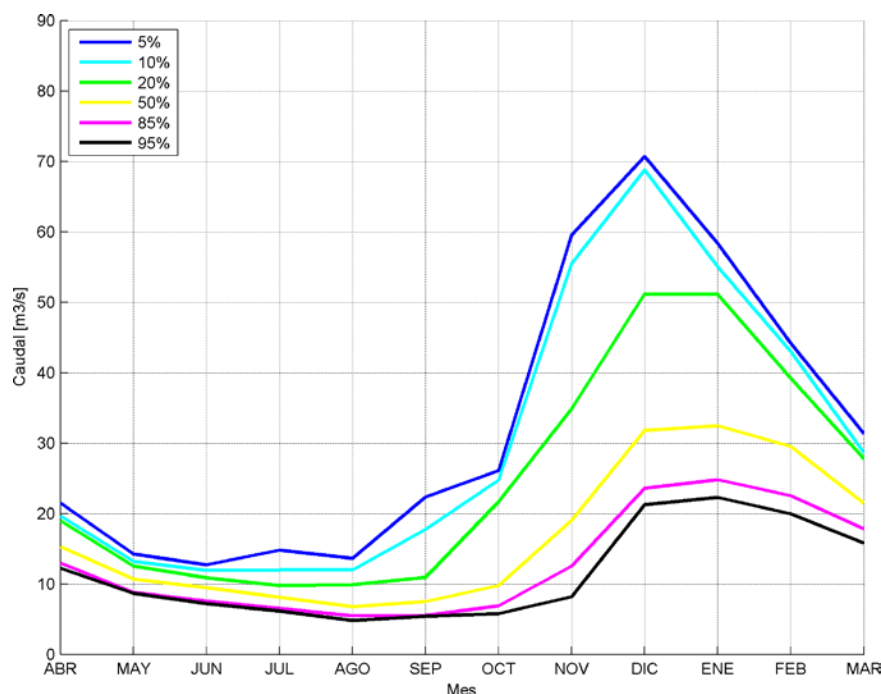
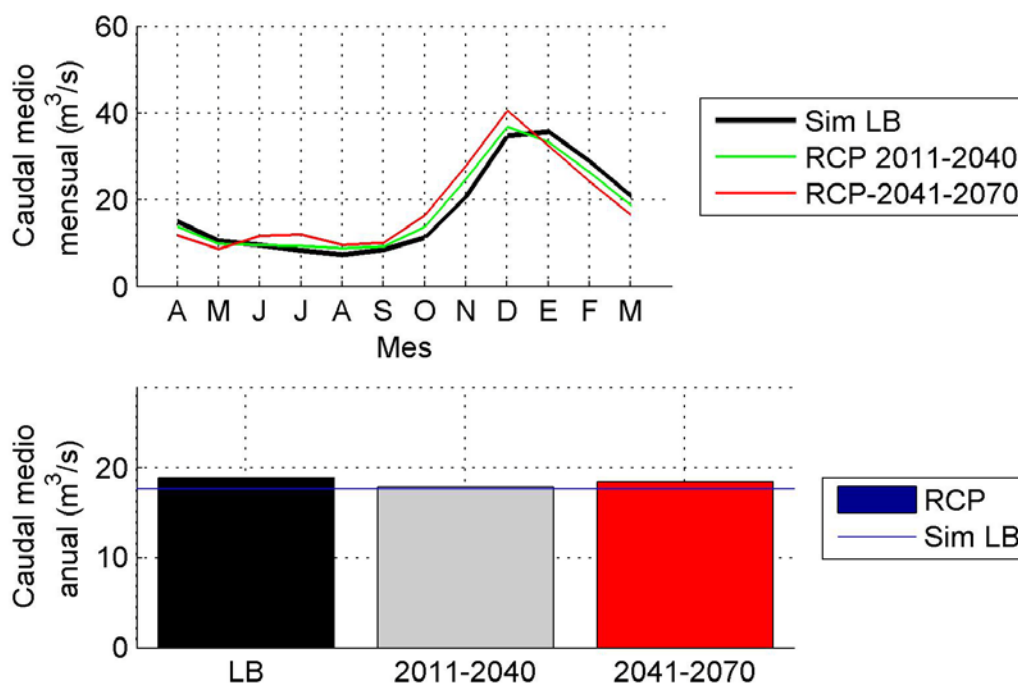


Figura 5.50 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Colorado antes junta Olivares en LB. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Diciembre ($P_{exc} > 50\%$). En general se tiende a sobrestimar los caudales en valores en torno al 7%, dicha sobre estimación se concentra entre los meses de Octubre a Diciembre. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los máximos caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.51: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Colorado antes junta Olivares. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 6%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis cercana a un 2%. Este efecto se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento de las precipitaciones a futuro.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones.

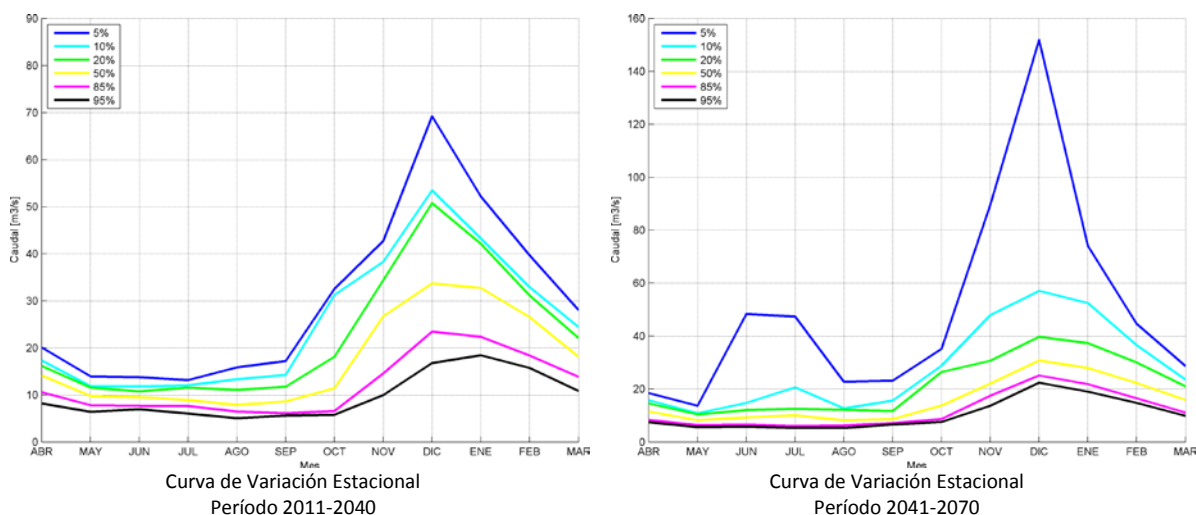


Figura 5.52: Simulación futura de la curva de variación estacional de Colorado antes junta Olivares. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP 2.6

Tabla 5.13: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Olivares. Escenario RCP 2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 LB	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	15	6,7	-7,7	-21
May	10,5	3,9	-6,6	-17,6
Jun	9,6	0,8	0,1	22,1
Jul	8,3	3,7	12,4	44,1
Ago	7,4	6	20,2	30,5
Sep	8,5	6,5	8,8	18,8
Oct	11,3	14,2	21,9	45,6
Nov	20,8	18,7	19,6	34,1
Dic	34,7	7,5	6,1	16,6
Ene	35,7	4	-6,8	-9,2
Feb	28,8	6	-8,9	-16,2
Mar	20,8	7,2	-10,2	-20,9

El comportamiento del caudal peak sufre cambios que se reflejan en la CVE del GCM analizado. Esto es respaldado por el comportamiento del año promedio, lo que permite

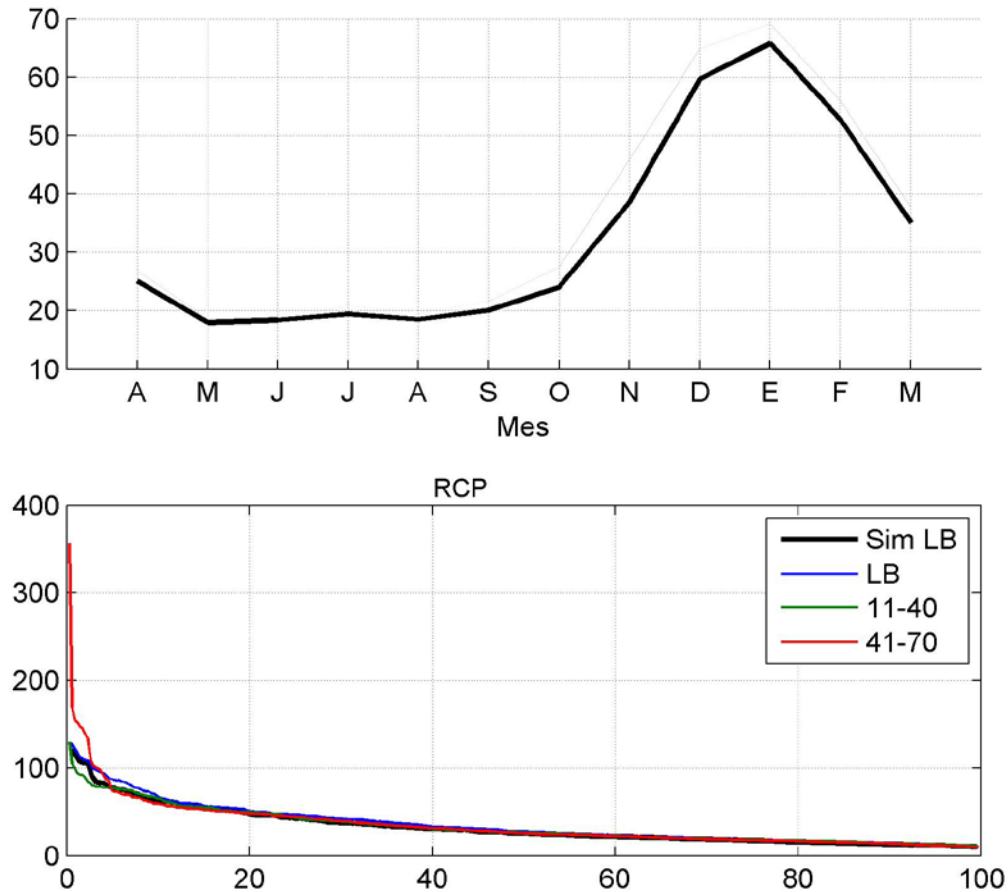
suponer que en general el caudal peak para probabilidades de excedencia mayores al 50% se adelanta a Diciembre comparado con el período de línea base.

La ventana del 2041-2070 presenta precipitaciones mensuales que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un mayor caudal que empieza a aparecer en el mes de Junio.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de la curva de recesión del período de deshielo (17% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Junio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular de la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal futura es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar caudal medio anual ligeramente inferior al de la línea base.

5.4.3 Colorado antes junta Maipo



Panel superior: Comparación de caudales medios mensuales simulados con datos históricos (negro) y simulados por GCM2-1 en LB (gris).

Panel inferior: Comparación de las curvas de duración de los caudales medios mensuales simulados con datos históricos (SimLB) y simulados por GCM2-1 para LB (azul) y períodos futuros (verde y rojo).

Figura 5.53: Comportamiento del modelo en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB y períodos futuros. Escenario RCP2.6.

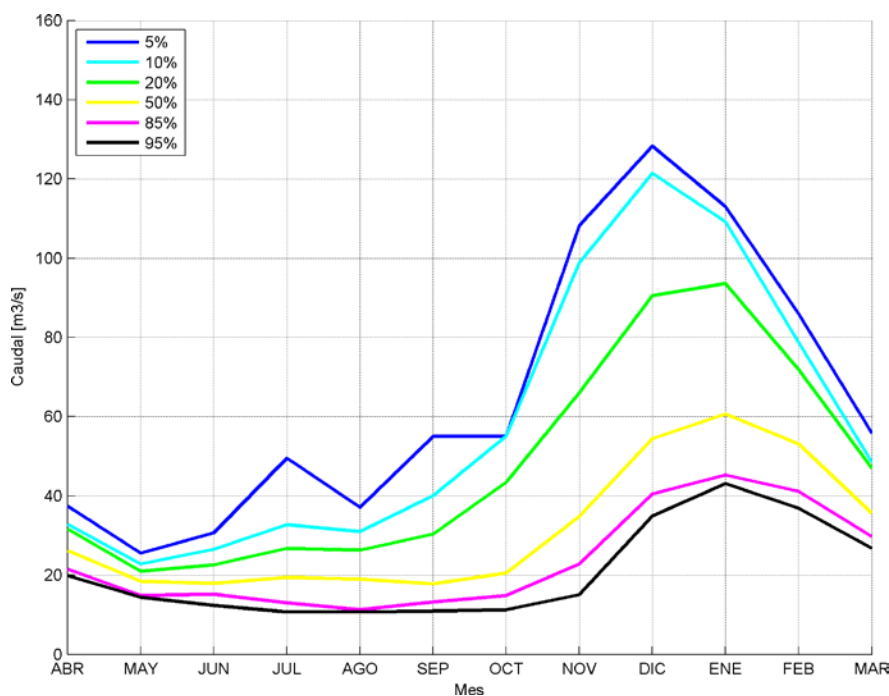
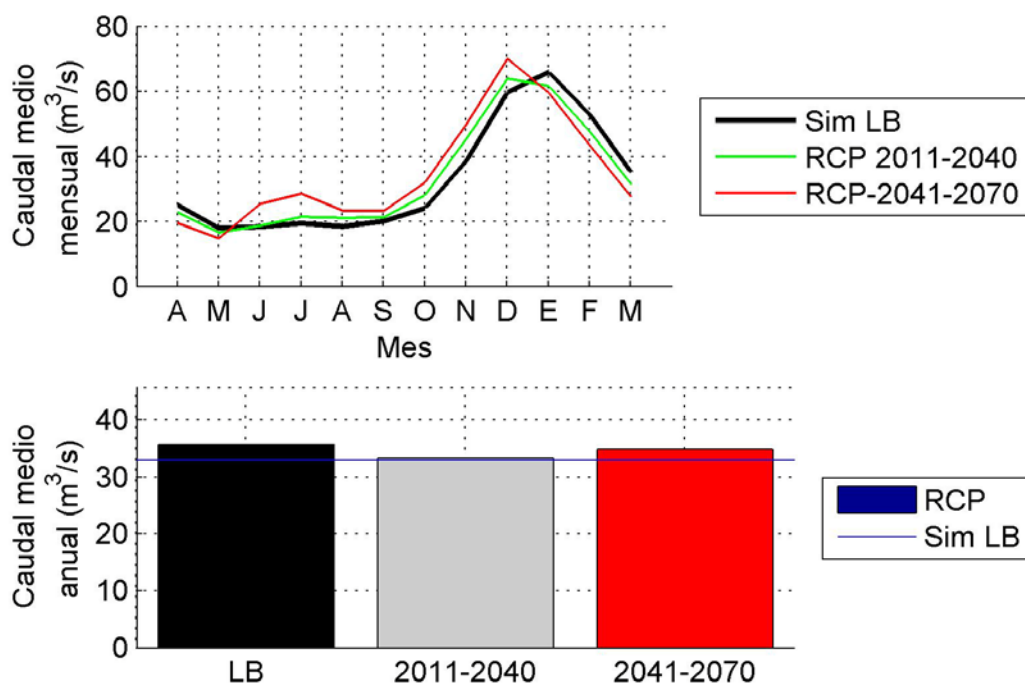


Figura 5.54 Curva de Variación Estacional con forzantes meteorológicas del GCM2-1 en la subcuenca Colorado antes junta Maipo en LB. Escenario RCP2.6.

Respecto del comportamiento de la CVE en línea base, se observa que existe una adecuada modelación respecto de la estacionalidad. Comparando con la CVE simulada en línea base, se concluye que el modelo Mk 3.6 bajo el escenario RCP 2.6 respeta la ocurrencia de los caudales peaks en Enero ($P_{exc} > 20\%$). En general se tiende a sobre estimar los caudales en valores en torno al 8%, dicha sobre estimación se concentra entre los meses de Octubre a Diciembre. También, de la inspección de la curva de duración de caudales, se observa un aumento de los máximos caudales medios mensuales hacia la ventana del 2041-2070.



Panel Sup: Variación estacional del año promedio en LB (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo)

Panel Inf: Magnitud y variabilidad (amarillo) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo).

Figura 5.55: Variación estacional y montos por período para el modelo en la subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario RCP 2.6.

Respecto de los caudales medios anuales se observa que éstos tienden a disminuir en el tiempo, pero esta disminución se concentra en la primera ventana de análisis, teniéndose reducciones del 7%, para luego presentar una recuperación en la segunda ventana de análisis cercana a un 3%. Este efecto se explica debido a que el escenario RCP 2.6 predice un aumento de las precipitaciones a futuro en esta segunda ventana temporal.

En términos de estacionalidad lo que se espera es un mayor aporte del régimen pluvial en la cuenca, por el intercambio entre áreas nivales y pluviales debido a los aumentos de temperatura y también por el aumento de precipitaciones.

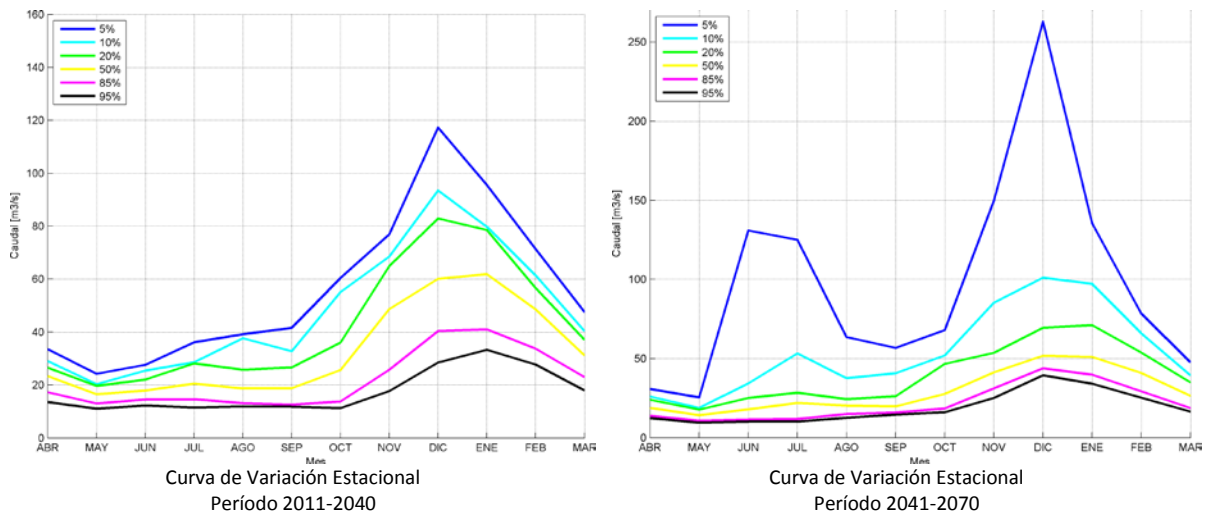


Figura 5.56: Simulación futura de la curva de variación estacional de Colorado antes junta Maipo. Período 2010-2040 y 2041-2070, para el GCM2-1. Escenario RCP2.6.

Tabla 5.14: Diferencias porcentuales de caudales medios mensuales promedios proyectados respecto de línea base, subcuenca Colorado antes junta Maipo. Escenario RCP2.6.

Mes	Simulado Observado(m ³ /s)	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal	Diferencia porcentual caudal
	LB	GCM2-1 LB	GCM2-1 2011-2040	GCM2-1 2041-2070
Abr	25,1	7,1	-9	-22,2
May	18	3,7	-7,5	-17,5
Jun	18,4	2,1	1,8	38,2
Jul	19,4	7,4	10,2	46,9
Ago	18,5	6,8	14,3	26,5
Sep	20,1	8	5,8	15,7
Oct	24,1	14,5	16,6	32,8
Nov	38,6	18,9	17,5	28,9
Dic	59,6	8,8	7	17,2
Ene	65,8	5,1	-6,4	-9,6
Feb	52,7	6,1	-9,8	-17,9
Mar	35,1	7,6	-10,4	-21,5

El comportamiento del caudal peak sufre cambios que se reflejan en la CVE del GCM analizado. Esto es respaldado por el comportamiento del año promedio, lo que permite

suponer que en general el caudal peak para probabilidades de excedencia mayores al 50% se adelanta a Diciembre comparado con el período de línea base.

La ventana del 2041-2070 presenta magnitudes mensuales de precipitación que justifican el alto valor de la curva de probabilidad de excedencia del 5%, junto a un caudal peak que empieza a aparecer en el mes de Junio.

Los valores medios mensuales promedio de los caudales presentan una tendencia a disminuir en los meses de la zona de recesión del período de deshielo (18% de Enero a Mayo), y a aumentar significativamente en el período pluvial. Esto corrobora un paulatino cambio en la estacionalidad hacia un régimen nivo-pluvial, con un segundo peak en Junio.

Al no existir comparación con otros modelos GCM no se puede especular de la incertidumbre asociada al escenario, sin embargo, se estima que la señal futura es a disminuir el caudal en la primera ventana y luego alcanzar un caudal medio anual ligeramente inferior al de la línea base.

5.5 Resumen de Resultados y Comentarios de la Simulación Futura por Sistema.

En los acápite anteriores se presentaron los resultados para cada sistema modelado, incluyendo sus subcuencas. Sin embargo, el análisis individual de cada sistema es complejo y conviene tener una visión general de estos resultados. Con este propósito, se ha elaborado la Tabla 5.15 y la Tabla 5.16 que resumen la variación del caudal, precipitación y temperatura promedio anual por período de análisis o ventana de tiempo considerada. Esta información permite identificar los sistemas o subcuencas más sensibles, los de mayor variación en términos de disponibilidad y aquellos más resilientes o de mejor adaptación.

Tabla 5.15: Resumen de Promedios Anuales de Caudal (m3/s), Precipitación (mm), Temperatura (°C) y Rendimiento. Escenario A2.

MES	OBS			LB			V1			V2			RENDIMIENTO			
	Q	Pp	T	Q	Pp	T	Q	Pp	T	Q	Pp	T	OBS	LB	V1	V2
AEY	8,4	1375,8	1,3	8,7	1368,1	1,3	8,2	1338,9	1,9	8,4	1341,5	2,7	0,64	0,66	0,64	0,65
MELM	45,7	1238,9	3,3	47,6	1231,2	3,3	44,0	1202,1	3,9	44,1	1204,7	4,6	0,79	0,82	0,78	0,78
MSA	80,9	1104,0	5,2	84,3	1096,2	5,2	78,1	1067,3	5,8	79,0	1069,9	6,5	0,82	0,86	0,82	0,83
VEQ	17,3	1299,9	2,4	18,0	1292,2	2,4	16,9	1263,0	3,0	17,3	1265,6	3,8	0,79	0,83	0,78	0,79
CAJM	33,0	990,0	6,8	34,3	982,1	6,8	31,4	953,3	7,4	31,3	956,0	8,2	0,63	0,66	0,63	0,62
CAJO	17,6	1405,2	0,9	18,3	1397,6	0,9	16,9	1368,3	1,5	16,8	1370,9	2,3	0,50	0,53	0,50	0,49
OAJC	10,3	1393,8	1,1	10,7	1386,2	1,1	9,8	1356,9	1,7	9,7	1359,5	2,4	0,43	0,45	0,42	0,42

Rendimiento se refiere a la relación adimensional caudal-precipitación y área ($Q/(Pp \cdot A)$) en un período dado de tiempo.

Porcentajes de variación en V1 y V2 están calculados respecto de SIM-OBS en LB.

Porcentajes de variación de la LB están calculados respecto de los valores OBS en LB.

Tal como se puede apreciar en la Tabla 5.16, en general los ajustes medios anuales en el período de línea base son correctos, presentándose pequeñas diferencias porcentuales en sus límites (0.5-5%) para el caudal, precipitación y temperatura. En general se observa que existe una consistencia en ambos sistemas por cuanto todos presentan descensos de caudal, precipitación y aumentos de temperatura en cada uno de sus ventanas, justificando que el escenario es en efecto el más desfavorable. En el caso del escenario con retroceso glaciar representado por el sistema Maipo la reducción de caudal medio anual más severa ocurre en MELM, seguida de muy cerca por MSA mientras los sistemas AEY y VEQ, tienen disminuciones 50% menores, aunque en el período intermedio (V1) estos 2 sistemas también presentan reducciones mayores y similares a las del resto del sistema. Para el Sistema Colorado los porcentajes de disminución de caudales son bastante similares en ambos períodos, por lo que en general, se podría suponer que este

sistema es más sensible o que el calentamiento global tiene un impacto más severo sobre este sistema. Hay que tener en cuenta sin embargo que en este último sistema no se está considerando aporte glaciar. Eso podría explicar el hecho que las variaciones de los rendimientos, definidos como el caudal medio por unidad de área (Q/A) y precipitación (Pp) ocurridos en un cierto período de tiempo, en la Ventana 2 sean menores a los vistos en la Ventana 1.

Cabe destacar la evidente y consistente señal negativa respecto de los impactos en la totalidad de las subcuencas analizadas. Esto es muy relevante, producto de que también, al observar los valores de los límites inferiores y superiores de cada subsistema, la señal de disminución de disponibilidad es mucho más fuerte en el límite inferior que en el superior, esto quiere decir, que al menos hay 2 de los 3 modelos que predicen consistentemente una disminución del recurso. La disminución del recurso hídrico en términos de porcentajes es entre 3,4% y 7,3% para el sistema Maipo y del orden de 8 a 9% para el Sistema Colorado, en la ventana 2. Mientras que en la ventana 1 hay una disminución entre 5,9% y 7,5% en el sistema Maipo y entre 7,5% y 8,5% en el sistema Colorado. Se debe enfatizar que para V1 y V2, los porcentajes calculados son respecto a los valores simulados-observados en LB, lo que permite concluir que en V2 existen recuperaciones de caudal, pues el porcentaje de disminución respecto de LB es menor que en V1.

Tabla 5.16: Variación porcentual promedio del Caudal, Precipitación y Rendimiento y variación de Temperatura (°C) para el promedio de los GCM analizados. Escenario A2.

MES	LB			V1			V2			RENDIMIENTO		
	Q	Pp	ΔT	Q	Pp	ΔT	Q	Pp	ΔT	LB	V1	V2
AEY	3,9	-0,6	0,0	-5,9	-2,1	0,6	-3,4	-1,9	1,4	4,5	-3,9	-1,6
MELM	4,2	-0,6	0,0	-7,5	-2,4	0,6	-7,3	-2,1	1,4	4,8	-5,3	-5,3
MSA	4,2	-0,7	0,0	-7,3	-2,6	0,6	-6,3	-2,4	1,4	4,9	-4,8	-4,0
VEQ	4,1	-0,6	0,0	-6,0	-2,3	0,6	-3,6	-2,1	1,4	4,7	-3,9	-1,6
CAJM	4,2	-0,8	0,3	-8,4	-2,9	0,6	-8,7	-2,7	1,4	5,0	-5,6	-6,6
CAJO	3,8	-0,5	2,2	-7,5	-2,1	0,6	-8,0	-1,9	1,4	4,4	-5,7	-6,2
OAJC	3,9	-0,5	1,9	-8,3	-2,1	0,6	-8,9	-1,9	1,4	4,5	-6,3	-7,1

Porcentajes de variación en V1 y V2 están calculados respecto de SIM-OBS en LB.

Porcentajes de variación de la LB están calculados respecto de los valores OBS en LB.

En el caso del sistema Maipo, el cual considera la tasa de descenso de superficie glaciar del 1% anual, se puede apreciar que el aporte glaciar también presenta una señal negativa sostenida en el tiempo. El aumento de escorrentía debido al aumento en el área pluvial es superior a la disminución del área glaciar cuya producción se ve proporcionalmente

disminuida; de hecho se observa un aumento en los caudales de invierno al considerar el retroceso glaciar, sin embargo la manifiesta disminución de los caudales en el período de deshielo no cambia significativamente cuando este aporte adicional es considerado.

El escenario RCP 2.6 resulta en efecto ser un escenario más optimista. Predice un aumento de precipitaciones para la ventana 1 y para la ventana 2, con eventos de precipitación de mucha mayor magnitud que los observados en LB. (Figura 5.57).

Tabla 5.17: Resumen de Promedios Anuales de Caudal (m³/s), Precipitación (mm), Temperatura (°C) y Rendimiento. Escenario RCP2.6.

MES	OBS			LB			V1			V2			RENDIMIENTO			
	Q	Pp	T	Q	Pp	T	Q	Pp	T	Q	Pp	T	OBS	LB	V1	V2
AEY	8,4	1375,8	1,3	9,0	1374,6	1,4	8,6	1394,1	2,0	9,2	1437,7	2,4	0,64	0,68	0,65	0,67
MELM	45,7	1238,9	3,3	49,4	1237,6	3,3	46,7	1257,3	3,9	48,6	1300,6	4,3	0,79	0,85	0,79	0,80
MSA	80,9	1104,0	5,2	87,3	1102,5	5,2	82,9	1122,3	5,8	87,1	1165,4	6,3	0,82	0,89	0,83	0,84
VEQ	17,3	1299,9	2,4	18,6	1298,6	2,4	17,8	1318,2	3,1	19,0	1361,6	3,5	0,79	0,85	0,79	0,80
CAJM	33,0	990,0	6,8	35,7	988,4	6,8	33,3	1008,3	7,4	34,7	1051,2	7,9	0,63	0,69	0,63	0,63
CAJO	17,6	1405,2	0,9	18,9	1404,0	1,0	17,9	1423,5	1,6	18,5	1467,2	2,0	0,50	0,54	0,50	0,51
OAJC	10,3	1393,8	1,1	11,1	1392,6	1,1	10,4	1412,1	1,7	10,7	1455,8	2,2	0,43	0,46	0,43	0,43

Rendimiento se refiere a la relación adimensional caudal-precipitación y área ($Q/(Pp \cdot A)$).

Porcentajes de variación en V1 y V2 están calculados respecto de SIM-OBS en LB.

Porcentajes de variación de la LB están calculados respecto de los valores OBS en LB.

En general con el modelo MK 3.6 se sobrestiman los caudales observados en LB en valores en torno al 7 – 8%. El aumento de Temperatura es sostenido en el tiempo presentándose aumentos del orden 1 – 1.5 °C hacia el 2070. En general, el comportamiento de la precipitación, la que aumenta en magnitud, hace que los caudales máximos tiendan a aumentar y también a adelantarse. A diferencia del escenario A2, en V1 los rendimientos decaen, producto de que existe una disminución de caudal pero aumento de precipitación, fenómeno que se revierte en parte en la ventana 2 producto de los deshielos (Estos se concentran entre Enero y Marzo).

Es importante notar el comportamiento que tienen los caudales en la primera ventana (V1) donde en las cuencas del sistema Maipo los caudales decaen entre 4 a 5% mientras que en las cuencas del sistema Colorado el decaimiento es ligeramente superior con porcentajes entre 5,5 y 6,4%. Si bien se tiene un aumento leve de las precipitaciones (20 mm), se presentan fuertes aumentos de la evapotranspiración, 25 mm en las bandas de mayor altura y 50 mm en las bandas medias a bajas. Este es otro factor que influye en que

los balances observados sean negativos para el caudal en la primera ventana. Para la segunda ventana (V2) las bandas de mayor altura y las de mediana altura tienden a estabilizar sus flujos evapotranspirativos, y sólo las bandas bajas presentan otro aumento evaluado en 30 – 40 mm promedio. Esto, sumado a la recuperación de la precipitación evaluada en 60 mm promedio para los sistemas y al aumento en general de los deshielos, produce una recuperación en el caudal para esta segunda ventana, apreciándose que mientras en las cuencas del sistema Maipo las variaciones porcentuales de caudal están entre -1 y 2,2%, aquellas del sistema Colorado son entre -2,3 y -2,8%.

Tabla 5.18: Variación porcentual promedio anual del Caudal, Precipitación, Rendimiento y variación de Temperatura (°C). Escenario RCP2.6.

MES	LB			V1			V2			RENDIMIENTO		
	Q	Pp	ΔT	Q	Pp	ΔT	Q	Pp	ΔT	LB	V1	V2
AEY	7,5	-0,1	4,1	-4,0	1,4	0,6	2,2	4,6	1,0	7,6	-5,4	-2,3
MELM	8,1	-0,1	1,7	-5,4	1,6	0,6	-1,5	5,1	1,0	8,2	-6,9	-6,2
MSA	8,0	-0,1	1,0	-5,1	1,8	0,6	-0,3	5,7	1,0	8,1	-6,8	-5,6
VEQ	7,8	-0,1	2,2	-4,0	1,5	0,6	2,1	4,9	1,0	7,9	-6,8	-6,1
CAJM	8,2	-0,2	0,8	-6,5	2,0	0,6	-2,6	6,4	1,0	8,4	-8,4	-8,4
CAJO	7,4	-0,1	6,0	-5,5	1,4	0,6	-2,3	4,5	1,0	7,4	-6,8	-6,5
OAJC	7,6	-0,1	5,1	-6,2	1,4	0,6	-2,8	4,5	1,0	7,7	-7,5	-7,0

Porcentajes de variación en V1 y V2 están calculados respecto de SIM-OBS en LB.
Porcentajes de variación de la LB están calculados respecto de los valores OBS en LB.

6. Simulación Futura en Puntos de Captación

Los puntos de interés han sido definidos como las siete captaciones del sistema, que se presentan en la figura 2.1 del presente informe y se resumen en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Puntos de Interés correspondientes a BT solicitadas por el cliente.

ID	Nombre	Sistema	ESTE (m)	NORTE (m)
ID1	Central Alfalfal	Sistema Colorado	389208	6292514
ID2	BT Aucayes	Sistema Colorado	384485	6287146
ID3	EF Embalse El Yeso	Maipo - el Yeso	399437	6274126
ID4	Estero La Engorda	Maipo – Volcán	407074	6259439
ID5	Estero Colina	Maipo – Volcán	406996	6259724
ID6	Estero Las Placas	Maipo – Volcán	406581	6260421
ID7	Estero El Morado	Maipo – Volcán	405577	6260874

La metodología seguida para analizar ambos sistemas se presentan a continuación, seguida de los resultados para cada punto de interés.

- **Análisis del Sistema Volcán**

El análisis del sistema Volcán incluye 4 futuras captaciones, identificadas por los puntos ID4 al ID7. Dichas captaciones se encuentran en la zona alta (2540 msnm) del subsistema VEQ, tal como indica la Figura 6.1. Este sistema ha sido debidamente calibrado como se ha expuesto en las secciones precedentes, por lo que el paso siguiente es generar los caudales asociados a esas 4 captaciones individualizadas anteriormente.

La metodología se basa en las ecuaciones de transposición existentes en estudios previos mencionados en capítulos anteriores. Se realiza una transposición de los caudales de Volcán en Queltehués (VEQ) hacia los puntos A1 y A2 que se observan en la figura 6.1, separando aquellos aportes glaciares de los aportes de las áreas sin presencia de área glaciar (GCAM, 2007).

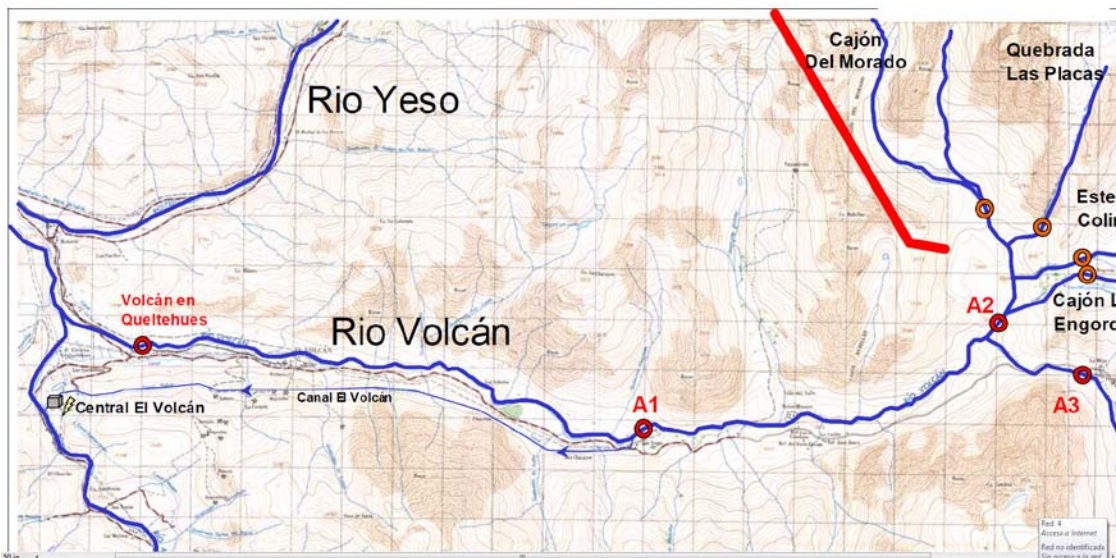


Figura 6.1: Mapa de los puntos de captaciones del Río Volcán. Fuente: GCAM, 2007.

El análisis de los antecedentes entregados en los estudios precedentes, indica que el punto A1 (GCAM, 2007) equivale al punto de interés P10 (CONIC-BF, 2008; ver Figura 6.2), por lo que se ha usado las ecuaciones de transformación indicadas en este último estudio.

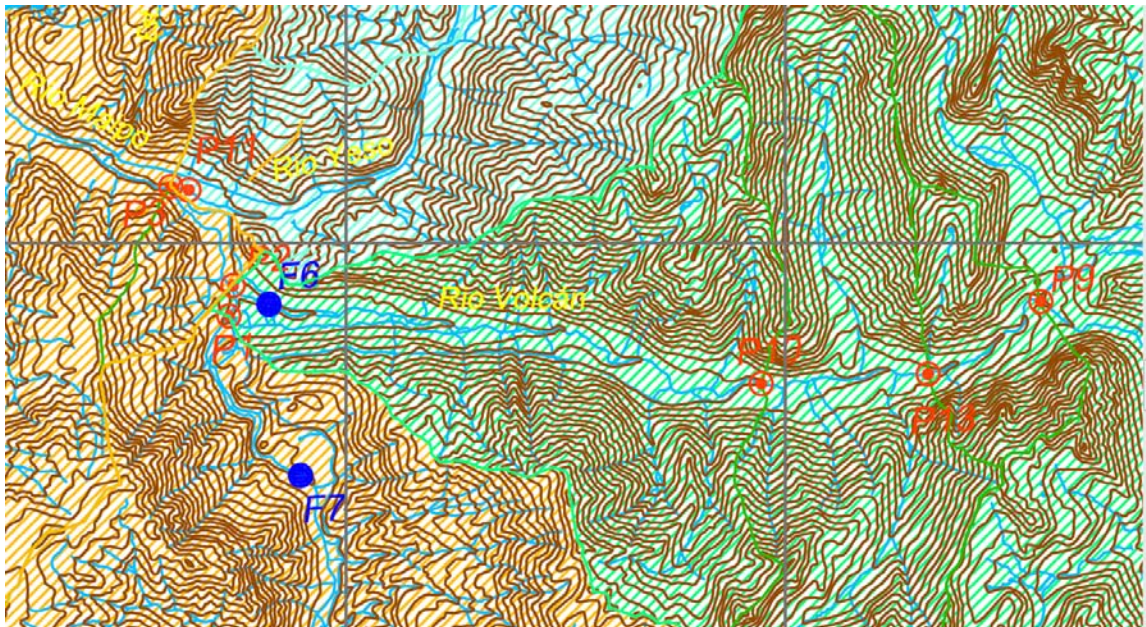


Figura 6.2: Mapa de P10, P13 y P9. P9 corresponde a la suma de todas las captaciones del Estero Colina, más el río Volcán. F6 representa a la estación VEQ.

El informe de GCAM (2007) expone una metodología para obtener dichos caudales separando la componente glaciar de la no glaciar, aplicando básicamente los mismos rendimientos que se han utilizado en el presente estudio. Esto no sería equivalente a transponer del punto P9, a las captaciones de más arriba, pues, el área glaciar de cada una de las subcuencas es diferente (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Propiedades de las Captaciones ID4 a ID7.

SubCuencas	Area Total (Km ²)	Area Glaciares (Ag) (Km ²)	Cota Mínima (m s.n.m.)	Cota Máxima (m s.n.m.)
Cajón La Engorda	30.4	2.4	2540	5820
Estero Colina	74.5	10.7	2540	6108
Quebrada Las Placas	10.4	1.6	2540	4594
Cajón del Morado	54	4	2540	5404

Con estos antecedentes, la metodología propuesta es la siguiente:

1. Al existir los caudales en P10, sin aporte glaciar, se hace una transposición sin aporte glaciar hacia cada uno de los puntos de interés, utilizando el área que es conocida.
2. Incorporar el aporte Glaciar: En el modelo conceptual implementado para los sistemas, existe un nodo que alimenta la banda superior de la forma:

$$Q_{\text{glaciar}} = \text{Rendimiento} * \text{Area Glaciar} = q \text{ (m}^3\text{/s/km}^2\text{)} * A^g \text{ (km}^2\text{)}$$

Por lo tanto, el caudal glaciar de cada punto se estima como la ponderación del rendimiento, informado en la Tabla 4.4, por el área glaciar de cada punto, pero considerando que dicha área esta sujeta a una tasa de reducción del 1% anual.

3. El caudal total queda entonces expresado como el caudal sin variación glaciar (SVG) transpuesto por unidad de área desde P9 más el caudal glaciar asociado a cada bocatoma.

$$QT_i = [Q_{\text{SVG}} \text{ de P9 Transpuesto por unidad de Area}] + A_i^g * (m^3/s/km^2) * q_i$$

Donde "i" = Bocatoma.

Los resultados se presentan en las secciones siguientes.

- **Análisis del sistema el Yeso**

El punto de interés ID3 pertenece al sistema el Yeso y corresponde al punto P7 del informe CONIC-BF, como se puede observar en la Figura 6.3.

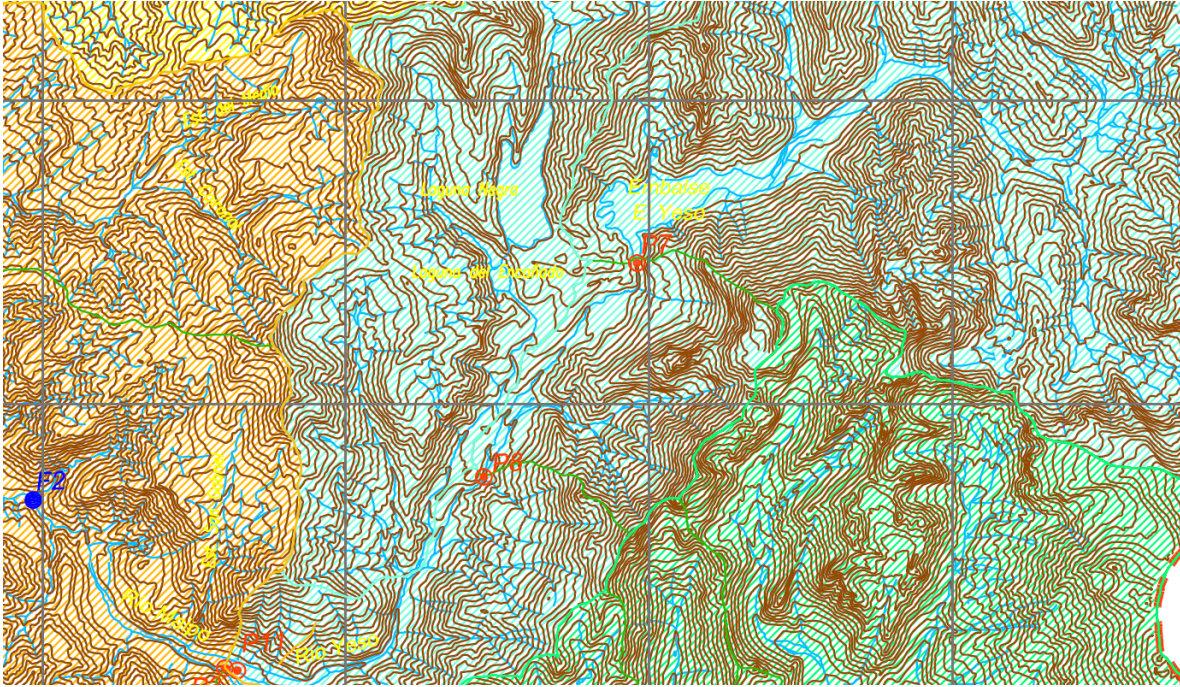


Figura 6.3: P7 es el punto efluente al embalse El Yeso. F2 corresponde a la estación MSA. (Fuente: CONIC-BF 2008)

La metodología en este caso es tomar la siguiente ecuación para sintetizar los caudales en el punto de interés ID3:

$$Q_{P7} = Q_{Embalse} + \frac{A_{P7} - A_{Embalse}}{A_{Hoya\ Intermedia\ 1}} * Q_{Hoya\ Intermedia\ 1}$$

Considerando:

$$Q_{Hoya\ Intermedia\ 1} = Q_{San\ Alfonso} - (Q_{Las\ Melosas} + Q_{Volcán} + Q_{Afluente\ Yeso})$$

Área aportante Hoya Intermedia 1: 505 km²
. $A_{P7} - A_{\text{Embalse}} \approx A_{P7} = 351 \text{ km}^2$.

- **Análisis del sistema Colorado**

Los puntos ID1 e ID2 pertenecen al sistema Colorado, como se observa en la Figura 6.4. De acuerdo al análisis del equipo consultor, el punto ID1 corresponde al punto P12 del estudio de CONIC-BF (2008), es decir, a la descarga de la Central Alfalfal en el río Colorado. La serie de caudales históricos en régimen natural para este punto se obtiene como:

$$Q_{P12} = Q_{\text{Olivares+Colorado}} + \frac{A_{P12} - A_{\text{Olivares+Colorado}}}{A_{\text{Hoya intermedia 2}}} * Q_{\text{Hoya intermedia 2}}$$

Donde:

$$Q_{\text{Hoya Intermedia 2}} = Q_{\text{Colorado antes Maipo}} - (Q_{\text{Colorado antes Olivares}} + Q_{\text{Olivares antes Colorado}})$$

Área aportante Hoya: 337 km².
 $A_{P12} = 1377 \text{ km}^2$.

En cuanto al punto ID2, que no fue analizado en el estudio de CONIC-BF, considera un área de 52.8 km² que es parte de la Hoya intermedia modelada en el presente estudio. Por ello, y dada la igualdad de régimen hidrológico, se estima el aporte de ID2 como una transposición por unidad de área con los datos de la hoya intermedia Olivares-Colorado.

Debido a las incertidumbres provenientes de la modelación, que no logran representar fielmente los caudales de la cuenca intermedia en el período de registro de las estaciones de aguas arriba y en la salida de la cuenca (Colorado antes Maipo), fue necesario corregir los caudales simulados en esta cuenca intermedia con el objeto de mantener el régimen hidrológico en dicho sistema en el período de línea base.

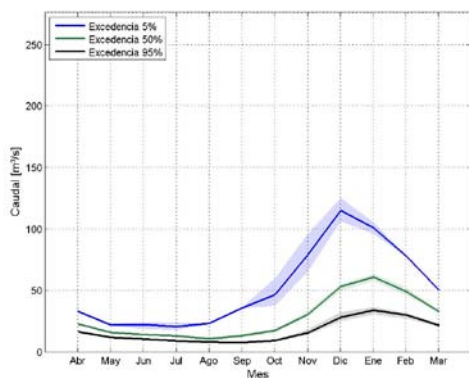
A continuación se presentan los resultados para los siete puntos de interés. Para cada uno de ellos, los resultados se organizaron en dos figuras y tres tablas importantes, a saber:

1. La primera figura posee 6 paneles. La primera columna corresponde a la comparación de las curvas de variación estacional bajo el escenario A2 para tres probabilidades de excedencia, considerando las distintas ventanas (línea base ó LB; 2010-2040; y, 2041-2070). Cada curva presenta los resultados de los distintos GCM, generando una banda. En la columna derecha, se presenta la comparación entre el GCM2 y GCM2-1, para las tres ventanas. Esta figura permite comparar los ajustes alcanzados con estos modelos en términos de estacionalidad y monto para diversos valores de probabilidad de excedencia. Se debe tener en cuenta que esta figura debe ser contrastada con las del capítulo 4.5, en particular, con la curva de variación estacional simulada para cada sistema o subsistema en el período de calibración, que coincide en este caso con el período de línea base (1982-2000).
2. La segunda figura tiene por objetivo comparar el monto o valor del caudal anual promedio por período junto con su incertidumbre asociada los GCM (entendida

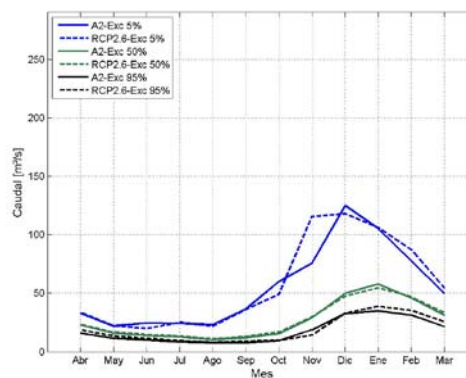
como la desviación estándar de los promedios obtenidos en los modelos GCM), y tiene por objetivo detectar la magnitud y variabilidad del recurso en el período analizado. También se presenta el caudal simulado con datos históricos en el período de línea base (línea gris).

3. Seguido de las figuras, se presentan tres tablas correspondientes a las Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés correspondiente, entregando los resultados para la situación observada, simulada, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM 2-1(RCP2.6) en línea base, en período 2011-2040, y, finalmente, la tercera tabla representa el período 2041-2070.

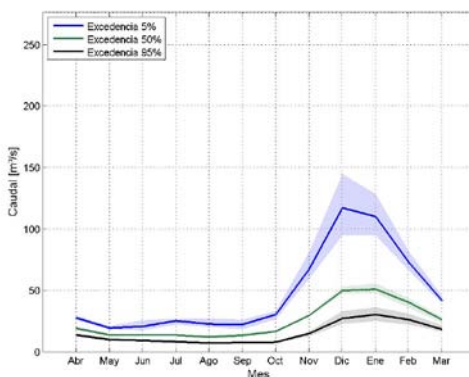
6.1 Punto de interés ID1



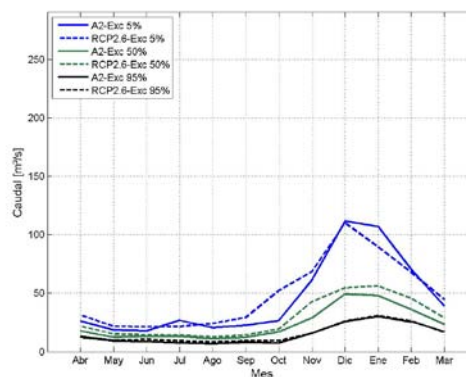
Período de Línea Base, Escenario A2



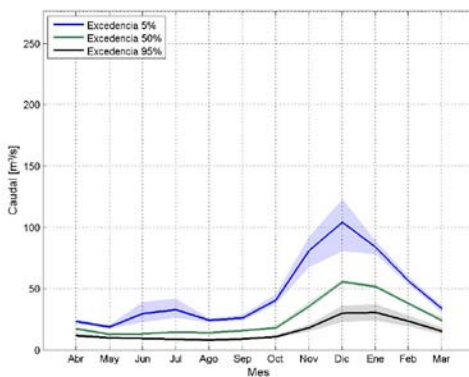
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



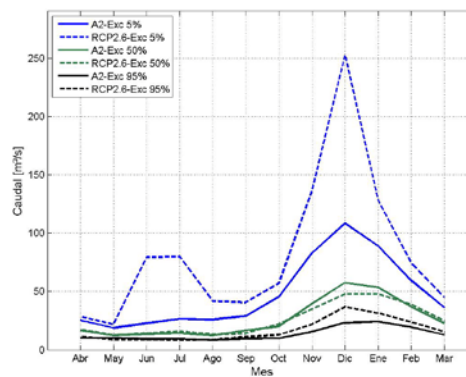
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.5 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID1.

En el punto ID1 no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2, salvo una mayor incertidumbre para años húmedos. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, tampoco las diferencias son significativas en el futuro cercano y éstas aparecen solo en la ventana futura más lejana en los años húmedos.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza claramente en la figura 6.6 donde se aprecia que en el futuro cercano estos caudales disminuyen cerca del 9% para aumentar en la ventana futura más lejana aunque no se recuperan los niveles de la línea base. La incertidumbre de la estimación en ambas ventanas, medida a través del máximo y mínimo caudal promedio anual de las tres simulaciones efectuadas, es tal que la tendencia a la disminución de los caudales futuras se considera representativa.

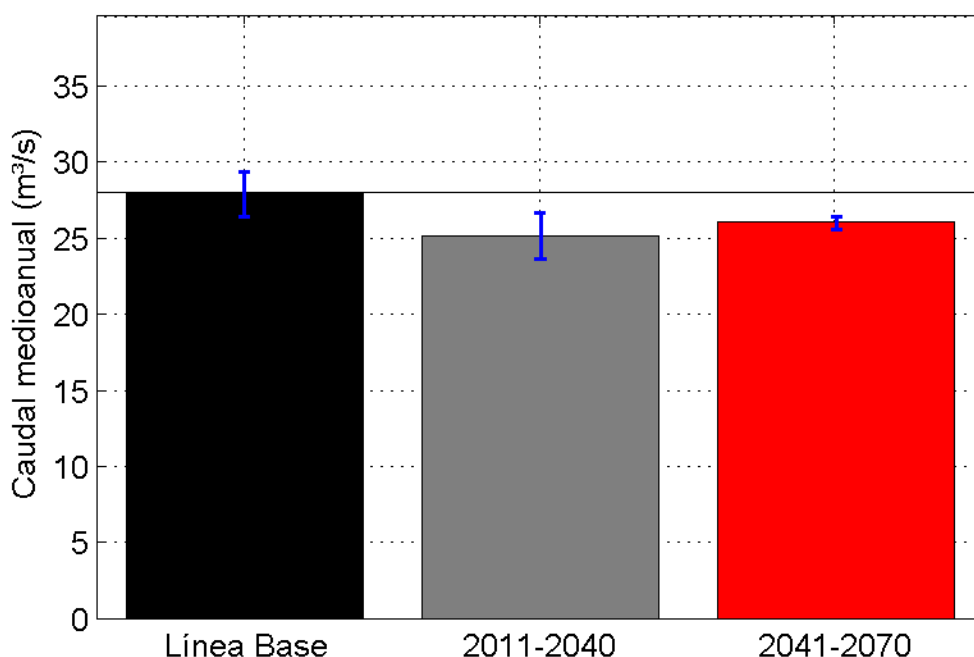


Figura 6.6 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID1. Escenario A2.

Tabla 6.3: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	35,9	23,8	22,5	22,2	19,9	24,3	27,3	66,7	86,6	105,4	86,2	54,0
	10%	32,6	22,9	20,3	20,1	17,3	19,7	27,0	49,9	80,7	97,0	78,5	51,2
	20%	25,0	19,4	18,3	18,2	15,6	18,3	24,8	40,9	77,7	86,1	66,4	45,8
	50%	17,8	15,1	14,0	13,3	13,7	14,2	21,5	34,0	56,1	54,8	46,1	30,7
	85%	15,1	11,9	10,9	10,0	9,8	10,2	14,5	22,9	35,3	39,0	36,3	23,4
	95%	12,4	9,3	9,7	8,7	9,2	8,8	9,4	14,5	23,8	33,3	29,5	20,3
SIM-OBS	5%	33,4	22,6	21,1	18,8	23,4	36,3	42,5	65,4	107,3	107,1	79,5	50,6
	10%	30,2	21,7	20,2	17,4	19,7	27,9	34,9	61,6	96,6	102,0	77,4	45,9
	20%	28,0	19,8	17,7	16,8	15,3	17,3	27,2	45,8	77,1	79,1	62,4	40,2
	50%	22,4	15,6	13,8	13,9	11,1	13,2	16,5	31,9	51,0	58,6	47,9	31,4
	85%	19,4	13,5	11,4	9,9	8,3	9,1	10,8	18,6	30,1	37,5	34,6	25,6
	95%	17,3	12,4	11,0	9,2	7,9	8,3	8,6	16,3	27,4	34,9	31,9	23,2
GCM1	5%	33,1	21,6	18,7	17,9	23,6	35,4	42,1	96,0	113,4	101,4	77,2	49,7
	10%	29,1	20,5	18,1	16,5	20,2	24,4	37,5	71,2	111,0	97,0	67,5	42,2
	20%	26,2	18,9	16,8	16,0	15,2	20,0	27,1	62,6	80,9	86,5	63,6	38,6
	50%	23,2	16,1	14,5	13,8	11,4	14,5	18,9	33,4	55,2	63,6	52,1	34,0
	85%	19,4	14,1	12,6	10,4	9,2	10,0	11,7	18,9	30,7	41,7	38,2	25,4
	95%	17,9	12,9	10,9	9,1	8,1	7,3	9,7	13,6	27,2	36,7	31,9	23,1
GCM2	5%	32,9	21,9	24,6	24,1	23,2	36,5	60,0	75,7	125,2	105,3	77,9	49,7
	10%	28,4	20,2	17,4	16,1	19,5	28,4	36,7	71,2	113,8	103,3	72,1	42,4
	20%	27,5	18,3	15,1	14,7	14,2	18,8	29,3	55,3	80,3	80,2	62,5	38,8
	50%	22,6	15,8	13,7	12,6	10,1	12,0	15,4	29,0	49,7	57,8	46,1	31,3
	85%	18,4	12,8	11,5	10,0	8,5	8,4	10,2	19,3	36,5	40,4	35,2	25,4
	95%	15,9	11,3	10,1	8,4	7,5	7,6	9,4	18,7	32,4	34,8	31,3	21,4
GCM3	5%	33,6	22,9	23,7	20,1	23,2	35,7	37,6	65,4	106,1	95,9	78,1	50,5
	10%	31,3	21,6	20,3	19,1	20,5	26,2	32,0	63,6	86,2	89,0	69,3	45,9
	20%	27,1	18,5	16,5	16,6	14,6	16,9	26,1	44,0	70,2	75,1	60,9	38,5
	50%	22,9	16,2	14,4	13,3	10,8	13,5	18,5	29,2	54,9	61,4	48,9	32,8
	85%	20,3	14,2	12,5	11,2	9,8	9,5	11,1	19,0	34,6	41,5	37,6	28,0
	95%	15,8	11,7	10,9	10,0	9,0	8,5	9,1	14,8	25,1	30,6	27,2	20,3

Continuación Tabla 6.3

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	33,4	22,2	19,8	25,1	22,0	36,0	49,2	115,9	118,0	106,3	87,3	54,6
	10%	30,2	20,1	18,5	19,2	17,9	25,8	42,4	91,6	111,3	99,7	77,5	49,0
	20%	28,9	19,4	16,6	16,1	16,9	16,9	34,9	54,4	81,8	86,4	68,6	44,7
	50%	23,3	16,7	14,6	13,2	11,1	12,9	16,8	29,6	47,4	54,7	47,0	33,5
	85%	19,5	13,9	12,2	11,2	8,9	10,1	11,5	21,2	36,6	43,5	39,2	26,7
	95%	18,8	13,4	11,5	9,4	7,8	8,9	9,6	14,2	32,8	38,8	35,3	25,5

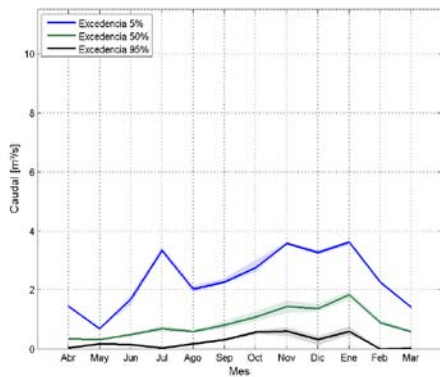
Tabla 6.4: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	21,5	20,5	39,3	42,0	24,8	25,6	39,2	92,5	123,0	84,3	53,2	30,2
	10%	19,3	16,0	21,6	32,3	23,1	23,0	32,9	70,4	99,0	75,4	46,7	27,1
	20%	18,0	14,1	18,3	25,5	20,6	17,6	25,8	65,1	74,6	68,2	46,3	25,7
	50%	16,2	12,1	12,7	15,3	15,5	15,9	16,6	34,6	55,6	51,7	37,2	22,6
	85%	13,4	9,9	9,6	9,8	8,5	11,4	12,9	21,6	35,0	36,5	27,7	17,1
	95%	11,3	8,9	8,9	8,0	7,3	7,8	10,2	18,7	31,4	30,7	23,1	15,0
GCM2	5%	25,3	18,7	22,7	26,5	25,9	29,0	45,5	83,1	108,7	88,9	59,4	36,2
	10%	22,9	16,9	20,8	22,7	20,0	22,2	36,0	61,3	84,8	69,1	49,0	30,1
	20%	19,8	14,2	17,2	18,6	17,5	19,2	28,8	53,6	74,1	63,7	44,6	26,3
	50%	16,7	12,4	13,6	14,2	12,5	16,7	20,0	39,6	57,6	53,4	36,7	22,6
	85%	14,5	10,4	10,1	10,5	9,5	11,5	14,1	24,2	33,6	34,2	26,7	18,4
	95%	10,3	10,2	9,1	9,4	8,3	9,6	9,8	15,3	23,1	24,1	19,3	12,7
GCM3	5%	23,5	17,5	27,3	30,4	22,5	24,0	37,5	67,7	80,6	78,2	55,3	34,4
	10%	22,5	16,3	18,0	23,5	20,8	21,4	27,2	58,7	78,5	75,1	52,9	32,2
	20%	21,2	15,4	16,0	19,5	19,4	18,8	24,2	47,9	68,6	64,0	45,4	29,9
	50%	19,4	14,4	13,7	14,9	14,7	15,4	17,8	33,3	53,9	50,0	39,4	26,8
	85%	16,2	12,0	11,6	11,1	10,2	12,2	14,3	26,1	39,2	42,1	32,8	21,2
	95%	14,2	11,4	10,7	9,6	9,4	10,3	12,7	21,0	36,2	37,5	28,1	18,4
GCM2-1	5%	28,5	21,6	79,4	79,8	41,8	40,6	57,2	136,4	252,9	128,1	74,5	45,1
	10%	24,1	16,8	23,1	33,7	21,8	29,4	48,6	74,9	94,0	91,5	62,8	37,2
	20%	22,4	16,1	18,6	19,6	17,1	19,5	41,4	49,7	65,4	65,5	51,7	33,4
	50%	17,6	12,6	14,2	15,5	13,1	14,0	22,0	35,0	48,0	47,9	38,8	25,0
	85%	13,0	9,8	9,9	9,2	10,0	11,7	14,8	27,9	40,9	37,5	27,7	17,5
	95%	11,4	8,6	8,8	8,4	8,6	11,2	12,7	21,8	36,8	31,5	23,6	15,3

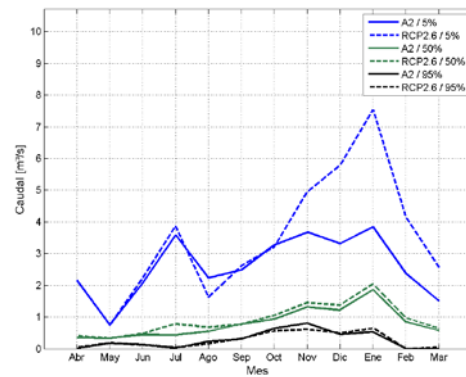
Tabla 6.5: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m³/s) en el punto de interés ID1. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	21,5	20,5	39,3	42,0	24,8	25,6	39,2	92,5	123,0	84,3	53,2	30,2
	10%	19,3	16,0	21,6	32,3	23,1	23,0	32,9	70,4	99,0	75,4	46,7	27,1
	20%	18,0	14,1	18,3	25,5	20,6	17,6	25,8	65,1	74,6	68,2	46,3	25,7
	50%	16,2	12,1	12,7	15,3	15,5	15,9	16,6	34,6	55,6	51,7	37,2	22,6
	85%	13,4	9,9	9,6	9,8	8,5	11,4	12,9	21,6	35,0	36,5	27,7	17,1
	95%	11,3	8,9	8,9	8,0	7,3	7,8	10,2	18,7	31,4	30,7	23,1	15,0
GCM2	5%	25,3	18,7	22,7	26,5	25,9	29,0	45,5	83,1	108,7	88,9	59,4	36,2
	10%	22,9	16,9	20,8	22,7	20,0	22,2	36,0	61,3	84,8	69,1	49,0	30,1
	20%	19,8	14,2	17,2	18,6	17,5	19,2	28,8	53,6	74,1	63,7	44,6	26,3
	50%	16,7	12,4	13,6	14,2	12,5	16,7	20,0	39,6	57,6	53,4	36,7	22,6
	85%	14,5	10,4	10,1	10,5	9,5	11,5	14,1	24,2	33,6	34,2	26,7	18,4
	95%	10,3	10,2	9,1	9,4	8,3	9,6	9,8	15,3	23,1	24,1	19,3	12,7
GCM3	5%	23,5	17,5	27,3	30,4	22,5	24,0	37,5	67,7	80,6	78,2	55,3	34,4
	10%	22,5	16,3	18,0	23,5	20,8	21,4	27,2	58,7	78,5	75,1	52,9	32,2
	20%	21,2	15,4	16,0	19,5	19,4	18,8	24,2	47,9	68,6	64,0	45,4	29,9
	50%	19,4	14,4	13,7	14,9	14,7	15,4	17,8	33,3	53,9	50,0	39,4	26,8
	85%	16,2	12,0	11,6	11,1	10,2	12,2	14,3	26,1	39,2	42,1	32,8	21,2
	95%	14,2	11,4	10,7	9,6	9,4	10,3	12,7	21,0	36,2	37,5	28,1	18,4
GCM2-1	5%	28,5	21,6	79,4	79,8	41,8	40,6	57,2	136,4	252,9	128,1	74,5	45,1
	10%	24,1	16,8	23,1	33,7	21,8	29,4	48,6	74,9	94,0	91,5	62,8	37,2
	20%	22,4	16,1	18,6	19,6	17,1	19,5	41,4	49,7	65,4	65,5	51,7	33,4
	50%	17,6	12,6	14,2	15,5	13,1	14,0	22,0	35,0	48,0	47,9	38,8	25,0
	85%	13,0	9,8	9,9	9,2	10,0	11,7	14,8	27,9	40,9	37,5	27,7	17,5
	95%	11,4	8,6	8,8	8,4	8,6	11,2	12,7	21,8	36,8	31,5	23,6	15,3

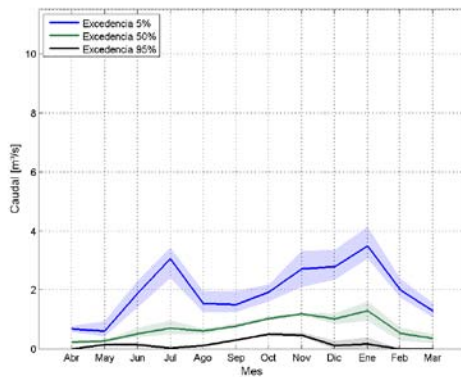
6.2 Punto de interés ID2



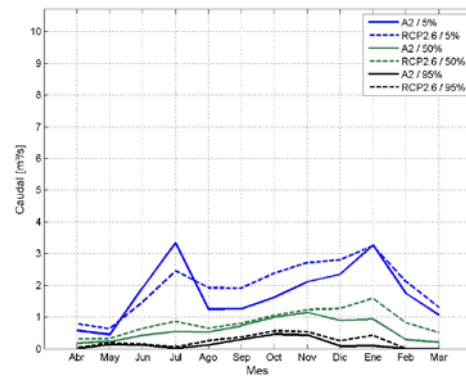
Período de Línea Base, Escenario A2



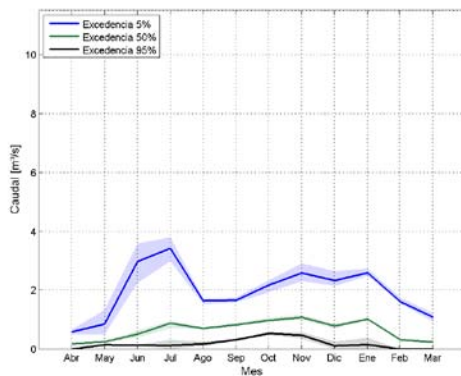
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



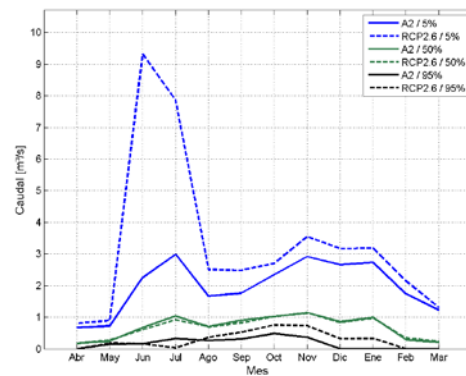
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.7 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID2.

En el punto ID2 no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2, salvo una mayor incertidumbre para años húmedos y una disminución del caudal máximo en el año promedio (50%) que tiende a distribuirse durante el año perdiéndose la característica de régimen nival en V2. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos tanto en línea base como en el futuro; sin embargo en años normales y secos éstas no son diferencias significativas en cuanto al comportamiento aunque se aprecian caudales algo mayores en el futuro cercano especialmente en el período de deshielo, situación que también se observa en los años secos de la ventana futura.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza claramente en la figura 6.8 donde se aprecia que en el futuro cercano estos caudales disminuyen cerca del 18% aunque la incertidumbre de esta estimación es mayor a la entregada por los modelos en línea base. En la ventana futura más lejana los caudales medios anuales tienden a mantenerse en un nivel inferior al de la ventana anterior y con una incertidumbre menor por lo que se considera que la tendencia, a la disminución que alcanza a un valor cercano al 25% respecto a la línea base, es significativa en este caso.

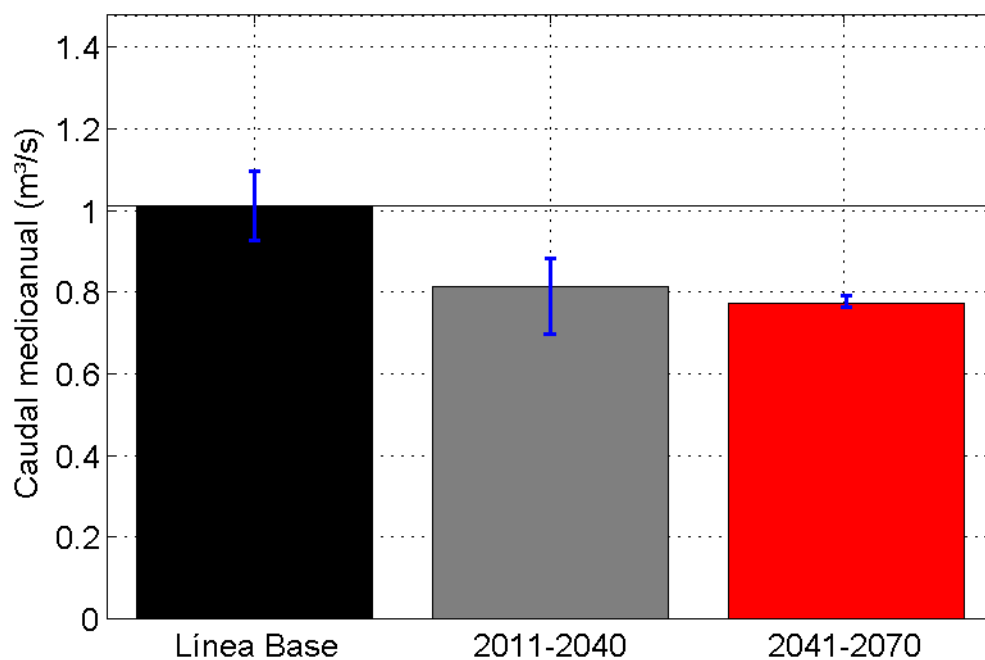


Figura 6.8 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID2. Escenario A2.

Tabla 6.6: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	0,9	0,8	3,0	2,5	2,0	2,2	2,1	4,3	5,1	3,8	2,7	1,6
	10%	0,6	0,7	1,6	2,3	1,9	1,8	2,0	2,9	3,6	3,7	2,3	1,5
	20%	0,5	0,4	0,9	1,5	1,2	1,5	1,8	2,4	2,6	2,7	1,9	1,0
	50%	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,8	1,3	1,6	1,3	2,3	0,9	0,4
	85%	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3	0,4	0,6	0,8	0,2	0,1
	95%	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1
SIM-OBS	5%	2,2	0,8	1,6	3,6	2,2	2,5	2,8	3,7	3,3	3,8	2,4	1,5
	10%	1,0	0,7	1,2	2,2	1,7	2,0	2,6	3,4	3,2	3,4	2,2	1,3
	20%	0,6	0,5	1,0	1,5	1,0	1,2	1,6	2,3	2,3	2,6	1,6	0,9
	50%	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,7	1,0	1,3	1,3	1,7	0,8	0,5
	85%	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,8	0,0	0,1
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0
GCM1	5%	2,2	0,8	1,6	3,6	2,2	2,5	2,8	3,7	3,3	3,8	2,4	1,5
	10%	0,9	0,6	1,1	2,4	1,4	1,8	2,3	3,4	3,2	3,6	2,2	1,4
	20%	0,7	0,4	1,0	1,4	1,1	1,3	1,9	2,9	2,8	3,0	1,9	1,1
	50%	0,3	0,3	0,5	0,7	0,6	0,8	1,1	1,4	1,5	1,9	0,9	0,6
	85%	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,7	0,9	0,7	1,0	0,2	0,2
	95%	0,1	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,6	0,6	0,4	0,7	0,0	0,0
GCM2	5%	2,2	0,8	2,1	3,6	2,2	2,5	3,3	3,7	3,3	3,8	2,4	1,5
	10%	0,9	0,6	1,6	3,0	1,6	2,0	2,8	3,5	3,0	3,1	2,0	1,3
	20%	0,6	0,4	1,0	1,5	0,9	1,2	1,7	2,6	2,5	2,6	1,7	1,0
	50%	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,8	0,9	1,3	1,2	1,9	0,8	0,6
	85%	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	0,8	1,1	0,4	0,2
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,6	0,8	0,5	0,5	0,0	0,0
GCM3	5%	2,2	0,8	1,6	3,6	2,2	2,5	2,8	3,7	3,4	3,8	2,4	1,5
	10%	0,9	0,6	1,5	3,4	1,9	2,3	2,6	3,6	3,3	3,6	2,3	1,3
	20%	0,6	0,5	1,2	2,3	1,6	1,6	2,1	2,7	2,5	2,6	1,7	1,0
	50%	0,3	0,3	0,5	0,7	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	1,6	0,7	0,5
	85%	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,7	0,8	0,6	0,8	0,1	0,1
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,4	0,6	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0

Continuación Tabla 6.6

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	2,2	0,7	2,2	3,9	1,6	2,6	3,2	4,9	5,8	7,5	4,2	2,6
	10%	1,3	0,7	1,2	2,3	1,5	1,8	2,6	3,6	3,4	3,7	2,3	1,6
	20%	0,7	0,4	1,0	1,8	1,4	1,5	2,0	2,7	2,8	3,2	2,0	1,2
	50%	0,4	0,3	0,5	0,8	0,7	0,8	1,0	1,5	1,4	2,0	1,0	0,6
	85%	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	0,7	1,1	0,3	0,2
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,6	0,6	0,5	0,7	0,0	0,0

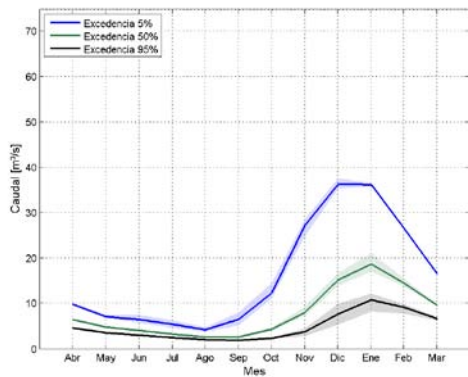
Tabla 6.7: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	0,8	0,9	2,3	3,4	2,0	2,0	2,2	3,3	3,4	4,1	2,4	1,5
	10%	0,7	0,6	2,2	3,0	1,6	1,7	2,1	3,1	2,9	3,2	2,1	1,2
	20%	0,5	0,5	1,0	2,3	1,5	1,4	1,8	2,2	1,8	2,0	1,3	1,0
	50%	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	0,9	1,2	0,4	0,3
	85%	0,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,5	0,0	0,0
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
GCM2	5%	0,6	0,4	1,9	3,3	1,2	1,3	1,6	2,1	2,3	3,3	1,7	1,1
	10%	0,4	0,4	1,6	2,5	1,2	1,2	1,4	2,0	1,9	2,4	1,4	0,9
	20%	0,3	0,4	1,0	1,9	1,0	1,1	1,3	1,7	1,4	1,5	0,8	0,5
	50%	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,1	0,9	0,9	0,3	0,2
	85%	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,6	0,2	0,3	0,0	0,0
	95%	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
GCM3	5%	0,7	0,4	1,4	2,4	1,4	1,3	2,0	2,7	2,7	3,1	1,9	1,2
	10%	0,5	0,4	1,2	2,2	1,3	1,3	1,8	2,2	2,1	2,4	1,4	0,9
	20%	0,4	0,4	1,0	1,9	1,1	1,2	1,5	1,9	1,8	2,2	1,2	0,8
	50%	0,3	0,3	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0	1,3	1,3	1,6	0,8	0,5
	85%	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	0,1	0,1
	95%	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,3	0,4	0,0	0,0
GCM2-1	5%	0,8	0,6	1,5	2,5	1,9	1,9	2,4	2,7	2,8	3,3	2,1	1,3
	10%	0,6	0,5	1,2	2,0	1,5	1,4	1,8	2,5	2,4	2,8	1,8	1,2
	20%	0,5	0,4	1,0	1,6	1,1	1,3	1,7	2,2	2,0	2,2	1,4	0,9
	50%	0,3	0,3	0,6	0,9	0,6	0,8	1,1	1,2	1,3	1,6	0,8	0,5
	85%	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,8	0,8	0,5	0,7	0,0	0,0
	95%	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,5	0,2	0,4	0,0	0,0

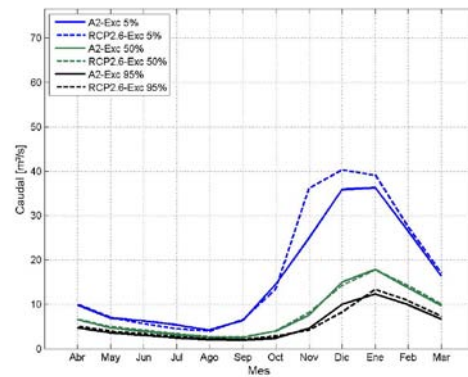
Tabla 6.8: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID2. Resultados para la situación simulada con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	0,5	1,3	3,6	3,5	1,5	1,6	1,9	2,3	2,1	2,5	1,5	0,9
	10%	0,5	0,5	2,0	3,1	1,4	1,3	1,7	1,9	1,8	2,2	1,3	0,9
	20%	0,4	0,4	1,4	2,2	1,1	1,1	1,3	1,7	1,4	1,7	1,0	0,6
	50%	0,2	0,3	0,5	0,9	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	1,0	0,3	0,2
	85%	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,6	0,2	0,3	0,0	0,0
	95%	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0
GCM2	5%	0,7	0,7	2,3	3,0	1,7	1,8	2,3	2,9	2,7	2,7	1,7	1,2
	10%	0,4	0,4	1,8	2,3	1,3	1,2	1,6	2,1	1,9	2,0	1,3	0,9
	20%	0,4	0,4	1,2	2,1	1,0	1,1	1,4	1,6	1,3	1,4	0,7	0,4
	50%	0,2	0,2	0,7	1,0	0,7	0,9	1,0	1,1	0,9	1,0	0,3	0,2
	85%	0,0	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,7	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0
	95%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
GCM3	5%	0,6	0,5	3,1	3,8	1,7	1,6	2,3	2,5	2,2	2,6	1,6	1,1
	10%	0,5	0,4	1,6	2,8	1,6	1,5	1,8	2,3	2,2	2,3	1,4	0,9
	20%	0,4	0,4	1,3	1,5	1,1	1,1	1,4	1,5	1,4	1,8	0,9	0,6
	50%	0,2	0,3	0,4	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	0,8	1,1	0,5	0,3
	85%	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,4	0,5	0,0	0,0
	95%	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,0	0,0
GCM2-1	5%	0,8	0,9	9,3	7,9	2,5	2,5	2,7	3,5	3,2	3,2	2,1	1,3
	10%	0,6	0,5	2,0	3,3	1,8	1,7	2,0	2,8	2,8	3,0	1,9	1,1
	20%	0,4	0,4	1,1	1,4	1,1	1,1	1,4	1,6	1,5	1,9	1,0	0,6
	50%	0,2	0,3	0,6	0,9	0,7	0,8	1,0	1,1	0,8	1,0	0,3	0,2
	85%	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0
	95%	0,0	0,2	0,2	0,0	0,4	0,5	0,8	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0

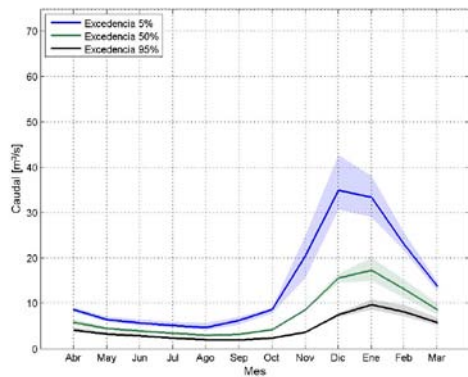
6.3 Punto de interés ID3



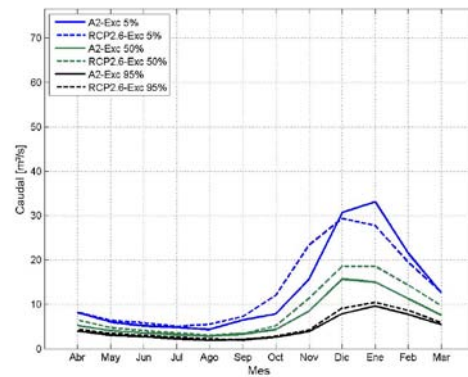
Período de Línea Base, Escenario A2



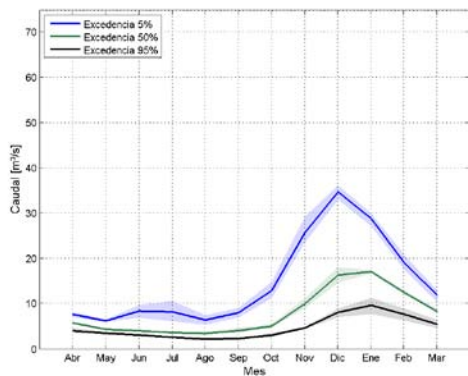
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



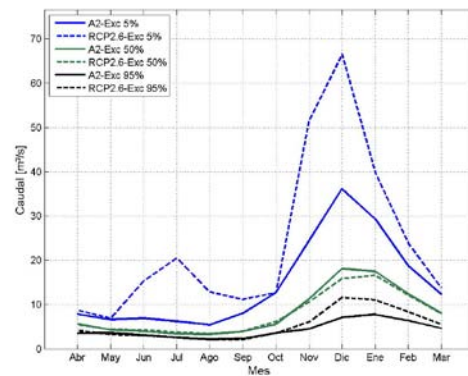
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenario RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.9 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID3.

En el punto ID3 no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2, salvo una mayor incertidumbre para años húmedos, especialmente en el futuro cercano. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos tanto en línea base como en el futuro, especialmente en la ventana futura más lejana; sin embargo en años normales y secos éstas no son diferencias significativas.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza claramente en la figura 6.10 donde se aprecia que en el futuro cercano estos caudales disminuyen en forma no significativa quedando el caudal medio anual de línea base dentro del rango de incertidumbre de esta ventana siendo la incertidumbre de esta estimación mayor a la entregada por los modelos en línea base. En la ventana futura más lejana los caudales medios anuales tienden a mantenerse en un nivel semejante al de la línea base y con una incertidumbre menor por lo que se considera que no hay influencia del cambio climático sobre los caudales en este punto.

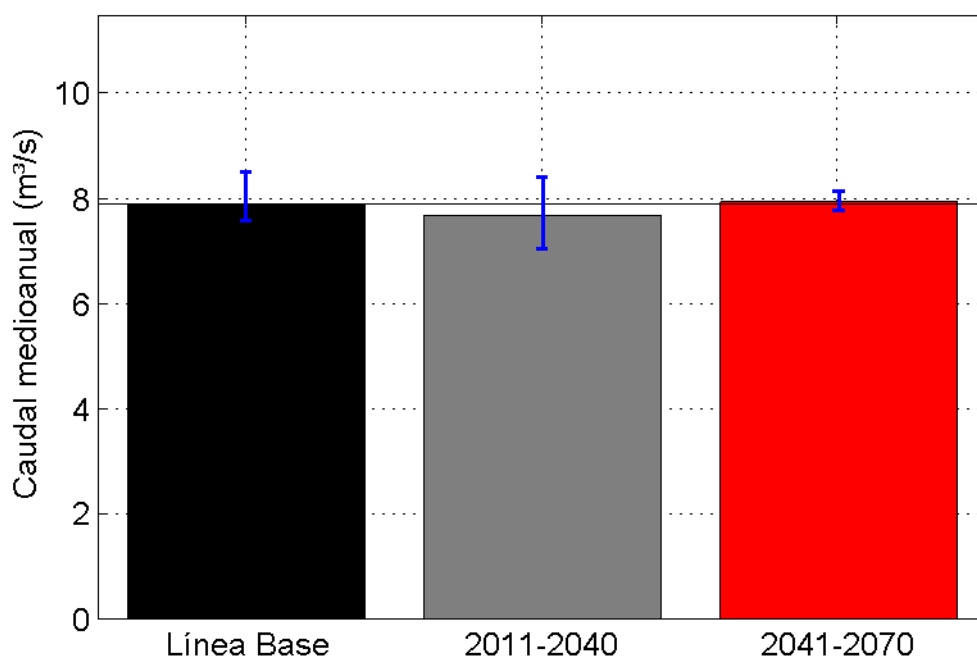


Figura 6.10 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID3. Escenario A2.

Tabla 6.9: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID3. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simuladas con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	12,4	7,9	7,7	7,1	5,9	7,5	7,8	17,8	32,7	44,0	34,8	21,0
	10%	9,9	7,6	6,2	6,4	5,3	6,2	7,3	13,6	30,0	34,0	24,1	15,5
	20%	8,1	6,4	6,1	4,8	4,3	5,1	6,8	12,2	23,1	30,2	21,4	13,7
	50%	5,4	4,4	3,7	3,6	3,7	3,4	5,0	10,8	16,7	18,7	12,0	8,5
	85%	3,4	2,3	2,0	1,7	1,6	2,0	3,6	6,7	10,2	10,9	8,2	5,9
	95%	2,3	1,4	1,3	1,2	1,3	1,4	2,5	4,2	7,2	7,9	7,2	4,6
SIM-OBS	5%	10,1	7,4	6,4	5,2	4,1	5,4	9,6	20,7	34,0	36,1	27,1	16,8
	10%	9,1	6,9	5,8	4,8	4,0	5,0	8,5	19,5	29,8	31,9	24,2	14,5
	20%	7,6	5,9	5,0	3,9	3,1	4,1	6,3	14,9	23,5	25,2	19,1	11,7
	50%	6,4	4,7	4,1	3,3	2,7	2,8	4,0	8,6	15,1	18,0	13,7	9,3
	85%	5,3	4,1	3,4	2,8	2,2	2,1	2,9	5,1	9,4	12,8	11,0	7,7
	95%	4,4	3,5	3,1	2,6	2,1	2,0	2,3	4,0	8,9	10,7	8,8	6,2
GCM1	5%	9,8	6,9	5,8	4,7	3,7	5,2	11,3	28,5	35,3	35,8	26,2	16,3
	10%	7,8	6,2	5,4	4,2	3,3	4,8	9,2	21,0	34,6	30,1	20,2	12,1
	20%	7,6	5,6	4,8	4,0	3,2	4,2	6,2	16,7	27,8	26,7	19,9	11,8
	50%	6,5	4,9	4,2	3,4	2,7	2,8	4,8	9,4	16,7	21,1	15,4	9,7
	85%	5,6	4,3	3,6	2,8	2,3	2,2	3,1	5,2	10,0	14,3	11,8	8,0
	95%	4,9	3,8	3,2	2,7	2,2	2,0	2,6	4,0	7,8	12,0	9,9	7,1
GCM2	5%	9,8	6,9	6,2	5,4	4,2	6,3	14,5	24,9	35,9	36,3	26,4	16,3
	10%	8,0	5,9	5,3	4,2	3,5	4,9	9,2	21,5	34,8	32,3	21,3	12,5
	20%	7,5	5,5	4,5	3,5	2,8	4,1	7,3	18,9	27,7	25,7	18,6	11,4
	50%	6,5	4,7	3,9	3,1	2,6	2,4	4,0	7,5	15,0	17,9	13,7	9,7
	85%	5,4	4,0	3,4	2,7	2,2	2,1	2,8	5,3	11,1	13,8	11,4	7,7
	95%	4,7	3,6	3,0	2,4	2,0	1,9	2,3	4,6	10,0	12,2	9,8	6,7
GCM3	5%	10,0	7,6	7,5	6,4	4,8	8,1	11,2	28,2	37,5	36,5	26,7	16,6
	10%	8,5	6,9	6,6	5,6	4,6	5,6	9,9	24,7	34,6	31,6	22,2	13,7
	20%	8,1	5,9	5,0	4,0	3,2	4,2	6,3	13,7	22,2	26,5	18,4	13,0
	50%	6,5	5,0	4,2	3,4	2,7	2,7	4,3	7,3	13,9	17,1	14,2	9,3
	85%	5,4	4,1	3,4	2,7	2,2	2,2	2,6	4,1	8,9	13,1	11,5	7,8
	95%	4,3	3,4	3,0	2,5	2,1	1,9	2,2	2,9	5,4	8,3	7,8	6,2

Continuación Tabla 6.9

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	10,0	7,0	5,7	4,5	3,9	6,5	13,5	36,2	40,3	39,1	27,4	17,1
	10%	8,5	6,1	5,0	4,0	3,5	5,0	10,7	27,9	35,5	35,2	24,9	15,2
	20%	7,9	5,5	4,7	3,8	3,1	3,9	8,3	17,3	26,0	26,6	20,2	13,0
	50%	6,6	4,9	4,1	3,3	2,7	2,6	4,0	8,1	14,3	17,7	14,2	10,1
	85%	5,4	4,0	3,4	2,8	2,3	2,2	3,0	5,5	11,2	14,1	11,6	7,8
	95%	5,1	3,9	3,3	2,6	2,1	2,0	2,8	4,2	8,2	13,4	10,8	7,3

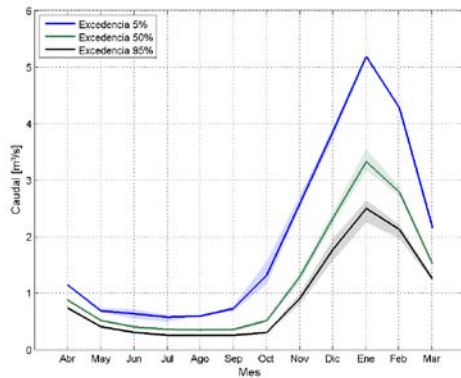
Tabla 6.10: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID3. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	9,2	7,2	6,6	6,0	5,8	7,1	9,2	25,0	42,6	38,1	25,4	14,7
	10%	8,4	6,4	6,2	5,6	5,4	6,7	8,4	18,8	36,5	29,5	20,2	12,3
	20%	7,2	6,0	5,9	5,1	4,3	4,6	7,4	17,3	27,0	26,3	17,9	11,2
	50%	5,8	4,7	4,2	3,8	3,4	3,4	4,4	8,5	14,6	16,9	12,9	8,3
	85%	4,6	3,6	3,1	2,7	2,3	2,1	3,0	4,5	8,8	11,1	9,1	6,3
	95%	3,8	3,1	2,7	2,3	2,1	2,0	2,6	3,7	7,0	8,7	7,2	5,2
GCM2	5%	8,1	6,0	5,1	4,8	4,3	6,4	7,9	15,6	30,7	33,0	21,5	12,6
	10%	7,1	5,4	4,9	4,2	4,1	5,4	6,9	14,4	24,9	26,7	18,0	10,7
	20%	6,7	5,0	4,7	4,1	3,3	4,7	6,2	11,1	22,3	23,7	16,4	10,0
	50%	5,2	4,1	3,5	3,2	2,8	3,3	4,3	8,5	15,7	15,0	11,2	7,5
	85%	4,3	3,4	3,1	2,6	2,2	2,3	3,0	4,7	9,4	11,2	8,8	5,9
	95%	3,9	3,0	2,7	2,2	1,8	2,0	2,6	3,8	7,9	9,6	7,7	5,4
GCM3	5%	8,8	6,4	5,5	4,8	4,1	5,4	9,1	20,8	31,4	29,0	21,7	13,9
	10%	7,7	5,6	5,4	4,5	3,8	4,9	7,6	18,3	26,4	26,7	19,9	12,1
	20%	7,2	5,4	5,0	4,2	3,6	4,1	6,6	15,7	23,7	23,6	17,6	11,1
	50%	6,7	4,9	4,3	3,6	3,0	3,0	4,1	8,9	16,6	20,1	15,2	10,0
	85%	5,2	4,1	3,6	3,0	2,5	2,2	2,8	4,6	9,9	13,6	10,8	7,3
	95%	4,8	3,8	3,3	2,7	2,3	2,0	2,1	3,6	7,8	11,0	9,7	6,9
GCM2-1	5%	8,2	6,4	5,8	4,9	5,5	7,2	12,0	23,4	29,3	27,7	19,5	12,7
	10%	7,4	5,5	5,0	4,3	4,4	6,7	10,3	18,8	27,5	25,3	18,8	11,5
	20%	7,2	5,4	4,6	4,1	3,7	5,1	7,0	16,3	25,0	24,6	17,4	11,0
	50%	6,5	4,7	4,0	3,5	3,0	3,4	5,1	11,4	18,5	18,6	14,3	9,6
	85%	5,0	3,9	3,5	2,9	2,4	2,4	3,1	5,7	11,4	13,0	9,8	7,0
	95%	4,3	3,4	3,0	2,5	2,2	1,9	2,8	4,2	9,1	10,4	8,6	5,8

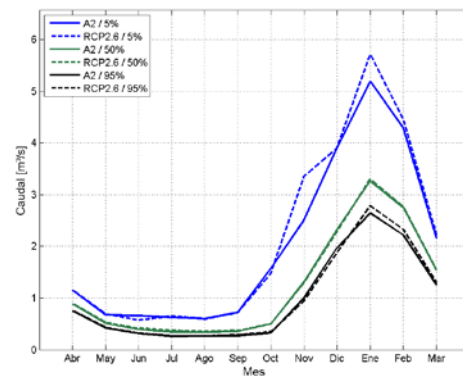
Tabla 6.11: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m³/s) en el punto de interés ID3. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	7,0	6,0	9,7	10,7	7,5	7,0	11,2	23,5	32,9	27,1	17,5	10,3
	10%	6,8	5,7	5,8	7,5	6,2	6,7	10,2	21,7	30,4	25,7	16,8	10,0
	20%	6,4	5,3	5,3	5,9	5,0	5,9	7,2	16,2	24,1	22,5	15,2	9,2
	50%	5,6	4,3	4,1	3,9	3,9	4,8	5,1	9,8	16,2	16,7	12,1	7,8
	85%	4,8	3,8	3,4	3,1	2,8	3,4	4,0	5,9	10,8	12,3	9,3	6,2
	95%	3,9	3,2	3,1	2,6	2,2	2,6	3,0	5,0	9,0	10,0	7,8	5,3
GCM2	5%	7,9	6,6	6,9	6,2	5,4	8,0	12,7	24,4	36,1	29,3	18,7	12,3
	10%	7,6	5,9	5,8	5,6	5,2	6,4	9,9	17,5	28,1	23,2	16,0	9,9
	20%	6,3	4,9	5,0	4,5	4,3	5,4	7,9	16,0	23,0	21,0	15,2	9,3
	50%	5,7	4,3	3,9	3,4	3,3	3,9	5,5	11,2	18,1	17,5	12,4	8,0
	85%	5,0	3,9	3,2	2,7	2,3	3,0	4,1	6,9	11,0	11,7	9,2	6,6
	95%	3,5	3,6	3,1	2,6	2,1	2,3	3,6	4,5	7,1	7,7	6,3	4,6
GCM3	5%	8,2	6,1	8,6	7,9	6,4	9,1	14,9	29,2	34,9	30,0	20,8	12,9
	10%	7,5	6,0	5,4	4,8	4,7	6,6	9,9	19,9	30,5	27,3	18,2	11,4
	20%	7,1	5,5	5,0	4,6	3,9	5,7	6,8	14,0	22,4	21,6	15,1	10,6
	50%	6,1	4,5	4,1	3,7	3,3	3,6	4,7	9,0	14,7	17,1	13,0	8,9
	85%	5,1	4,0	3,6	2,9	2,5	2,7	3,2	5,3	10,2	12,7	10,5	7,3
	95%	4,7	3,8	3,3	2,7	2,3	2,2	2,7	4,6	8,4	11,3	9,0	6,5
GCM2-1	5%	8,7	6,9	15,3	20,5	12,8	11,1	12,6	51,3	66,6	39,8	23,9	13,7
	10%	8,2	6,2	5,7	6,2	4,9	8,7	11,1	21,1	31,7	30,5	20,6	13,4
	20%	6,8	5,3	5,1	4,6	4,1	5,4	8,7	17,0	22,4	21,8	16,4	10,4
	50%	5,5	4,3	4,3	3,7	3,4	3,9	6,1	10,6	15,8	16,6	12,1	7,9
	85%	4,6	3,6	3,2	2,7	2,2	2,8	4,2	8,1	12,4	12,7	9,5	6,3
	95%	4,1	3,2	3,0	2,5	2,1	2,1	3,5	6,0	11,5	11,1	8,3	5,5

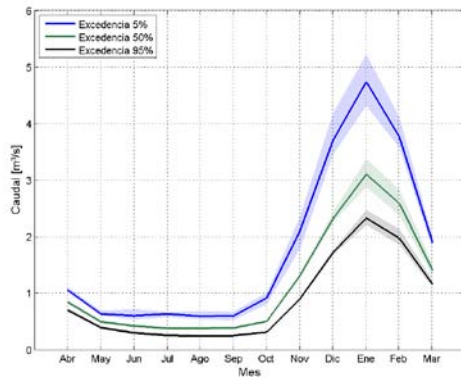
6.4 Punto de interés ID4



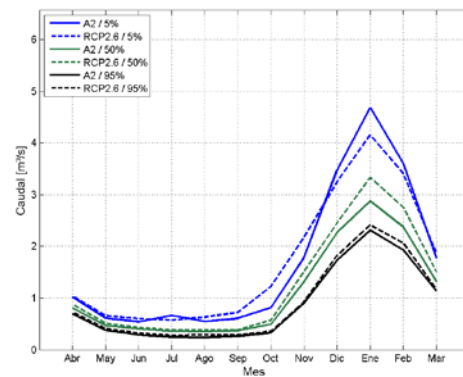
Período de Línea Base, Escenario A2



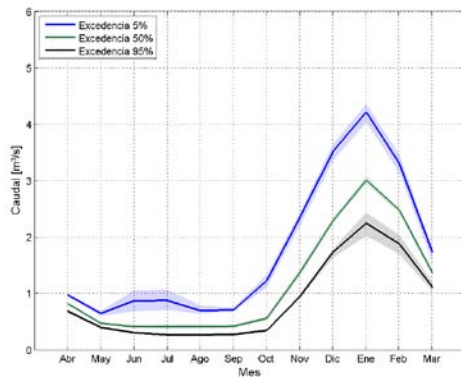
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



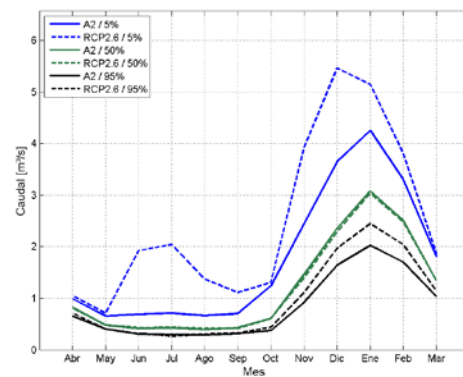
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.11 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID4.

En el punto ID4 no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos aumentando significativamente los caudales para el escenario RCP 2.6 en el futuro más lejano analizado; también en los años secos este escenario se aprecia como más favorable, sin embargo en años normales no se aprecian diferencias significativas. En el futuro cercano no se observan diferencias en las curvas de variación estacional en los años secos mientras que en los años normales se aprecia que los caudales para el escenario RCP 2.6 no cambian significativamente respecto de la línea base observándose que estos son superiores a los del escenario A2 en el período de deshielo; en los años húmedos los caudales invernales simulados bajo las forzantes del escenario RCP 2.6 tienden a ser superiores a aquellos simulados con las forzantes del escenario A2 mientras que en el período de deshielo la situación se invierte.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza en la figura 6.12 apreciándose que en el futuro estos tienden a disminuir siendo menor la incertidumbre en el futuro más lejano sugiriendo que esta tendencia es significativa.

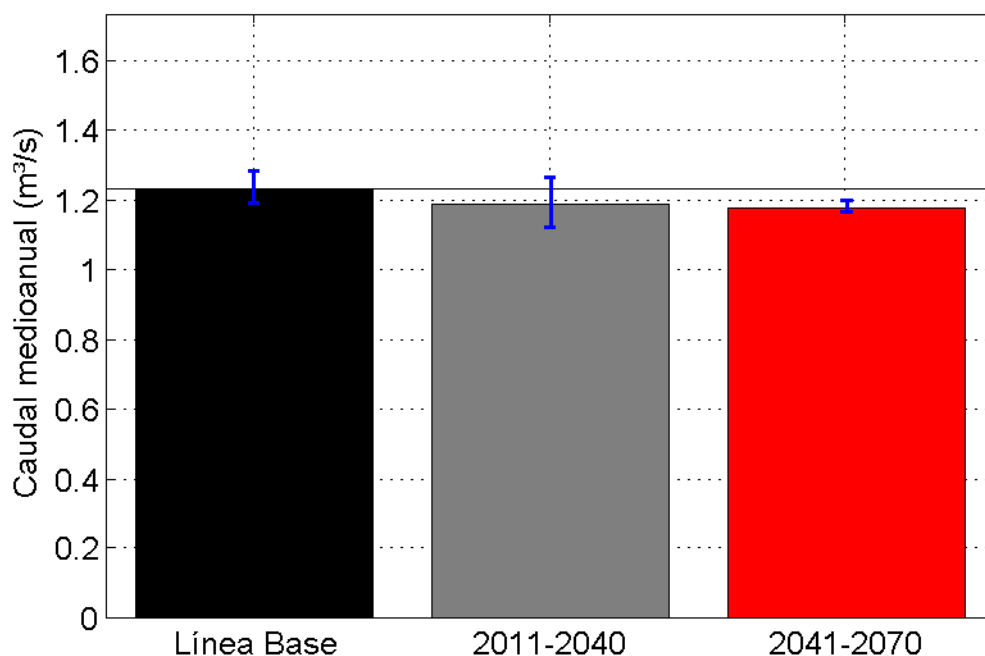


Figura 6.12 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID4. Escenario A2.

Tabla 6.12: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simuladas con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1. Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	1,3	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	1,7	3,4	5,4	4,8	2,3
	10%	1,1	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,6	3,2	4,5	3,7	1,9
	20%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	1,5	2,9	4,1	3,3	1,8
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,3	2,5	3,6	2,7	1,5
	85%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	2,0	2,6	2,2	1,2
	95%	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,6	2,3	1,8	1,1
SIM-OBS	5%	1,2	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	1,1	2,3	3,6	5,2	4,3	2,2
	10%	1,1	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	1,0	2,3	3,5	4,6	3,9	2,0
	20%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,8	1,8	2,9	4,0	3,4	1,7
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	2,4	3,3	2,7	1,5
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,9	2,7	2,4	1,3
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,8	2,5	2,1	1,2
GCM1	5%	1,1	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	1,2	2,5	3,7	5,2	4,2	2,1
	10%	1,0	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	1,1	2,4	3,6	4,4	3,5	1,8
	20%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,8	2,0	3,2	4,2	3,5	1,7
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,4	2,5	3,6	2,9	1,5
	85%	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,9	2,9	2,5	1,4
	95%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,8	2,6	2,2	1,3
GCM2	5%	1,2	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	1,6	2,5	3,9	5,2	4,3	2,1
	10%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	1,1	2,3	3,7	4,6	3,7	1,8
	20%	1,0	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,9	2,1	3,1	4,1	3,3	1,7
	50%	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	1,3	2,3	3,3	2,8	1,5
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	2,0	2,8	2,4	1,3
	95%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	2,0	2,6	2,2	1,3
GCM3	5%	1,2	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	2,7	3,9	5,2	4,3	2,2
	10%	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,1	2,4	3,6	4,6	3,7	2,0
	20%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,8	2,9	4,2	3,4	1,8
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	1,2	2,2	3,2	2,7	1,5
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,8	2,8	2,4	1,3
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,8	1,6	2,3	2,0	1,2

Continuación Tabla 6.12

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	1,2	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,5	3,4	3,9	5,7	4,5	2,2
	10%	1,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,2	2,6	3,7	5,1	4,2	2,1
	20%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	1,9	3,1	4,2	3,5	1,8
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	2,3	3,3	2,8	1,6
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	2,0	2,8	2,4	1,4
	95%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,9	2,8	2,3	1,3

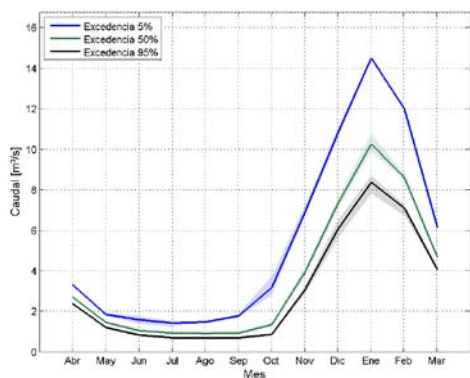
Tabla 6.13: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	2,4	4,2	5,2	4,1	2,0
	10%	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	2,1	3,7	4,5	3,4	1,7
	20%	0,9	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,9	1,9	3,0	4,0	3,1	1,7
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	2,3	3,1	2,6	1,4
	85%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,8	2,5	2,1	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,7	2,2	1,9	1,1
GCM2	5%	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,8	1,8	3,5	4,7	3,6	1,8
	10%	0,9	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	1,6	2,9	3,9	3,1	1,6
	20%	0,9	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	1,5	2,8	3,7	2,9	1,5
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	1,3	2,3	2,9	2,4	1,3
	85%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,9	2,5	2,1	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,7	2,3	1,9	1,1
GCM3	5%	1,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	2,2	3,5	4,3	3,6	1,9
	10%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	1,9	3,0	4,0	3,4	1,7
	20%	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,8	2,9	3,8	3,1	1,6
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	2,4	3,4	2,8	1,5
	85%	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	2,0	2,7	2,3	1,3
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,8	2,5	2,1	1,2
GCM2-1	5%	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,2	2,2	3,2	4,2	3,4	1,9
	10%	1,0	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	1,1	2,0	3,2	4,0	3,3	1,7
	20%	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,8	2,9	3,9	3,1	1,6
	50%	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,5	2,4	3,3	2,8	1,5
	85%	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	2,0	2,7	2,2	1,3
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,9	1,8	2,4	2,1	1,2

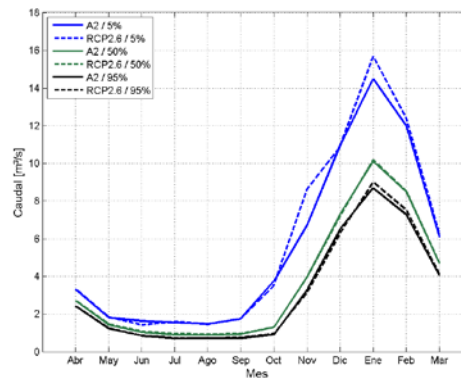
Tabla 6.14: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID4. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	0,9	0,7	1,1	1,1	0,8	0,7	1,1	2,2	3,4	4,0	3,1	1,6
	10%	0,9	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	1,0	2,0	3,2	3,9	3,0	1,5
	20%	0,9	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,8	1,7	2,8	3,6	2,8	1,5
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,4	2,3	2,9	2,4	1,3
	85%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	1,9	2,5	2,1	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	1,8	2,3	1,9	1,1
GCM2	5%	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,2	2,4	3,6	4,3	3,3	1,8
	10%	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	1,8	3,1	3,6	2,9	1,6
	20%	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,7	2,7	3,5	2,8	1,4
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,5	2,4	3,1	2,5	1,3
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	1,1	1,9	2,5	2,1	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,9	1,6	2,0	1,7	1,0
GCM3	5%	1,0	0,6	0,9	0,9	0,6	0,8	1,3	2,4	3,6	4,4	3,5	1,8
	10%	1,0	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	2,0	3,2	4,0	3,2	1,7
	20%	0,9	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	1,6	2,7	3,5	2,8	1,6
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	2,3	3,0	2,5	1,4
	85%	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,9	2,6	2,2	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	1,8	2,4	2,0	1,2
GCM2-1	5%	1,0	0,7	1,9	2,0	1,4	1,1	1,3	3,9	5,5	5,1	3,8	1,9
	10%	1,0	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	1,0	2,0	3,5	4,3	3,3	1,8
	20%	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,7	2,7	3,5	2,9	1,6
	50%	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,4	2,3	3,0	2,5	1,3
	85%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	1,2	2,0	2,6	2,2	1,2
	95%	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	2,0	2,4	2,0	1,1

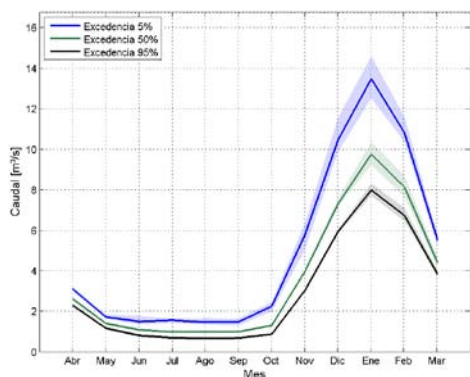
6.5 Punto de interés ID5



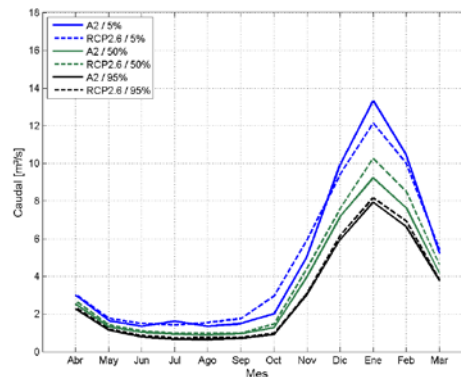
Período de Línea Base, Escenario A2



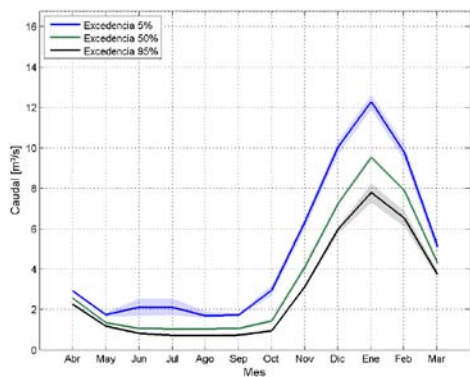
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



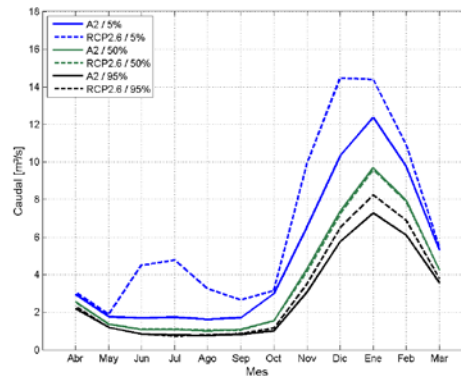
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.13 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID5.

En el punto ID5 tampoco se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos aumentando significativamente los caudales para el escenario RCP 2.6 en el futuro más lejano analizado; también en los años secos este escenario se aprecia como más favorable, sin embargo en años normales no se aprecian diferencias significativas. En el futuro cercano no se observan diferencias en las curvas de variación estacional en los años secos mientras que en los años normales se aprecia que los caudales para el escenario RCP 2.6 no cambian significativamente respecto de la línea base observándose que estos son superiores a los del escenario A2 en el período de deshielo; en los años húmedos los caudales invernales simulados bajo las forzantes del escenario RCP 2.6 tienden a ser superiores a aquellos simulados con las forzantes del escenario A2 mientras que en el período de deshielo la situación se invierte.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza en la figura 6.14 apreciándose que en el futuro estos tienden a disminuir siendo menor la incertidumbre en el futuro más lejano sugiriendo que esta tendencia es significativa .

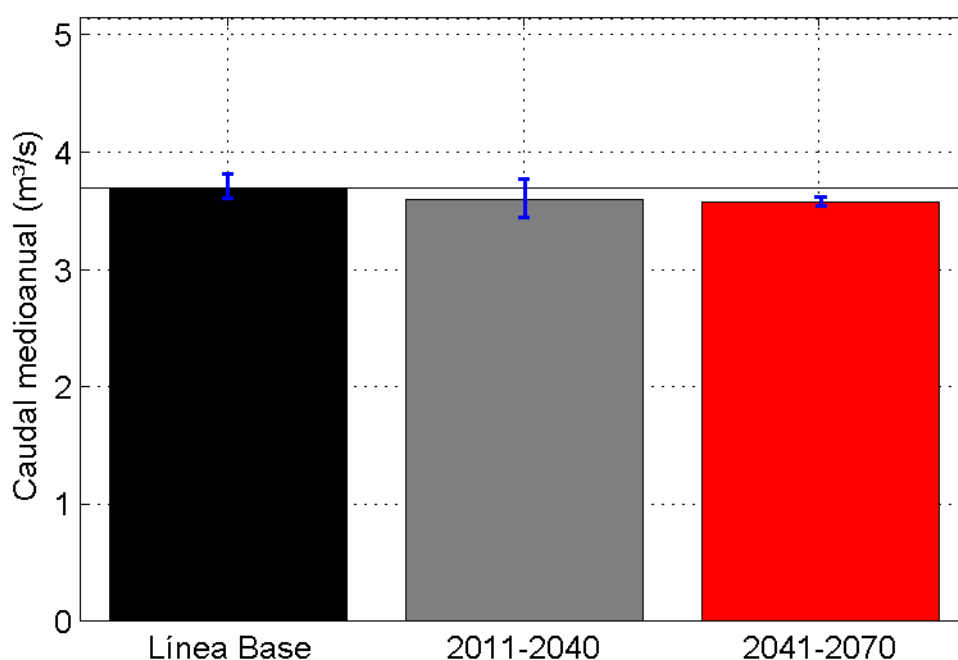


Figura 6.14 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID5. Escenario A2.

Tabla 6.15: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	3,6	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,8	4,8	9,8	14,9	13,3	6,5
	10%	3,1	1,8	1,4	1,3	1,2	1,3	1,7	4,6	9,3	12,9	10,7	5,4
	20%	3,0	1,6	1,2	1,2	1,1	1,1	1,7	4,3	8,5	11,9	9,8	5,3
	50%	2,7	1,4	1,0	1,0	0,9	1,0	1,5	4,0	7,7	10,8	8,3	4,7
	85%	2,4	1,2	0,8	0,7	0,8	0,8	1,1	3,6	6,7	8,6	7,2	4,0
	95%	2,2	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	3,0	5,7	7,9	6,4	3,8
SIM-OBS	5%	3,4	2,0	1,5	1,3	1,5	1,7	2,7	6,3	10,2	14,5	12,1	6,2
	10%	3,2	1,8	1,4	1,2	1,3	1,5	2,3	6,1	10,0	13,2	11,2	5,7
	20%	2,9	1,7	1,2	1,1	1,2	1,1	1,9	5,0	8,7	11,7	9,9	5,1
	50%	2,7	1,4	1,0	1,0	0,9	1,0	1,3	3,9	7,4	10,2	8,4	4,6
	85%	2,5	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	3,3	6,3	8,9	7,7	4,3
	95%	2,4	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,1	6,1	8,3	7,0	3,9
GCM1	5%	3,3	1,8	1,4	1,3	1,5	1,7	3,0	6,7	10,5	14,4	11,9	6,1
	10%	3,0	1,8	1,3	1,2	1,3	1,4	2,7	6,4	10,3	12,8	10,2	5,2
	20%	3,0	1,6	1,2	1,1	1,1	1,2	2,0	5,6	9,2	12,2	10,1	5,1
	50%	2,7	1,5	1,1	1,0	1,0	1,0	1,4	4,1	7,6	10,8	8,8	4,6
	85%	2,5	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	3,4	6,4	9,2	7,9	4,3
	95%	2,4	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7	0,9	3,1	6,1	8,6	7,3	4,1
GCM2	5%	3,3	1,8	1,6	1,5	1,5	1,8	3,7	6,7	10,9	14,5	12,0	6,1
	10%	3,0	1,7	1,3	1,1	1,4	1,5	2,7	6,2	10,4	13,2	10,6	5,3
	20%	2,9	1,6	1,1	1,1	1,1	1,2	2,2	5,7	9,2	12,0	9,7	5,1
	50%	2,7	1,4	1,0	0,9	0,9	0,9	1,3	4,0	7,3	10,1	8,5	4,7
	85%	2,5	1,3	0,9	0,8	0,7	0,8	1,0	3,4	6,6	9,1	7,7	4,2
	95%	2,4	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,3	6,5	8,7	7,3	4,0
GCM3	5%	3,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,9	2,8	7,2	11,0	14,5	12,0	6,2
	10%	3,1	1,8	1,5	1,4	1,4	1,7	2,7	6,4	10,3	13,2	10,6	5,7
	20%	3,0	1,6	1,2	1,2	1,3	1,2	2,0	5,0	8,5	12,1	9,9	5,3
	50%	2,7	1,5	1,1	1,0	0,9	0,9	1,3	3,7	7,1	9,9	8,4	4,6
	85%	2,5	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	3,2	6,2	8,9	7,8	4,3
	95%	2,3	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	2,8	5,6	7,8	6,7	3,9

Continuación Tabla 6.15

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	3,3	1,8	1,4	1,6	1,5	1,7	3,5	8,6	10,9	15,7	12,4	6,2
	10%	3,1	1,7	1,3	1,3	1,3	1,5	2,8	6,9	10,5	14,2	11,7	5,9
	20%	3,0	1,6	1,2	1,2	1,2	1,2	2,2	5,4	9,1	12,2	10,3	5,3
	50%	2,7	1,5	1,1	1,0	0,9	1,0	1,3	3,9	7,2	10,2	8,5	4,7
	85%	2,5	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	3,4	6,7	9,1	7,8	4,3
	95%	2,4	1,2	0,9	0,7	0,7	0,8	0,9	3,1	6,3	9,0	7,5	4,1

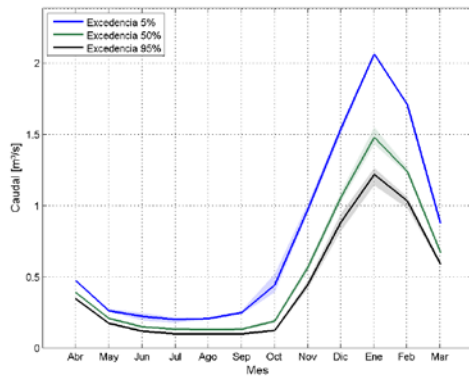
Tabla 6.16: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	3,2	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	2,5	6,4	11,5	14,6	11,6	5,8
	10%	3,0	1,8	1,6	1,5	1,5	1,6	2,3	5,8	10,5	12,9	10,0	5,1
	20%	2,8	1,6	1,3	1,3	1,4	1,3	2,2	5,3	8,8	11,8	9,4	5,0
	50%	2,6	1,5	1,1	1,0	1,0	1,1	1,4	3,9	7,2	9,6	8,1	4,3
	85%	2,4	1,2	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	3,2	6,1	8,4	7,0	3,9
	95%	2,2	1,1	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,0	5,8	7,7	6,5	3,7
GCM2	5%	3,0	1,7	1,4	1,6	1,3	1,5	2,0	5,0	9,9	13,3	10,4	5,2
	10%	2,8	1,5	1,2	1,4	1,3	1,3	1,9	4,7	8,7	11,6	9,2	4,7
	20%	2,8	1,5	1,2	1,3	1,1	1,2	1,7	4,5	8,5	11,0	8,9	4,7
	50%	2,5	1,3	1,0	0,9	0,9	1,0	1,3	4,0	7,2	9,2	7,6	4,2
	85%	2,3	1,2	0,9	0,8	0,7	0,8	1,0	3,2	6,3	8,3	6,9	3,8
	95%	2,3	1,1	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,0	6,0	7,9	6,6	3,8
GCM3	5%	3,1	1,7	1,4	1,4	1,4	1,3	2,3	5,9	9,9	12,5	10,4	5,5
	10%	2,9	1,6	1,3	1,4	1,3	1,3	2,2	5,3	8,8	11,7	10,0	5,1
	20%	2,8	1,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,8	5,1	8,5	11,3	9,2	4,8
	50%	2,7	1,5	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3	4,1	7,6	10,4	8,7	4,7
	85%	2,5	1,3	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0	3,2	6,5	8,8	7,4	4,1
	95%	2,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	3,1	6,0	8,3	7,1	4,0
GCM2-1	5%	3,1	1,8	1,5	1,4	1,5	1,7	2,9	5,9	9,4	12,1	10,0	5,4
	10%	2,9	1,6	1,3	1,3	1,4	1,6	2,6	5,6	9,2	11,7	9,8	5,1
	20%	2,8	1,5	1,2	1,3	1,3	1,2	1,9	5,0	8,7	11,5	9,3	4,9
	50%	2,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,5	4,4	7,6	10,3	8,5	4,6
	85%	2,5	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	1,0	3,4	6,6	8,7	7,2	4,1
	95%	2,4	1,2	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	3,1	6,2	8,2	6,9	3,9

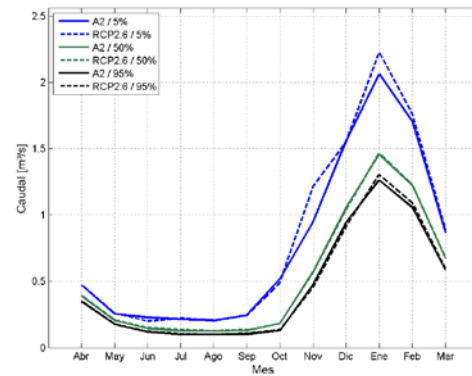
Tabla 6.17: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID5. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	2,8	1,9	2,5	2,6	1,9	1,7	2,7	6,0	9,7	11,9	9,4	4,7
	10%	2,8	1,7	1,5	1,9	1,6	1,5	2,3	5,6	9,3	11,5	9,2	4,7
	20%	2,7	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	2,0	4,8	8,4	10,8	8,7	4,5
	50%	2,5	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	4,1	7,2	9,4	7,8	4,2
	85%	2,4	1,2	0,9	0,8	0,8	0,9	1,2	3,4	6,4	8,3	6,9	3,8
	95%	2,3	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,2	6,1	7,9	6,6	3,7
GCM2	5%	2,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	3,0	6,5	10,3	12,4	9,8	5,3
	10%	2,8	1,6	1,4	1,5	1,5	1,5	2,3	5,2	9,0	10,8	8,9	4,9
	20%	2,7	1,5	1,3	1,3	1,2	1,3	1,9	4,9	8,2	10,6	8,6	4,5
	50%	2,6	1,4	1,1	1,1	1,0	1,1	1,5	4,3	7,4	9,7	7,9	4,2
	85%	2,4	1,3	0,9	0,8	0,8	0,9	1,2	3,6	6,4	8,3	6,9	4,0
	95%	2,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	3,1	5,7	7,3	6,1	3,5
GCM3	5%	3,0	1,7	2,1	2,1	1,6	1,8	3,2	6,5	10,1	12,6	10,1	5,3
	10%	2,9	1,6	1,4	1,6	1,6	1,6	2,3	5,5	9,4	11,9	9,6	5,1
	20%	2,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,3	1,8	4,7	8,2	10,7	8,7	4,9
	50%	2,6	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,4	4,0	7,2	9,5	7,9	4,4
	85%	2,4	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	3,3	6,3	8,6	7,3	4,0
	95%	2,4	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	3,2	6,1	8,2	6,9	3,9
GCM2-1	5%	3,1	1,9	4,5	4,8	3,2	2,6	3,1	9,9	14,5	14,4	10,9	5,4
	10%	3,0	1,6	1,5	1,9	1,5	2,1	2,4	5,5	10,0	12,4	9,9	5,3
	20%	2,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	2,0	4,9	8,2	10,7	8,8	4,8
	50%	2,5	1,4	1,1	1,1	1,1	1,0	1,5	4,2	7,2	9,6	7,9	4,2
	85%	2,4	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9	1,2	3,7	6,6	8,6	7,1	3,9
	95%	2,3	1,2	0,8	0,7	0,8	0,8	1,2	3,5	6,5	8,2	6,9	3,8

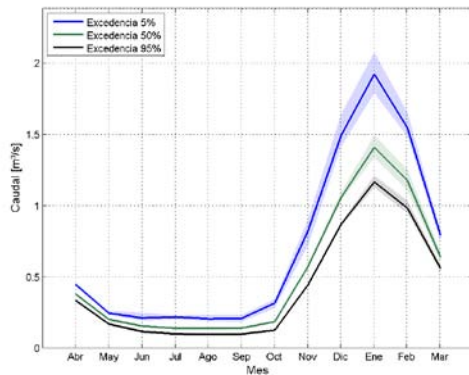
6.6 Punto de interés ID6



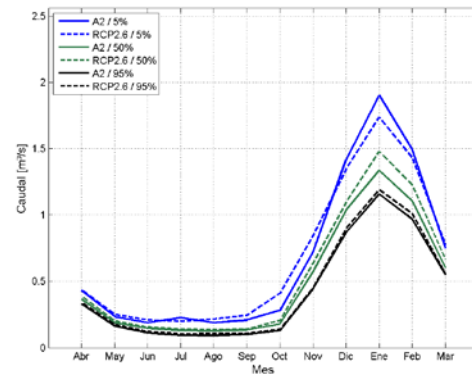
Período de Línea Base, Escenario A2



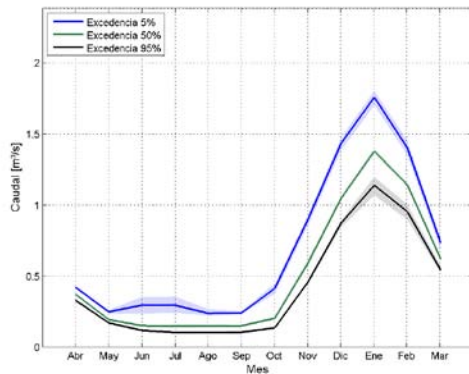
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



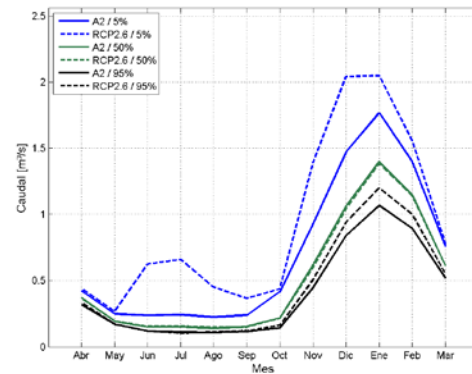
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.15 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID6.

Al igual que en el punto anterior, en el punto ID6 los caudales medios mensuales asociados a distintas probabilidades no varían considerablemente por lo que no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos aumentando significativamente los caudales para el escenario RCP 2.6 en el futuro más lejano analizado; también en los años secos este escenario se aprecia como más favorable, sin embargo en años normales no se aprecian diferencias significativas. En el futuro cercano no se observan diferencias en las curvas de variación estacional en los años secos mientras que en los años normales se aprecia que los caudales para el escenario RCP 2.6 no cambian significativamente respecto de la línea base observándose que estos son superiores a los del escenario A2 en el período de deshielo; en los años húmedos los caudales invernales simulados bajo las forzantes del escenario RCP 2.6 tienden a ser superiores a aquellos simulados con las forzantes del escenario A2 mientras que en el período de deshielo la situación se invierte.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza en la figura 6.16 apreciándose que en el futuro estos tienden a disminuir siendo menor la incertidumbre en el futuro más lejano sugiriendo que esta tendencia es significativa.

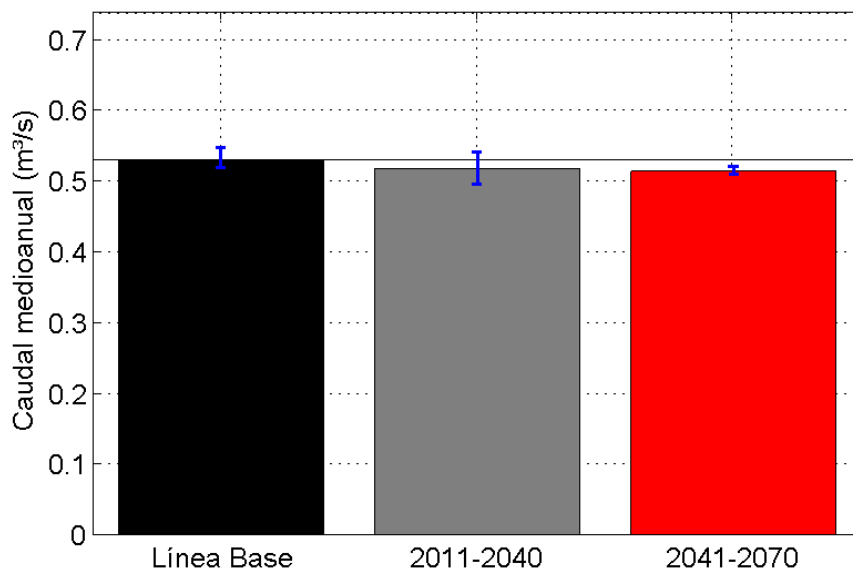


Figura 6.16 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID6. Escenario A2.

Tabla 6.18: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,4	2,1	1,9	0,9
	10%	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	1,3	1,8	1,5	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	1,2	1,7	1,4	0,8
	50%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,6	1,2	0,7
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	1,0	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	1,1	0,9	0,6
SIM-OBS	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	2,1	1,7	0,9
	10%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,9	1,4	1,9	1,6	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,7	1,4	0,7
	50%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,5	1,2	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
GCM1	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	1,0	1,5	2,1	1,7	0,9
	10%	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	1,8	1,5	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,8	1,5	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,5	1,3	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
	95%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	1,2	1,1	0,6
GCM2	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9	1,6	2,1	1,7	0,9
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	1,9	1,5	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	1,4	0,7
	50%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,5	1,2	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	1,0	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
GCM3	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	1,0	1,6	2,1	1,7	0,9
	10%	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	1,9	1,5	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,7	1,4	0,8
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	1,0	1,4	1,2	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	1,1	1,0	0,6

Continuación Tabla 6.18

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	1,2	1,6	2,2	1,8	0,9
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	1,0	1,5	2,0	1,7	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	1,5	0,8
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	1,5	1,2	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	1,0	1,3	1,1	0,6
	95%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6

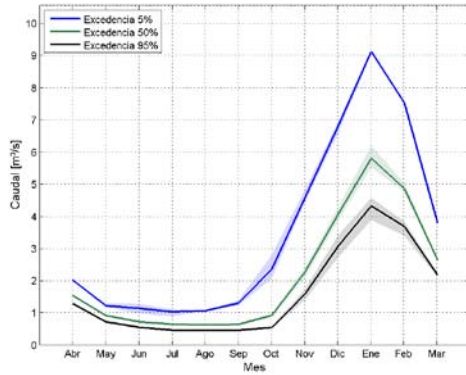
Tabla 6.19: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,9	1,6	2,1	1,7	0,8
	10%	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,5	1,8	1,4	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	1,4	1,2	0,6
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	1,1	0,9	0,5
GCM2	5%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,4	1,9	1,5	0,7
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,7	1,3	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	1,2	1,6	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	1,3	1,1	0,6
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	1,2	1,0	0,5
GCM3	5%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,4	1,8	1,5	0,8
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	1,4	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,6	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,5	1,3	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
GCM2-1	5%	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,8	1,3	1,7	1,4	0,8
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,8	1,3	1,7	1,4	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,7	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,1	1,5	1,2	0,7
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	1,0	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	1,2	1,0	0,6

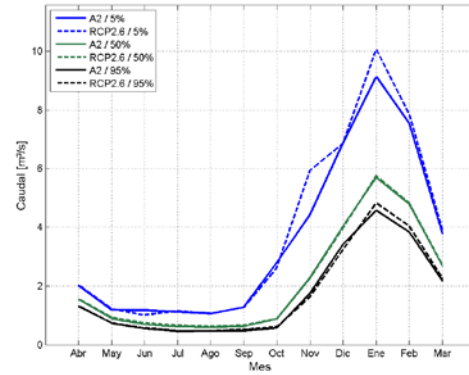
Tabla 6.20: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID6. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,9	1,4	1,7	1,3	0,7
	10%	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,6	1,3	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,6	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	1,4	1,1	0,6
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,1	1,0	0,5
GCM2	5%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	1,8	1,4	0,8
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,3	1,6	1,3	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,5	1,2	0,6
	50%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,6	1,1	1,4	1,1	0,6
	85%	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	1,1	0,9	0,5
GCM3	5%	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,9	1,4	1,8	1,4	0,8
	10%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	1,4	0,7
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	1,2	1,5	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	1,4	1,1	0,6
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,1	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6
GCM2-1	5%	0,4	0,3	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	1,4	2,0	2,0	1,6	0,8
	10%	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,8	1,4	1,8	1,4	0,8
	20%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	1,5	1,3	0,7
	50%	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	1,4	1,1	0,6
	85%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	1,0	1,2	1,0	0,6
	95%	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,0	0,6

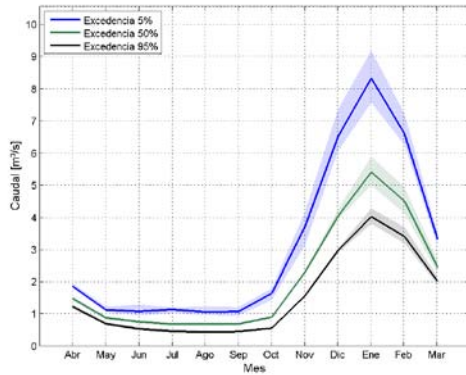
6.7 Punto de interés ID7



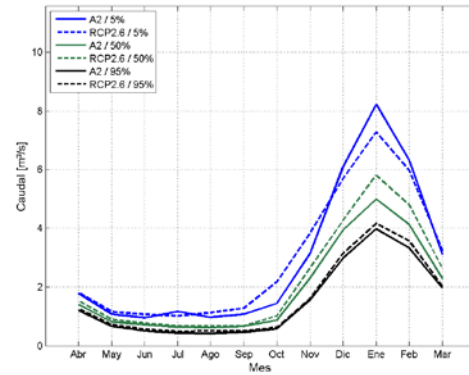
Período de Línea Base, Escenario A2



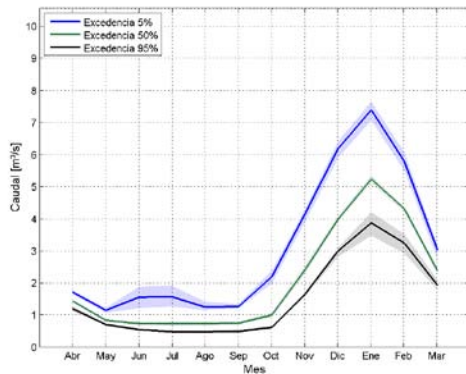
Período de Línea Base, Escenarios A2 y RCP2.6



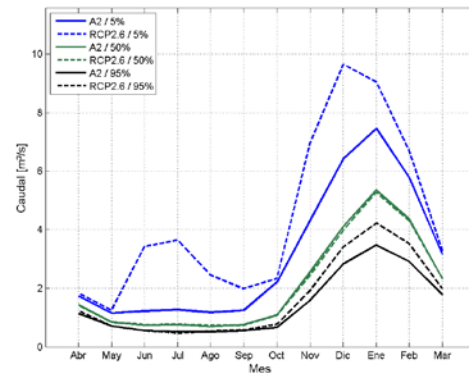
Período 2011-2040, Escenario A2



Período 2011-2040, Escenarios A2 y RCP2.6



Período 2041-2070, Escenario A2



Período 2041-2070, Escenarios A2 y RCP2.6

Figura 6.17 Curvas de Variación Estacional en condiciones futuras, para probabilidades de excedencia 5%, 50% y 95%, en Línea base, período 2011-2040 y 2041-2070, para Escenario A2 y distintos GCM (izquierda) y escenarios A2 y RCP 2.6 con modelo GCM2 y GCM 2-1 (derecha), en punto ID7.

En el punto ID7 no se observan diferencias significativas en las curvas de variación estacional obtenidas a base de las forzantes meteorológicas resultantes de distintos modelos GCM en el escenario A2. Se aprecia una disminución de los valores futuros especialmente en el mes de máximo del período de deshielo de la ventana 2, en la que también se observa un leve aumento de los caudales invernales. Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos aumentando significativamente los caudales para el escenario RCP 2.6 en el futuro más lejano analizado; también en los años secos este escenario se aprecia como más favorable, sin embargo en años normales no se aprecian diferencias significativas. En el futuro cercano no se observan diferencias en las curvas de variación estacional en los años secos mientras que en los años normales se aprecia que los caudales para el escenario RCP 2.6 no cambian significativamente respecto de la línea base observándose que estos son superiores a los del escenario A2 en el período de deshielo; en los años húmedos los caudales invernales simulados bajo las forzantes del escenario RCP 2.6 tienden a ser superiores a aquellos simulados con las forzantes del escenario A2 mientras que en el período de deshielo la situación se invierte.

La tendencia de los caudales medios anuales, para el escenario A2, se visualiza en la figura 6.18 apreciándose que en el futuro estos tienden a disminuir siendo menor la incertidumbre en el futuro más lejano sugiriendo que esta tendencia es significativa.

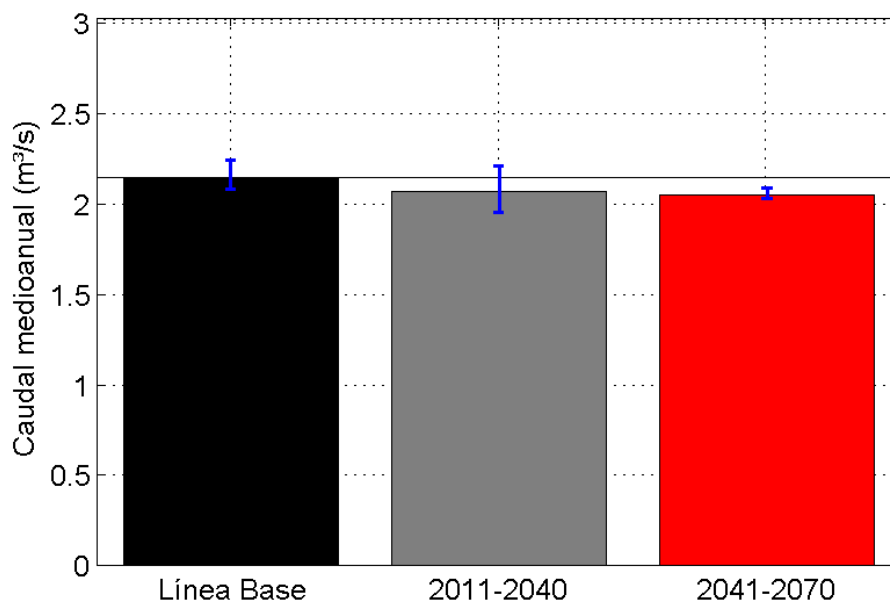


Figura 6.18 Magnitud y variabilidad (azul) del caudal medio anual para los períodos de LB (negro) y futuro (gris y rojo) en punto ID7. Escenario A2.

Tabla 6.21: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m^3/s) en el punto de interés ID7. Resultados para la situación observada, modelada con forzantes meteorológicas observadas y simulada con forzantes meteorológicas de los modelos, GCM1, GCM2, GCM3 y GCM2-1(RCP2.6). Línea base.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
OBS	5%	2,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,3	2,9	6,0	9,4	8,5	4,1
	10%	1,9	1,2	1,0	0,9	0,8	1,0	1,2	2,8	5,6	7,9	6,5	3,3
	20%	1,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,2	2,6	5,0	7,1	5,8	3,1
	50%	1,5	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	2,4	4,3	6,2	4,6	2,7
	85%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,8	2,0	3,5	4,5	3,7	2,1
	95%	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,6	2,8	3,9	3,2	2,0
SIM-OBS	5%	2,0	1,3	1,1	0,9	1,1	1,3	2,0	4,1	6,3	9,1	7,6	3,8
	10%	1,9	1,2	1,0	0,9	0,9	1,1	1,7	4,0	6,1	8,1	6,9	3,5
	20%	1,7	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	1,3	3,1	5,1	7,0	5,9	3,0
	50%	1,5	0,9	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	2,3	4,1	5,8	4,7	2,6
	85%	1,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,8	3,3	4,8	4,1	2,3
	95%	1,3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	1,6	3,1	4,3	3,6	2,1
GCM1	5%	2,0	1,2	1,0	0,9	1,1	1,2	2,2	4,5	6,6	9,1	7,5	3,7
	10%	1,8	1,2	0,9	0,8	1,0	1,0	2,0	4,2	6,4	7,8	6,1	3,1
	20%	1,7	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	1,4	3,5	5,6	7,4	6,1	3,0
	50%	1,6	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	2,4	4,3	6,2	5,0	2,6
	85%	1,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,8	3,4	5,0	4,3	2,4
	95%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,6	3,1	4,5	3,8	2,3
GCM2	5%	2,0	1,2	1,2	1,1	1,1	1,3	2,8	4,4	6,9	9,1	7,5	3,8
	10%	1,8	1,1	0,9	0,8	1,0	1,1	1,9	4,0	6,5	8,1	6,4	3,1
	20%	1,7	1,0	0,8	0,7	0,7	0,8	1,6	3,6	5,5	7,1	5,7	3,0
	50%	1,5	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,9	2,3	4,0	5,7	4,8	2,7
	85%	1,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,9	3,5	4,9	4,2	2,3
	95%	1,3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7	3,4	4,6	3,8	2,2
GCM3	5%	2,0	1,3	1,3	1,1	1,1	1,4	2,1	4,8	6,9	9,2	7,5	3,8
	10%	1,8	1,2	1,1	1,0	1,0	1,3	2,0	4,2	6,4	8,1	6,5	3,5
	20%	1,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	1,4	3,1	5,0	7,3	5,9	3,1
	50%	1,5	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	2,1	3,9	5,5	4,7	2,6
	85%	1,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7	3,2	4,8	4,2	2,3
	95%	1,2	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,4	2,7	3,9	3,4	2,1

Continuación Tabla 6.21

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM2-1	5%	2,0	1,2	1,0	1,1	1,1	1,3	2,6	5,9	6,9	10,1	7,8	3,9
	10%	1,9	1,1	0,9	0,9	0,9	1,1	2,1	4,6	6,6	8,9	7,3	3,6
	20%	1,8	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	1,6	3,4	5,5	7,3	6,2	3,2
	50%	1,6	0,9	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	2,3	4,0	5,7	4,8	2,7
	85%	1,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,9	3,5	4,9	4,2	2,3
	95%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,6	3,2	4,8	4,0	2,3

Tabla 6.22: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m³/s) en el punto de interés ID7. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2011-2040.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	2,0	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,8	4,2	7,4	9,2	7,2	3,5
	10%	1,8	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,7	3,7	6,6	7,9	6,0	3,0
	20%	1,7	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,6	3,4	5,2	7,0	5,5	2,9
	50%	1,5	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	2,2	3,9	5,3	4,4	2,4
	85%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	1,7	3,1	4,3	3,6	2,1
	95%	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	1,5	2,9	3,8	3,2	1,9
GCM2	5%	1,8	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1	1,4	3,1	6,1	8,2	6,3	3,1
	10%	1,6	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,3	2,8	5,1	6,8	5,4	2,7
	20%	1,6	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1,2	2,7	4,9	6,4	5,1	2,6
	50%	1,4	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	2,3	3,9	5,0	4,1	2,3
	85%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7	3,2	4,2	3,5	2,0
	95%	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	1,6	3,0	4,0	3,3	2,0
GCM3	5%	1,8	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,7	3,8	6,1	7,6	6,2	3,3
	10%	1,7	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,6	3,4	5,2	6,9	5,9	3,0
	20%	1,6	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	1,3	3,2	5,0	6,6	5,4	2,8
	50%	1,6	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	2,4	4,2	5,9	4,9	2,7
	85%	1,4	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	1,7	3,4	4,7	3,9	2,2
	95%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	1,6	3,0	4,3	3,7	2,2
GCM2-1	5%	1,8	1,2	1,1	1,0	1,1	1,3	2,2	3,8	5,7	7,3	6,0	3,2
	10%	1,7	1,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,9	3,6	5,5	7,0	5,8	3,0
	20%	1,6	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3	3,1	5,1	6,8	5,4	2,8
	50%	1,5	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	2,6	4,3	5,8	4,8	2,6
	85%	1,3	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	1,9	3,5	4,6	3,8	2,2
	95%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,6	3,1	4,2	3,6	2,0

Tabla 6.23: Curvas de Variación Estacional (CVE) de caudales medios mensuales (m³/s) en el punto de interés ID7. Resultados simulados con forzantes meteorológicas dadas por los modelos GCM1, GCM2, GCM3 en escenario A2 y GCM2-1 en escenario RCP 2.6. Período 2041-2070.

Fuente	Prob Exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GCM1	5%	1,6	1,2	1,9	1,9	1,4	1,2	2,0	3,9	5,9	7,1	5,5	2,7
	10%	1,6	1,1	1,1	1,4	1,2	1,1	1,7	3,5	5,6	6,8	5,3	2,7
	20%	1,6	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,4	3,0	4,9	6,2	5,0	2,5
	50%	1,4	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	2,4	3,9	5,1	4,2	2,3
	85%	1,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,8	1,8	3,3	4,3	3,6	2,0
	95%	1,2	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7	3,1	3,9	3,3	1,9
GCM2	5%	1,7	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	2,2	4,3	6,4	7,5	5,8	3,2
	10%	1,6	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,7	3,2	5,4	6,2	5,1	2,9
	20%	1,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3	3,0	4,8	6,0	4,9	2,5
	50%	1,4	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	2,6	4,1	5,3	4,4	2,3
	85%	1,3	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	2,0	3,3	4,2	3,6	2,1
	95%	1,1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,6	2,8	3,5	2,9	1,8
GCM3	5%	1,8	1,1	1,6	1,5	1,2	1,3	2,4	4,2	6,2	7,6	6,1	3,2
	10%	1,7	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,7	3,5	5,7	7,1	5,7	3,0
	20%	1,6	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,3	2,9	4,7	6,2	4,9	2,8
	50%	1,5	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	2,3	3,9	5,2	4,3	2,4
	85%	1,3	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,8	3,3	4,5	3,8	2,2
	95%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,6	3,1	4,2	3,5	2,1
GCM2-1	5%	1,8	1,2	3,4	3,6	2,4	2,0	2,3	6,9	9,6	9,0	6,7	3,3
	10%	1,8	1,1	1,0	1,4	1,1	1,5	1,7	3,5	6,1	7,5	5,9	3,2
	20%	1,6	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,4	3,1	4,7	6,1	5,0	2,8
	50%	1,4	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	1,1	2,4	4,0	5,3	4,3	2,3
	85%	1,3	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	2,1	3,5	4,5	3,7	2,1
	95%	1,2	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	1,9	3,4	4,2	3,5	2,0

7. Análisis de Resultados y Conclusiones

- Modelación Hidrológica:

El proceso de diseño conceptual de los modelos ha demostrado ser eficaz para los propósitos de este estudio, dado que ha permitido aprovechar la información disponible de los rendimientos hídricos reportados en los antecedentes del estudio. Los diferentes supuestos relativos a la forma del glaciar ha conseguido adoptar un supuesto adecuado respecto de la tasa de retroceso glaciar fijada en este estudio en el 1% anual. En la medida que se disponga de más información del comportamiento de los glaciares en la altura esta tasa puede ser subdividida y representar una modelación más realista, sin embargo, dado el esquema conceptual fijado aquí, se puede concluir que el aporte glaciar está correctamente representado.

Respecto del proceso de calibración de los modelos cabe destacar que éste fue satisfactoriamente cumplido. Los indicadores de eficiencia reportan un buen ajuste de los caudales medios mensuales y anuales en general. El proceso es sólido para analizar señales que reportan cambios en la disponibilidad del recurso hídrico, así como cambios significativos de la estacionalidad y cambios de régimen hidrológico. Los modelos calibrados son especialmente sensibles en los caudales asociados a probabilidades de excedencia bajas (<20%), existiendo una dificultad en el modelo para representar caudales extremos, por lo que los comentarios asociados al caudal peak se asocian a los cambios en términos de desfase u ocurrencia y las magnitudes se abordan desde un punto de vista porcentual. Cabe destacar que esto no cambia la señal o tendencia de los caudales, puesto que los porcentajes de aumento o descenso siempre han sido comparados con los caudales simulados y no los observados, de manera de no sobre o sub estimar la tendencia.

- Resultados Futuros:

Los resultados de las simulaciones en los sistemas son robustos. Respecto de la línea base, ésta es bien representada al menos por 2 modelos en cada subsistema, lo que también corrobora la elección de los modelos GCM para este estudio. En general, en el escenario A2, los cambios futuros en la estacionalidad son más apreciables en los GCM 1 y 3; el GCM 2, si bien también da cuenta de un aumento del aporte en caudal del período pluvial respecto del período de deshielo (que presenta descensos en todos los sistemas) suele no identificar peaks de caudales pluviales y reparte este aumento en todo el período, especialmente en los años húmedos.

Los porcentajes de descenso son robustos aunque no son de gran magnitud y en general se encuentran entre un 3 a 8% a nivel anual. Otro cambio significativo ocurre en los rendimientos de las cuencas, esto es, la razón entre caudal, precipitación y área aportante. Se ha encontrado que estos rendimientos disminuyen en la ventana del 2010-2040 y luego presentan un leve aumento (con una señal a mantenerse) en la ventana del 2040-2070 en el caso del escenario A2. Esto quiere decir que los subsistemas pasan por un período de adaptación. En la primera ventana, y debido a la falta de escorrentía y disminución de la precipitación, la razón Q/P_p disminuye. En la segunda ventana esta razón tiende a recuperarse pues el sistema empieza a recurrir a los deshielos para mantenerse en el mismo rendimiento. Este comportamiento es una especie de efecto amortiguador otorgado por sus masas nivales (y glaciares en el caso del Sistema Maipo).

Respecto de los resultados bajo el escenario RCP 2.6, el comportamiento del modelo MK3.6 en la línea base es a sobre estimar los caudales en este período respecto de la CVE simulada en el proceso de calibración, lo cual se atribuye a las mayores temperaturas que entrega este modelo en dicho período. En general se pueden observar resultados de una disminución de caudal para la primera ventana de análisis pero el sistema tiende a recuperarse, principalmente debido a los aumentos de precipitación. Esto se produce porque en la primera ventana, la disminución de precipitación es más fuerte que el aumento de temperatura, entonces el sistema reduce sus caudales. En la segunda ventana, si bien hay aumentos de precipitación, el aumento de la temperatura es también significativo, generándose deshielos importantes que aumentan el caudal respecto de la ventana anterior. Esto se aprecia claramente por el cambio de los rendimientos específicos de los sistemas, los cuales aumentan en la ventana del 2070 respecto de la del 2040 para el sistema Maipo, en el caso de Colorado el rendimiento tiende a estabilizarse. Cabe destacar que este escenario no solo presenta aumentos de temperatura, sino que un aumento en la magnitud de la precipitación mensual, principalmente en el período 2041-2070, en donde los valores de caudal asociados a una probabilidad de excedencia del 5% son mucho mayores y confirman un paulatino cambio de régimen hidrológico de características nivo-pluviales, cambio que también se observa en A2, temporalmente más rápido, pero con una magnitud mucho menor.

En los puntos de interés el comportamiento de los modelos depende principalmente del sistema al que estos pertenecen y del aporte glaciar que estos tengan. Para el escenario A2 en los puntos ID1 e ID2 pertenecientes al sistema Colorado se obtiene una tendencia robusta a la disminución de los caudales medios anuales, siendo ésta más significativa en ID2, observándose sólo en los años húmedos una mayor incertidumbre en los caudales medios mensuales estimados por los modelos considerados, especialmente en la época de mayores caudales. En ID1 para los años húmedos, en la ventana 2 aumenta el caudal entre

mayo y junio, disminuyendo el resto del año. En años normales y secos los caudales disminuyen levemente. En particular para ID2, en ambas ventanas, los caudales disminuyen durante todos los meses.

Igualmente al adoptar el escenario más favorable RCP 2.6 los resultados son similares a los obtenidos con las forzantes del escenario A2 usando el mismo modelo pero se observan diferencias significativas en los años más húmedos, especialmente en el futuro lejano donde empieza a manifestarse claramente un comportamiento más pluvial y con valores cercanos a 100% mayores a los del escenario A2 en ID1. En ID2, se acentúa la parte pluvial del régimen pluvio-nival de la línea base en el escenario A2 y en los años húmedos de la ventana más lejana del futuro la magnitud de los caudales del período pluvial casi se triplica en el escenario RCP2.6 en cambio en los años más secos se aprecia una mayor magnitud de los caudales en el período de deshielo respecto a lo que indica el escenario A2.

En el punto ID3, del subsistema Yeso, los caudales medios anuales tienden a mantenerse en el nivel de línea base para el escenario A2. En años normales y húmedos, el caudal tiende a disminuir entre octubre y marzo (período de deshielo), siendo mayor que en línea base la incertidumbre de los caudales proyectados. En años secos, el efecto es poco significativo. En el futuro más lejano, la incertidumbre de las proyecciones son bajas, en particular en años húmedos se aprecia un aumento del caudal en el invierno y primavera, con una disminución en verano. En los años normales y secos aumentan los caudales de primavera, los caudales máximos tienden a mantenerse similares a los del período anterior, sin embargo los caudales de verano disminuyen.

Para el escenario RCP2.6, en la ventana más lejana en los años húmedos se manifiesta un comportamiento más pluvial aunque nunca se pierde el régimen principal de carácter nival, con magnitudes de caudal que duplican los valores del escenario A2. En los años secos aumentan los caudales en el período de deshielo (octubre a marzo), siendo superiores a los que se aprecian en escenario A2. En el futuro más cercano, en los años normales se aprecian mayores caudales para el escenario RCP2.6 en el período de deshielo, mientras que en los años húmedos los caudales que se proyectan con el RCP2.6 superan en primavera y son inferiores en el verano respecto de los del escenario A2.

En los puntos ID4 a ID7 del sistema Volcán, los caudales medios anuales tienden a disminuir hasta alrededor del 4% respecto del período de línea base. Para el escenario A2, en los puntos ID4 a ID7 se aprecia un aumento de la incertidumbre entre diciembre y febrero en la primera ventana en años normales y húmedos, mientras disminuye para los años secos. En ventana 2 solo hay incertidumbre en las proyecciones invernales de los

años húmedos y en las proyecciones de los meses diciembre a febrero en los años secos. En los años húmedos los caudales disminuyen durante todo el año en la ventana 1, mientras que en la ventana 2, los caudales aumentan en el período pluvial y disminuyen significativamente en el período de deshielo. En los años normales y secos, también el caudal del período de deshielo disminuye respecto de línea base para la ventana 2, mientras que en la ventana 1 para años secos se mantienen los caudales y para años normales se observa que disminuyen entre enero y febrero.

Al comparar distintos escenarios futuros, A2 y RCP 2.6, aparecen diferencias importantes en los años húmedos aumentando significativamente los caudales medios mensuales para el escenario RCP 2.6 en el futuro más lejano analizado; también en los años secos este escenario se aprecia como más favorable, sin embargo en años normales no se aprecian diferencias significativas. En el futuro cercano no se observan diferencias en las curvas de variación estacional en los años secos mientras que en los años normales se aprecia que los caudales para el escenario RCP 2.6 no cambian significativamente respecto de la línea base observándose que estos son superiores a los del escenario A2 en el período de deshielo; en los años húmedos los caudales de primavera simulados bajo las forzantes del escenario RCP 2.6 tienden a ser superiores a aquellos simulados con las forzantes del escenario A2 mientras que en el período de verano la situación se invierte.

Bibliografía

- **AGRIMED, 2008** “Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático” elaborado para CONAMA.
- **CECs, 2011.** “Variaciones recientes de Glaciares en Chile, según principales Zonas Glaciológicas”. Elaborado por el Centro de Estudios Científicos (CECs) para la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), Noviembre, 2011.
- **CEPAL, 2012.** La economía del cambio climático en Chile. LC/W. 472, impreso en Naciones Unidas, Santiago, Chile.
- **CONIC BF, 2008** “Proyecto hidroeléctrico Alto Maipo Balance hídrico de la hoya del río Maipo” elaborado para Gener.
- **CONIC BF 2012.** Caudales medios diarios disponibles en ríos Yeso (Descarga Embalse) y Colorado (en descarga central Alfalfal existente). Período análisis: 1961-2011.
- **DGA, 1987** “Balance Hídrico de Chile”, Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- **DIC, 2011** “Selección y aplicación de un modelo hidrológico para estimar los impactos del cambio climático en la generación de energía del sistema interconectado central” elaborado por el Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, para la Subsecretaría de Energía.
- **GCAM, 2007. Cade Idepe, Poch Ingeniería, Norconsult.** Estudios básicos definitivos. Hidrología. Elaborado para Gener.
- **GCF Ingenieros 2011.** Modelo Hidrológico de Escorrentía Superficial Diaria (Río Volcán y tributarios). Período análisis: 1999-2011.
- **GCF Ingenieros 2012.** Modelo Hidrológico de Escorrentía Superficial Diaria (Río Volcán y tributarios) – Aplicación para Extensión de Estadística de Caudales. Período análisis: 1961-2011.
- **Purkey, D., B. Joyce, S. Vicuna, M. Hanemann, L. Dale, D. Yates and J.A. Dracup. 2007.** “Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley”. *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-007-9375-8.
- **UNTEC, 2012.** “Estudio de Antecedentes sobre Cambio Climático y su Impacto en el Proyecto Alto Maipo”. +MG Medioambiente y Gestión S.A.
- **US-SEI, Abril 2010.** Water evaluation and planning. Tutorial.
- **Vargas, X., 2009.** Análisis de vulnerabilidad del sector hidroeléctrico: Disponibilidad futura de los recursos hídricos en Chile frente a escenarios de cambio climático. CEPAL.
- **Vicuña, S., Garreaud, R. y McPhee, J. (2011).** Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *CLIMATIC CHANGE*, 0165-0009, doi:10.1007/s10584-010-9888-4.

Anexos en digital

Anexo I-A Datos Observados y Simulados de Temperatura.

Anexo I-B Datos Observados y Simulados de Precipitación.

Anexo II-A Datos Observados y Simulados de Caudales con y sin variación Glaciar para el Sistema Maipo.

Anexo II-B Datos Observados y Simulados de Caudales con y sin variación Glaciar para el Sistema Colorado.

AnexoIII Ajuste entre las curvas de duración de los modelos GCM con los datos observados de la estación San Gabriel (1982-1999).

Anexo IV Datos de Caudales sintéticos y simulados para los Puntos de Interés.