



Gobierno
de Chile

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE CAUDALES RÍO LAS CHINAS — RÍO SERRANO. REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA

REALIZADO POR:

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CAMBIO GLOBAL UC

S.I.T. N° 386

Santiago, Junio 2016

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Carlos Estévez Valencia

Jefe División de Estudios y Planificación
Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Baudilio Madrid Sánchez

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CAMBIO GLOBAL UC

Jefe de Proyecto
Ingeniero Agrónomo Francisco Meza Dabacens

Profesionales

Ingeniero Civil Hidráulico, David Poblete L.

Ingeniero Civil Ambiental, Sebastián Vicuña D.

Ingeniero Agrónomo, Eduardo Bustos S.

Ingeniera Agrónoma, Stéphanie Orellana B.

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Damián Tosoni

Ingeniera Civil Hidráulica, María Luisa Cruzat

ÍNDICE

1	Introducción.....	15
	1.1 Antecedentes del Estudio	15
	1.2 Objetivos del Estudio	16
	1.3 Introducción al documento.....	17
2	Descripción de la Zona de Estudio	20
	2.1 Generalidades.....	20
	2.2 Climatología.....	20
	2.3 Características de la cuenca hidrográfica	21
	2.4 Definición del área de estudio	24
3	Recopilación de Información Base.....	27
	3.1 Levantamiento de información bibliográfica.....	27
	3.2 Recopilación de información cartográfica	44
	3.3 Recopilación de información de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales	45
	3.3.1 Información actual sobre derechos de aprovechamiento.....	45
	3.3.2 Escenarios futuros para derechos de aprovechamiento.....	52
	3.4 Recopilación información hidrometeorológica disponible en la zona estudio	55
	3.4.1 Estaciones Meteorológicas.....	55
	3.4.2 Estaciones Fluviométricas	59
	3.4.3 Estaciones Nivel de Lagos	61
4	Caracterización Hidrometeorológica del Área de Estudio.....	63
	4.1 Análisis de lagunas de datos	63
	4.1.1 Estaciones Meteorológicas.....	63
	4.1.2 Estaciones Fluviométricas	67
	4.1.3 Análisis a nivel espacial	72
	4.2 Relleno de datos	73
	4.2.1 Revisión de estaciones para relleno de datos.....	73
	4.2.2 Metodología de relleno de datos.....	74
	4.2.3 Resultados	78
5	Instalación de estación Fluviométrica.....	86
	5.1 Descripción y componentes de la estación fluviométrica	87
	5.2 Instalación de estación fluviométrica en río Paine	94

5.3	Funcionamiento de estación fluviométrica	97
5.4	Comentarios finales y proceso de descarga de datos.....	100
6	Análisis de imágenes satelitales y Batimetría de los lagos del toro, porteño y maravilla.....	102
6.1	Introducción	102
6.2	Procesamiento de imágenes TH-1	102
6.2.1	Introducción.....	102
6.2.2	Georreferenciación	103
6.2.3	Obtención del DEM	105
6.2.4	Filtrado y depuración de errores.....	106
6.3	Levantamiento Batimétrico	108
6.3.1	Introducción.....	108
6.3.2	Modo de Levantamiento.....	109
6.3.3	Resultados de los Sondeos Batimétricos	112
6.3.4	Cota del espejo de agua	116
6.4	Curvas de volumen vs elevación	117
6.5	Cota de desagüe del río Serrano	120
7	Modelo para el Balance Hídrico.....	122
7.1	Metodología de generación de series sintéticas de caudales.....	124
7.2	Principales componentes del Balance Hídrico del Lago del Toro..	125
7.2.1	Caudal aportante por la cuenca del río Tres Pasos	125
7.2.2	Caudal aportante por la cuenca del río de Las Chinas.....	127
7.2.3	Caudal aportante por la cuenca del río Paine	129
7.2.4	Caudal aportante por la cuenca del río Rincón	131
7.2.5	Caudal aportante por los afluentes al lago del Toro.....	133
7.2.6	Caudal de salida en el río Serrano	134
7.2.7	Almacenamiento en lagos	135
7.2.8	Estimación del caudal mediante el método de Turc.....	138
7.3	Escenarios	139
7.4	Calibración.....	140
7.4.1	Series sintéticas	140
7.4.2	Curva de volumen vs elevación.....	141
7.5	Desarrollo del modelo WEAP	142
7.6	Datos de entrada	145
7.6.1	Parámetros hidrológicos	145
7.6.2	Requerimientos hídricos	158
7.6.3	Prioridades en el modelo WEAP.....	161

7.6.4	Proyecciones futuras	162
7.7	Resultados	167
7.7.1	Calibración	167
7.7.2	Balance hídrico lago del Toro	178
7.7.3	Balance hídrico río de Las Chinas	189
7.7.4	Capacidad del sistema para suplir la demanda	194
7.7.5	Proyecciones futuras	199
8	Conclusiones	231
8.1	Información base y relleno de datos	231
8.2	Derechos de aprovechamiento	233
8.3	Balance Hídrico	235
9	Referencias	239
10	Anexos	242
10.1	Anexos sobre trabajos con imágenes satelitales y de batimetría 242	
10.1.1	Referencia altimétrica	242
10.1.2	Medición de puntos de control terrestre (GCPs)	245
10.1.3	Puntos de Apoyo Geodésico	251
10.1.4	Características Técnicas Del Equipamiento Batimétrico	256
10.1.5	Monografías de Vértices Geodésicos del Ministerio de Bienes Nacionales	259
10.1.6	Monografías de GCPs	263
10.1.7	Monografías de PRs	276
10.2	Series de caudales con datos rellenos	280
10.3	Series de precipitación con datos rellenos	291
10.4	Series de temperatura con datos rellenos	306
10.5	Figuras de Interés	313

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Caracterización estadística de los caudales anuales para las estaciones fluviométricas consideradas (en m ³ /s).....	28
Tabla 3.2. Caudales ecológicos recomendados (m ³ /s).	29
Tabla 3.3. Caudales de reserva tramo de desagüe Lago Toro y desembocadura (m ³ /s).	30
Tabla 3.4. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Serrano consideradas.	32
Tabla 3.5. Agrupamiento según régimen hidrológico de estaciones fluviométricas.	32
Tabla 3.6. Grupos de parámetros de calidad de agua considerados en el análisis de CADE-IDEPE.	34
Tabla 3.7. Áreas de vigilancia definidas en la norma.	35
Tabla 3.8. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Grey antes de junta río Serrano en junta río Serrano.	37
Tabla 3.9. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Paine en Parque Nacional.	38
Tabla 3.10. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Paine en Parque Nacional 2.	39
Tabla 3.11. Caudales máximos instantáneos correlacionados (m ³ /s).	40
Tabla 3.12. Caudales máximos instantáneos correlacionados (m ³ /s).	42
Tabla 3.13. Caudales de diseño (m ³ /s).	44
Tabla 3.14. Estado de solicitudes de derecho de agua en la provincia de Última Esperanza.	45
Tabla 3.15. Caudal solicitado según estado y tipo de la solicitud.	46
Tabla 3.16. Solicitudes en Parque Nacional Torres del Paine.....	47
Tabla 3.17. Porcentaje de derechos con coordenadas geográficas para las subcuencas del río Serrano.	48
Tabla 3.18. Derechos de agua concedidos promedio anual según tipo de derecho y subcuenca del río Serrano.	50
Tabla 3.19. Derechos de agua concedidos según uso y subcuenca del río Serrano.	51
Tabla 3.20. Estaciones con mediciones de precipitación en el área de estudio. ..	56
Tabla 3.21. Estaciones con medición de temperatura en área de estudio.....	58
Tabla 3.22. Estaciones con medición de caudal en área de estudio.....	60
Tabla 3.23. Estaciones con medición de altura de agua en lagos.....	61
Tabla 4.1. Registros de precipitación (mm) estación Torres del Paine (agregado mensual).....	64
Tabla 4.2. Registros de temperatura (°C) media en estación Torres del Paine (agregado mensual).....	65

Tabla 4.3. Caudales medios mensuales (m^3/s) medidos en estación río Baguales en Cerro Guido.	68
Tabla 4.4. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de precipitación en área de estudio.	70
Tabla 4.5. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de temperatura en área de estudio.	70
Tabla 4.6. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de caudales en área de estudio.	71
Tabla 4.7. Listado complementado con estaciones encontradas fuera del área de estudio.	73
Tabla 4.8. Estaciones a considerar en el estudio.	76
Tabla 4.9. Estaciones utilizadas en la matriz de correlación para el proceso de relleno.	76
Tabla 4.10. Número de datos rellenos según correlación	79
Tabla 4.11. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS ANTES DESAGÜE DEL TORO " con meses rellenos.	81
Tabla 5.1. Características principales del OTT DuoSens.	91
Tabla 5.2. características técnicas del radar OTT RLS.	93
Tabla 6.1. Reporte de errores residuales para cada CGP utilizado.	104
Tabla 6.2. Resultados de los sondeos para los tres lagos. A) Lago del Toro, B) Lago Porteño y C) Lago Maravilla.	112
Tabla 6.3. Altura del espejo de agua para los lagos estudiados.	117
Tabla 6.4. Datos para la construcción de curvas volumen vs elevación de lagos (Hm^3).	118
Tabla 6.5. Rango de los modelos batimétricos obtenidos.	121
Tabla 7.1. Indicadores estadísticos.	140
Tabla 7.2. Resultados de la metodología de Turc.	149
Tabla 7.3. Parámetros hidrológicos en las cuencas del modelo.	150
Tabla 7.4. Factor de Transposición.	151
Tabla 7.5. Radiación solar neta, estación Posesión	153
Tabla 7.6. Elevación de descarga de los lagos.	155
Tabla 7.7. Caudales de derechos superficiales consuntivo permanente (m^3/s).	159
Tabla 7.8. Caudales de derechos superficiales consuntivo eventual (m^3/s).	159
Tabla 7.9. Caudales de derechos superficiales no consuntivo permanente (m^3/s).	160
Tabla 7.10. Caudales de derechos superficiales no consuntivo eventual (m^3/s).	160
Tabla 7.11. Caudal ecológico (m^3/s).	161
Tabla 7.12. Prioridad de los componentes del sistema.	162

Tabla 7.13. Proyecciones futuras de variables meteorológicas.	165
Tabla 7.14. Tasa de proyección futura en la demanda de recursos hídricos.	166
Tabla 7.15. Resultados de calibración en el río Tres Pasos.	168
Tabla 7.16. Datos para la construcción de curva de volumen vs elevación modificada del lago del Toro (Hm ³).	173
Tabla 7.17. Resultados de calibración en el río Serrano.	174
Tabla 7.18. Datos para la construcción de la curva volumen vs elevación modificada del lago Porteño (Hm ³).	176
Tabla 7.19. Proporción de caudal aportado por cada cuenca de entrada al lago a nivel mensual.	183
Tabla 7.20. Proporción de caudal aportado por cada cuenca de entrada al lago a nivel mensual.	185
Tabla 7.21. Caudal anual en las cuencas de entrada y salida del lago del Toro (m ³ /s), con y sin considerar derechos de agua.	186
Tabla 7.22. Porcentaje de caudal aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel mensual.	192
Tabla 7.23. Porcentaje de caudal aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel mensual.	193
Tabla 7.24. Insatisfacción de la demanda por cuenca.	199
Tabla 7.25. Porcentaje de entrada aportado por cada cuenca al Lago del Toro a nivel anual.	212
Tabla 7.26. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel anual (m ³ /s)	214
Tabla 7.27. Aumento de insatisfacción de demanda en escenario futuro.	230
Tabla 10.1. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS y elevaciones ortométricas según EGM08.	244
Tabla 10.2. Tiempos de observación para receptores GNSS doble frecuencia. .	245
Tabla 10.3. Coordenadas vértices MBN. Sistema de Referencia SIRGAS.	247
Tabla 10.4. Solución de vectores observados.	248
Tabla 10.5. Coordenadas geodésicas ajustadas. Sistema de Referencia SIRGAS.	249
Tabla 10.6. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS.	250
Tabla 10.7. Tiempos de observación para receptores GNSS doble frecuencia. .	253
Tabla 10.8. Coordenadas vértices MBN. Sistema de Referencia SIRGAS.	253
Tabla 10.9. Solución de vectores observados.	254
Tabla 10.10. Coordenadas geodésicas ajustadas. Sistema de Referencia SIRGAS.	254
Tabla 10.11. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS.	255

Tabla 10.12. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS y elevaciones ortométricas según EGM08.....	256
Tabla 10.13: Características del Z-Boat 1800 HS.	257
Tabla 10.14. Serie de tiempo de caudales para la estación " RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.	281
Tabla 10.15. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N9" con meses rellenos.	282
Tabla 10.16. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO" con meses rellenos.....	283
Tabla 10.17. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO" con meses rellenos.	284
Tabla 10.18. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO" con meses rellenos.	285
Tabla 10.19. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.	286
Tabla 10.20. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2" con meses rellenos.	287
Tabla 10.21. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO RINCON" con meses rellenos.....	288
Tabla 10.22. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO" con meses rellenos.	289
Tabla 10.23. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.	290
Tabla 10.24. Serie de tiempo de precipitación para la estación "CERRO CASTILLO" con meses rellenos.	292
Tabla 10.25. Serie de tiempo de precipitación para la estación " CERRO GUIDO" con meses rellenos.	293
Tabla 10.26; Serie de tiempo de precipitación para la estación " GLACIAR TINDALL" con meses rellenos.	294
Tabla 10.27. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO DICKSON" con meses rellenos.	295
Tabla 10.28. Serie de tiempo de precipitación para la estación "TORRES DEL PAINE" con meses rellenos.	296
Tabla 10.29. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO GREY" con meses rellenos.	297
Tabla 10.30. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO PAINE" con meses rellenos.	298
Tabla 10.31. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO PEHOE" con meses rellenos.	299
Tabla 10.32. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO SARMIENTO" con meses rellenos.	300

Tabla 10.33. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGUNA AZUL" con meses rellenos.	301
Tabla 10.34. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.	302
Tabla 10.35. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2" con meses rellenos.	303
Tabla 10.36. Serie de tiempo de precipitación para la estación " RIO RINCON EN_RUTA Y290" con meses rellenos.	304
Tabla 10.37. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA" con meses rellenos.	305
Tabla 10.38. Serie de tiempo de temperatura para la estación "CERRO CASTILLO" con meses rellenos.	307
Tabla 10.39. Serie de tiempo de temperatura para la estación "CERRO GUIDO" con meses rellenos.	308
Tabla 10.40. Serie de tiempo de temperatura para la estación "LAGO DICKSON" con meses rellenos.	309
Tabla 10.41. Serie de tiempo de temperatura para la estación "LAGUNA AZUL" con meses rellenos.	310
Tabla 10.42. Serie de tiempo de temperatura para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.	311
Tabla 10.43. Serie de tiempo de temperatura para la estación "TORRES DEL PAINE" con meses rellenos.	312

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Isoyetas e Isotermas en zona de estudio.	21
Figura 2.2. Principales ríos y lagos en zona de estudio.	23
Figura 2.3. Procesamiento del modelo digital de elevación para obtener elementos hidrológicos mediante herramienta ArchHydro.	25
Figura 2.4. Subcuencas definidas a partir del modelo digital de elevación (DEM).	26
Figura 3.1. Clasificación de tipos de usos de agua.	29
Figura 3.2. Caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia y caudales propuestos reservar en el tramo Serrano en desagüe Lago Toro y Desembocadura Seno Última Esperanza.	30
Figura 3.3. Gráfico de los caudales máximos instantáneos acumulados.	41
Figura 3.4. Gráfico de los caudales máximos instantáneos acumulados.	43
Figura 3.5. Estado de solicitudes de derechos de agua en la zona de estudio.	49
Figura 3.6. Estaciones con mediciones de precipitación en zona de estudio.	57
Figura 3.7. Estaciones con mediciones de temperatura en zona de estudio.	58

Figura 3.8. Estaciones con mediciones de caudal en zona de estudio.	61
Figura 3.9. Estaciones con medición de nivel de altura de agua en lagos.	62
Figura 4.1. Análisis de estaciones con años completos en la zona de estudio. ...	72
Figura 4.2. Serie de datos rellenos (azul) v/s serie de datos medidos (rojo).	80
Figura 4.3. Serie de datos rellenos con método 1 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una sobrestimación de los datos más bajos.	82
Figura 4.4. Serie de datos rellenos con método 1 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una subestimación en primer tramo y serie muy ruidosa.	83
Figura 4.5. Serie de datos rellenos con método 2 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una mejora en la estimación de los datos más bajos.	84
Figura 4.6. Serie de datos rellenos con método 2 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una mejora en la estimación en primer tramo, aunque aún persiste algo de ruido en la serie.	85
Figura 5.1. Imagen satelital, Puente Weber en Torres del Paine.	86
Figura 5.2. Panel solar marca Stärkee.	88
Figura 5.3. Batería de gel, similar a la que está colocada en la estación fluviométrica, con capacidad de 12 V y 7 A.	89
Figura 5.4. Controlador de carga solar, modelo HBSC 10I.	89
Figura 5.5. Datalogger OTT DuoSens.	90
Figura 5.6. Izquierda: radar OTT RLS para medir distancia a la superficie del río. Derecha: Esquema de instalación y funcionamiento del OTT RLS.	92
Figura 5.7. Cable Irda-LinK de interfaz comunicacional.	94
Figura 5.8. Izquierda: foto del lugar de instalación. Derecha: Puente Weber, sobre río Paine. El círculo amarillo / violeta indica la zona de instalación de la estación fluviométrica.	95
Figura 5.9. Izquierda: Caja Nema, estructura que otorga sostén y protección a los instrumentos. Derecha: foto que muestra la posición a la que fue instalada la caja Nema sobre la estructura metálica.	96
Figura 5.10. Radar RLS, anclado a la estructura metálica del puente.	97
Figura 5.11. Principio de funcionamiento de estación fluviométrica instalada en río Paine, Parque Nacional Torres del Paine.	98
Figura 5.12. Captura de pantalla, comandos del programa instalado en el <i>datalogger</i> DuoSens, de la estación fluviométrica en río Paine, Puente Weber, Parque Nacional Torres del Paine.	99
Figura 5.13. Opciones desplegadas en el menú del programa "OTT Data Logger Operating Program".	100
Figura 5.14. Datos estimados con el radar OTT RLS durante el periodo de prueba (12-01-16 al 13-01-16). La línea azul representa la distancia entre el sensor y la superficie del río Paine.	101

Figura 6.1. Representación de la zona adquirida a través de imágenes satelitales.	103
Figura 6.2. Modelos de Elevación Digital obtenido, aún sin procesar (en metros sobre el nivel del mar).....	106
Figura 6.3. Modelo de Elevaciones preliminar.	107
Figura 6.4. Modelo de Elevaciones final.	108
Figura 6.5. Imagen del área de interés del proyecto.	109
Figura 6.6. Equipos utilizados para realizar los sondeos batimétricos.	110
Figura 6.7. Preparando los equipos para el zarpe.	110
Figura 6.8. Operación del Z-Boat desde la estación de control en el bote Zodiac.	111
Figura 6.9. Operación del Z-Boat desde la estación de control en el bote Zodiac.	111
Figura 6.10. Modelo Batimétrico del Lago Maravilla.	114
Figura 6.11. Modelo Batimétrico hasta Cota 0 del Lago Porteño.	115
Figura 6.12. Modelo Batimétrico hasta Cota 20 del Lago Toro.	116
Figura 6.13. Curvas de Almacenamiento de los Lagos: a) del Toro, b) Porteño y c) Maravilla.	120
Figura 6.14. Batimetría en la zona de desagüe del Lago El Toro en el río Serrano.	121
Figura 7.1. Esquema conceptual del comportamiento hidrológico asociado a un lago. Q1, Q2, Q3: Caudales de entrada al lago. Qs: Caudal de desagüe del lago. Ex: Extracciones de agua. PP: Precipitación en el lago. Ev: Evaporación del lago.	122
Figura 7.2. Diagrama del balance hídrico de la cuenca del río Serrano hasta su desembocadura al mar.	123
Figura 7.3. Cuencas de interés en río Tres Pasos.....	127
Figura 7.4. Cuencas de interés en río de Las Chinas.	129
Figura 7.5. Cuencas de interés en río Paine.....	131
Figura 7.6. Cuencas de interés en río Rincón.	133
Figura 7.7. Cuencas de interés en afluentes al lago del Toro.	134
Figura 7.8. Esquema inicial del modelo WEAP.	143
Figura 7.9. Ingreso de datos y ecuaciones en el modelo WEAP.	144
Figura 7.10: Isoyetas y estaciones meteorológicas en la zona de estudio.	146
Figura 7.11. Regresión lineal de precipitación media anual vs altitud en las estaciones meteorológicas.....	147
Figura 7.12. Regresión lineal de temperatura media anual vs altitud en las estaciones meteorológicas. (a) Incluyendo la estación Torres del Paine. (b) Sin incluir la estación Torres del Paine.....	148

Figura 7.13. Relación caudal de deshielo vs temperatura media mensual.	152
Figura 7.14. Evaporación observada y calculada en Magallanes.	154
Figura 7.15. Curva de descarga lago del Toro.	157
Figura 7.16. Curva de descarga lago Porteño.	157
Figura 7.17. Curva de descarga lago Maravilla.	158
Figura 7.18. Impactos atribuidos a cambio climático en base a literatura disponible desde el AR4.	163
Figura 7.19. Representación conceptual de proceso de obtención de proyecciones climáticas.	164
Figura 7.20. Correlación entre series en río Tres Pasos en desagüe lago del Toro.	168
Figura 7.21. Series de caudales en río Tres Pasos en desagüe lago del Toro. ...	169
Figura 7.22. Correlación entre series de caudales en río Serrano en desagüe lago del Toro.	171
Figura 7.23. Curva volumen vs elevación modificada del lago del Toro.	172
Figura 7.24. Series de caudales en río Serrano en desagüe lago del Toro.	175
Figura 7.25. Curva volumen vs elevación modificada del lago Porteño.	176
Figura 7.26. Caudales modelados en desagüe del Lago Maravilla hacia el Lago del Toro.	177
Figura 7.27. Alturas modeladas del Lago Maravilla.	177
Figura 7.28. Caudales aportantes por la cuenca del río Tres Pasos (m ³ /s).	179
Figura 7.29. Caudales aportantes por la cuenca del río Rincón (m ³ /s).	180
Figura 7.30. Caudales aportantes por la cuenca de los afluentes adyacentes al lago del Toro (m ³ /s).	180
Figura 7.31. Caudales aportantes por la cuenca del río de Las Chinas (m ³ /s). ..	181
Figura 7.32. Caudales aportantes por la cuenca del río Paine (m ³ /s).	181
Figura 7.33. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al lago al nivel anual (%), sin considerar extracción de derechos de agua.	182
Figura 7.34. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al lago al nivel anual (%), considerando extracción de derechos de agua.	184
Figura 7.35. Elevación observada y modelada en el lago del Toro. (a) Serie mensual. (b) Serie media mensual.	187
Figura 7.36. Entradas y salida del lago del Toro.	188
Figura 7.37. Caudales en el río Vizcachas (m ³ /s).	189
Figura 7.38. Caudales en el río Baguales (m ³ /s).	189
Figura 7.39. Caudales en el río de Las Chinas en cerro Guido (m ³ /s).	190
Figura 7.40. Caudales en el río Don Guillermo antes de la junta con el río de Las Chinas (m ³ /s).	190

Figura 7.41. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas sin la extracción de derechos de agua	191
Figura 7.42. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas considerando extracción de derechos de agua	192
Figura 7.43. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos permanentes (m ³ /s).....	195
Figura 7.44. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos eventuales (m ³ /s).....	195
Figura 7.45. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos permanentes (m ³ /s).....	196
Figura 7.46. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos eventuales (m ³ /s).....	197
Figura 7.47. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según el caudal ecológico (m ³ /s).....	198
Figura 7.48. Caudales medios mensuales aportados por el deshielo del macizo Paine, para el escenario de Referencia y para el escenario de mayor y menor Cambio Climático (m ³ /s).....	201
Figura 7.49. Caudales aportados por la cuenca del río Paine, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	202
Figura 7.50. Caudales aportados por la cuenca del río de Las Chinas en cerro Guido, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	203
Figura 7.51. Caudales aportados por la cuenca del río Vizcachas, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	204
Figura 7.52. Caudales aportados por la cuenca del río Baguales, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	205
Figura 7.53. Caudales aportados por la cuenca del río Don Guillermo, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	206
Figura 7.54. Caudales aportados por la cuenca del río de Las Chinas en desagüe lago del Toro, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m ³ /s).....	207
Figura 7.55. Caudales aportados por la cuenca del río Rincón, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m ³ /s).....	208
Figura 7.56. Caudales aportados por la cuenca del río Tres Pasos, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m ³ /s).....	209
Figura 7.57. Caudales aportados por la cuenca de los afluentes al lago del Toro, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m ³ /s).....	210
Figura 7.58. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al Lago del Toro a nivel anual. (a) Escenario actual (Figura 7.33), período 2001-2015. (b) Escenario de mayor cambio en la cuenca del río Serrano (Intensivo-Optimista), período 2036-2050.	211

Figura 7.59. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel anual (m^3/s). (a) Escenario actual (Figura 7.42), período 2001-2015. (b) Escenario de mayor cambio en la subcuenca completa (Intensivo-Optimista), período 2036-2050.	213
Figura 7.60. Evaporación Neta del Lago del Toro para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático.	215
Figura 7.61. Cota del Lago del Toro para el escenario de Referencia y para un escenario futuro.	216
Figura 7.62. Caudal medio mensual en el río Serrano en desagüe lago del Toro para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuro.	217
Figura 7.63. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos, río Tres Pasos (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	218
Figura 7.64. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos, río Don Guillermo (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	219
Figura 7.65. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Tres Pasos (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	221
Figura 7.66. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, cuenca de los afluentes al lago del Toro (m^3/s). Caudales Permanentes.	222
Figura 7.67. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Paine (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	223
Figura 7.68. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río de Las Chinas intermedia (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	224
Figura 7.69. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Rincón (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.	225
Figura 7.70. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Vizcachas (m^3/s). Caudales Eventuales.	226
Figura 7.71. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Baguales (m^3/s). Caudales Eventuales.	226
Figura 7.72. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río de Las Chinas en cerro Guido (m^3/s), Caudales Eventuales. ..	227
Figura 7.73. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Tres Pasos (m^3/s).....	228
Figura 7.74. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Paine (m^3/s).....	228

Figura 7.75. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Rincón (m ³ /s)	229
Figura 7.76. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Baguales (m ³ /s)	229
Figura 7.77. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Don Guillermo (m ³ /s).....	230
Figura 10.1. Relación entre Superficie terrestre, geoide y elipsoide.	243
Figura 10.2. Comportamiento Modelo Geoidal EGM08 en la zona de estudio (unidades en metros sobre el nivel del mar).....	244
Figura 10.3. Diagrama de las mediciones geodésicas realizadas.	246
Figura 10.4. Distribución de los GCPs sobre la escena completa TH-1 (en azul) y sobre el área de interés (en rojo).	251
Figura 10.5. Configuración Base RTK en uno de los PR utilizados.	252
Figura 10.6. Distribución de los PRs.	255
Figura 10.7. Equipo Z-Boat 1800HS en embalse Brea.	256

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4.1. Modelo de regresión lineal para relleno de datos.....	75
Ecuación 7.1. Ecuación del Balance Hídrico del Lago del Toro.....	125
Ecuación 7.2. Modelo lineal para la generación de la serie sintética corregida .	141

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del Estudio

Una de las principales hoyas hidrográficas de la provincia de Última Esperanza, es la cuenca del río Serrano, cuya cuenca tiene casi una tercera parte del total regional y desagua todo el sistema hídrico del Parque Nacional Torres del Paine, recibiendo entre otros aportes el del río de Las Chinas. Por otra parte, el río Serrano está inserto al interior de un Parque Nacional, por Decreto del Ministerio de Agricultura N° 315, de 1979, el cual establece los límites del Parque Nacional Torres del Paine, en la comuna de Torres del Paine, provincia de Última Esperanza. Debido a las condiciones naturales del área, existen varias especies de fauna que se encuentran en alguna categoría de conservación, como por ejemplo el huemul, ñandú, puma, puye, peladilla y especies de flora tales como el Ciprés de las Guaitecas¹.

El Decreto 75 de 19 de Marzo de 2010, establece las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas superficiales de la Cuenca del río Serrano. El objetivo general de estas normas es proteger y mantener cuerpos o cursos de agua de calidad excepcional en la Cuenca del río Serrano que asegure sus cualidades como sitio de valor ambiental, escénico y turístico, de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso hídrico, las comunidades acuáticas y los ecosistemas, maximizando los beneficios ambientales, sociales y económicos:

"Los recursos hídricos existentes en esta cuenca como glaciares, ríos y lagos, constituyen ambientes únicos y particulares, lo que sumado a las especies de flora y fauna y las formaciones geológicas que contiene, entre las que destacan el gran Macizo Paine y las Torres del Paine, son de especial interés educativo. En términos cualitativos, el agua constituye una parte esencial de los ecosistemas acuáticos de la cuenca hidrográfica del río Serrano. Una reducción de la calidad del recurso, puede generar efectos negativos sobre dichos ecosistemas, por lo que es necesario mantener la calidad de sus aguas para la conservación de dicha diversidad, no sólo por su valor intrínseco, sino también por su servicio fundamental para la manutención de la biodiversidad y turismo local" (MMA, 2010).

¹ <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-47769.html>

Dada la importancia de esta cuenca en la mantención de la biodiversidad y el equilibrio ecológico, es que la Dirección General de Agua buscar realizar estudios técnicos necesarios para poder determinar los reales efectos e implicancias que tendría una variación del caudal que aporta la cuenca del río de Las Chinas al río Serrano al Lago del Toro y sus implicancias para la existencia del Parque Nacional Torres del Paine. Con esto se busca poder establecer en cuánto afecta una variación en el caudal (dado por mayor explotación, por diferencias de usos, cambios climáticos, etc.) del río de Las Chinas al río Serrano. Para ello, es necesario poder considerar el efecto regulador que ejercen los lagos del Toro, Porteño y Maravilla.

El Lago del Toro, con sus contornos irregulares, posee varios cabos, penínsulas y ensenadas. Las aguas del río de Las Chinas desembocan en el Lago del Toro, el cual posee una extensión de 202 km² y constituye el más notable accidente geográfico de la zona de estudio. Por su parte, los lagos Porteño y Maravilla, con menor extensión, pero no menos relevante, ejercen en conjunto con el Lago Toro, una función de regulación hidrológica de las aguas que desembocarán en el río Serrano.

Por lo tanto, la información técnica que se logre recabar de este trabajo resulta de importancia, puesto que sentará las bases y sustento técnicos para el futuro análisis hidrológico y modelos numéricos, generando así una visión a largo plazo que se convierta en una carta de navegación y sustente el desarrollo productivo y humano de la zona de estudio bajo un concepto de sostenibilidad, armonizando las actividades productivas con la protección y conservación de los ecosistemas únicos que se encuentran en el Parque.

1.2 Objetivos del Estudio

Según lo solicitado en las bases de la licitación, el objetivo principal de la presente consultoría es el de realizar los estudios necesarios para obtener las caracterizaciones técnicas topográficas y batimétricas de los Lagos del Toro, Porteño y Maravilla, considerando la cuenca del río de Las Chinas, información que servirá de base para realizar el análisis de variabilidad de caudales entre río de Las Chinas y río Serrano y del volumen almacenado en los Lagos del Toro, Porteño y Maravilla.

Para alcanzar el objetivo general del estudio, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Definición del estado del arte en cuanto a estudios y antecedentes que constituyan un aporte al objetivo del estudio (geomorfología, topografía,

pluviometría, fluviometría, estudios de inundación, usos y demanda de agua, etc.).

- Caracterización de la red hídrica del área de estudio, considerando cuencas con y sin información fluviométrica.
- Caracterización hidrológica y morfológica del sistema lacustre del Toro/Porteño/Maravilla.
- Balance hídrico histórico con volumen de control dado por el sistema lacustre del Toro / Porteño / Maravilla.
- Generación de un proyecto SIG (Sistema de Información Geográfica) con toda la información recopilada y generada en el estudio.

Pero además de lo solicitado expresamente en las bases de la licitación, se propuso realizar un balance hídrico completo de la cuenca del río Serrano, desde las altas cumbres y delimitación de la cuenca hasta el desagüe del Lago del Toro por el río Serrano. Esto incluye el análisis de las entradas y salidas de agua desde el Lago del Toro, su capacidad de almacenamiento y su rol de regulación de caudales del río Serrano.

De esa manera, se cumplirán a cabalidad tanto el objetivo general como los objetivos específicos de una manera hidrológicamente coherente.

1.3 Introducción al documento

Esta sección resume las actividades realizadas para el cumplimiento de los objetivos generales y específicos del estudio. A continuación se describe brevemente el contenido de cada capítulo del documento:

En el Capítulo 2 se describe la zona de estudio, de manera de contextualizar los objetivos del mismo. Se presenta una descripción general de la cuenca alta del río Serrano, la que incluye a todos los ríos tributarios principales del Lago del Toro. Se realiza una breve descripción del clima y de la red hidrográfica de la zona de estudio.

El Capítulo 3 muestra un resumen de la información base recopilada para este estudio. En esta sección, destacan los estudios realizados para la cuenca del río **Serrano, "Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del río Serrano" realizado por Cade Idepe Consultores en Ingeniería el año 2004 (DGA, 2004) y "Análisis de Metodología y Determinación de Caudales de Reserva Turísticos", realizado por Aquaterra Ingenieros Limitada el año 2010 (DGA, 2010).** Otro documento importante es la

ley que decreta la Norma Secundaria de Calidad del Agua para el río Serrano (MMA, 2010), entre otros.

También en este capítulo se revisa la información de los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados, en tramitación y rechazados. Como se verá en esta sección, un hecho que llama la atención es la gran cantidad de derechos otorgados dentro de los límites del Parque Nacional Torres del Paine. Se realiza un análisis especial con derechos otorgados en esta zona y un análisis de antecedentes acerca de los usos presentes y proyecciones futuras.

Por último, en este capítulo se revisan las estaciones de monitoreo hidroclimático de la zona de estudio, de manera de obtener información de estaciones meteorológicas (principalmente para precipitaciones y temperaturas) y fluviométricas (caudales en los ríos).

En el Capítulo 4 se realiza un análisis de los datos de estaciones meteorológicas y fluviométricas de la zona de estudio. Se muestran en el mapa todas las estaciones ubicadas en la zona de estudio y se analizan de acuerdo a la cantidad de datos que tengan y a los vacíos de información en sus series de tiempo. Se presenta la metodología de relleno de datos de caudales, de manera de reconstruir parte de los registros con datos faltantes o inexistentes en algunas de las estaciones fluviométricas de la zona de estudio. Esto será fundamental para lograr la construcción de un modelo de balance hídrico en la cuenca del Lago del Toro.

El Capítulo 5 presenta las actividades y el detalle de la instalación de la estación fluviométrica en el río Paine sobre el Puente Weber, en la desembocadura del río al Lago del Toro.

En el Capítulo 6 se describen las actividades y resultados para la creación de un Modelo Digital de Elevación (DEM) a partir de imágenes satelitales del área cercana al Lago del Toro. También se entregan los resultados finales de la batimetría de orilla realizada a los Lagos del Toro, Maravilla y Porteño. Uno de los resultados esperados y que fue logrado satisfactoriamente, fue el de obtener las curvas de cota versus volumen almacenable y cota versus área de estos importantes cuerpos de agua. A partir de estos datos, más los obtenidos en los capítulos de recopilación de información hidrometeorológica, se puede construir el Balance Hídrico de la cuenca del río Serrano, el que se presenta en el siguiente capítulo.

El Capítulo 7 muestra el desarrollo del modelo de Balance Hídrico de la cuenca del río Serrano, hasta el desagüe del Lago del Toro por el río Serrano. Este desarrollo implica el la metodología para el cálculo de series de caudales

sintéticos en cuencas sin información, el uso de las series de caudales rellenos (provenientes del Capítulo 4), y las ecuaciones de balance de masa en lagos. Toda esta información recopilada y desarrollada ha sido puesta en el modelo WEAP de la cuenca del río Serrano, que es presentado en este capítulo, junto con la calibración del modelo y los resultados con proyecciones climáticas y de demanda de usos del agua. Especial interés se le da a la subcuenca del río de Las Chinas, analizando por separado los distintos tributarios de este río, sus derechos de aguas y caudales ecológicos.

Finalmente, en el capítulo de Conclusiones, se entrega un resumen completo de las actividades realizadas, de los resultados obtenidos. Se entregan recomendaciones para la Dirección General de Aguas, de manera de apoyar en el uso de la herramienta desarrollada y de posibles mejoras al sistema de manera de incorporar a otros actores relevantes con respecto al uso del agua, cuidado del medio ambiente y uso productivo responsable de los recursos de la cuenca.

2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Generalidades

La cuenca del río Serrano, ubicada en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, es de tipo trasandino con una extensión de 6.673 km², formando parte de ella una serie de grandes y pequeños lagos concatenados y otros situados en paralelo (DGA, 2004).

Desde el punto de vista político - administrativo, la cuenca del río Serrano forma parte de la Región de Magallanes y Antártica Chilena, abarcando la provincia de Última Esperanza y las comunas de Natales y Torres del Paine. La cuenca posee una superficie de 667.300 Ha equivalentes al 0,5% de la Región. El único asentamiento humano de importancia emplazado en el sector sur -oriental de la cuenca corresponde al poblado de Cerro Castillo.

La principal actividad económica de la cuenca es el turismo ya que posee sitios naturales de gran valor paisajístico. Entre estos atractivos naturales se encuentran los sitios declarados como áreas bajo la protección oficial del Estado, las Áreas Silvestres Protegidas, los que corresponden a los Parques Nacionales Torres **del Paine y Bernardo O'Higgins**, así como numerosos cuerpos lacustres, glaciares y ventisqueros.

El poblado de Cerro Castillo se dedica a la crianza de ganado ovino y apoyo al turismo. Este poblado otorga el aprovisionamiento de abarrotes a las estancias vecinas, e información turística a los visitantes que acceden por el paso fronterizo Don Guillermo, provenientes de Calafate, República Argentina. La ganadería ovina y bobina también constituye una de las principales actividades económicas de la cuenca (DGA, 2004).

2.2 Climatología

La cuenca del río Serrano, presenta un clima Frío Estepárico en los sectores bajos y de Tundra, en los sectores de mayores alturas (cumbres). Este clima durante el verano es muy variable por lo que en un mismo día puede estar soleado, nublado, con lluvia e incluso nevar. La temperatura máxima puede oscilar entre los 25°C y los 10°C, en tanto, que la mínima puede alcanzar valores bajo los 0°C. En invierno las condiciones son más extremas. Precipita y nieva a

lo largo de todos los meses con valores que no sobrepasan los 60 mm mensuales (DGA, 2004).

Existe un fuerte gradiente de precipitaciones, por un lado con precipitaciones que rondan los 8.000 mm por año en el sector occidental de la cuenca, sobre los brazos de Campos de Hielo Sur y sus glaciares asociados y por otro, el sector oriental de la cuenca, con precipitaciones medias de sólo 200 mm. Esto produce distintos tipos de climas, ecosistemas y vegetación en una cuenca de tamaño pequeño.

La siguiente figura muestra las isoyetas e isotermas provenientes del Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987) las cuales fueron calculadas y mapeadas solamente para el lado chileno de la cuenca del río Serrano.

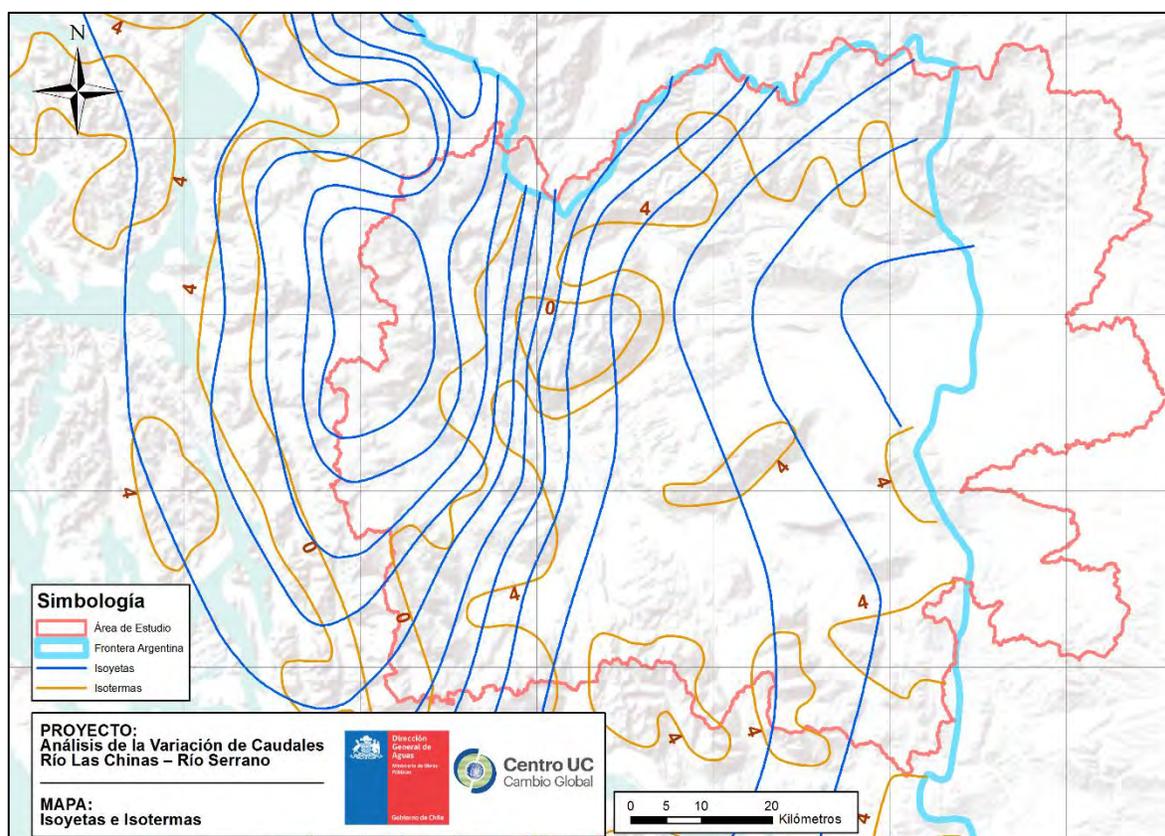


Figura 2.1. Isoyetas e Isotermas en zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia en base a información DGA

2.3 Características de la cuenca hidrográfica

El río Serrano, de 38 km de recorrido, se genera como desagüe del lago Toro en el extremo más occidental de este gran cuerpo de agua. Recorre serpenteando

una extensa llanura aluvial cubierta en parte por mallines y turberas. En el área Norte de la cuenca del río Serrano, se pueden distinguir dos sistemas hidrográficos principales:

- La hoya del río Paine, la cual presenta un marcado régimen glaciar y drena el área nor-oeste de la cuenca
- La hoya del río las Chinas, la cual presenta un régimen hidrológico de alimentación mixta, o nivo-pluvial.

Ambas hoyas hidrográficas desaguan en el lago del Toro, en cuyo extremo más occidental nace el río Serrano de 38 km de recorrido, que finaliza su recorrido en el Seno de Última Esperanza (DGA, 2010).

En este trayecto recibe las aguas de uno de sus tributarios por su ribera derecha, el río Grey, emisario del lago homónimo, que por su forma y longitud de más de 15 km constituye naturalmente un fiordo interior de orientación NW-SE. Este lago es alimentado desde un gran ventisquero proveniente de los Campos de Hielo Sur, que cae en su cabecera norte. Su superficie alcanza a 32,6 km² y sus aguas son turbias a causas del limo glaciar (DGA, 2004).

Otro importante tributario es el río Tyndall, también de origen Glacial y que se junta con el río Serrano más cerca de la desembocadura de éste último al Fiordo de Última Esperanza.

Pero gran parte del caudal del río Serrano proviene del desagüe del Lago del Toro, el que recibe los aportes de distintos ríos, siendo algunos de origen Glacial, como el río Paine y algunos ríos menores provenientes de las vertientes del Macizo del Paine; otros de carácter nival, como los ríos de Las Chinas y su principal tributario, el río Baguales; y por último, ríos de carácter pluvial, como son los nacidos en territorio argentino y de zonas bajas, como los ríos Don Guillermo y Tres Pasos.

El Lago del Toro, como otros lagos de la zona, es producto del retroceso de glaciares durante el último período glaciar. Según Solari et. Al (2012), los grandes lagos de la zona, como el Lago del Toro, Pehoé, Sarmiento y Nordenskjöld, fueron alguna vez un gran lago, llamado el Gran Lago Tehuelche.

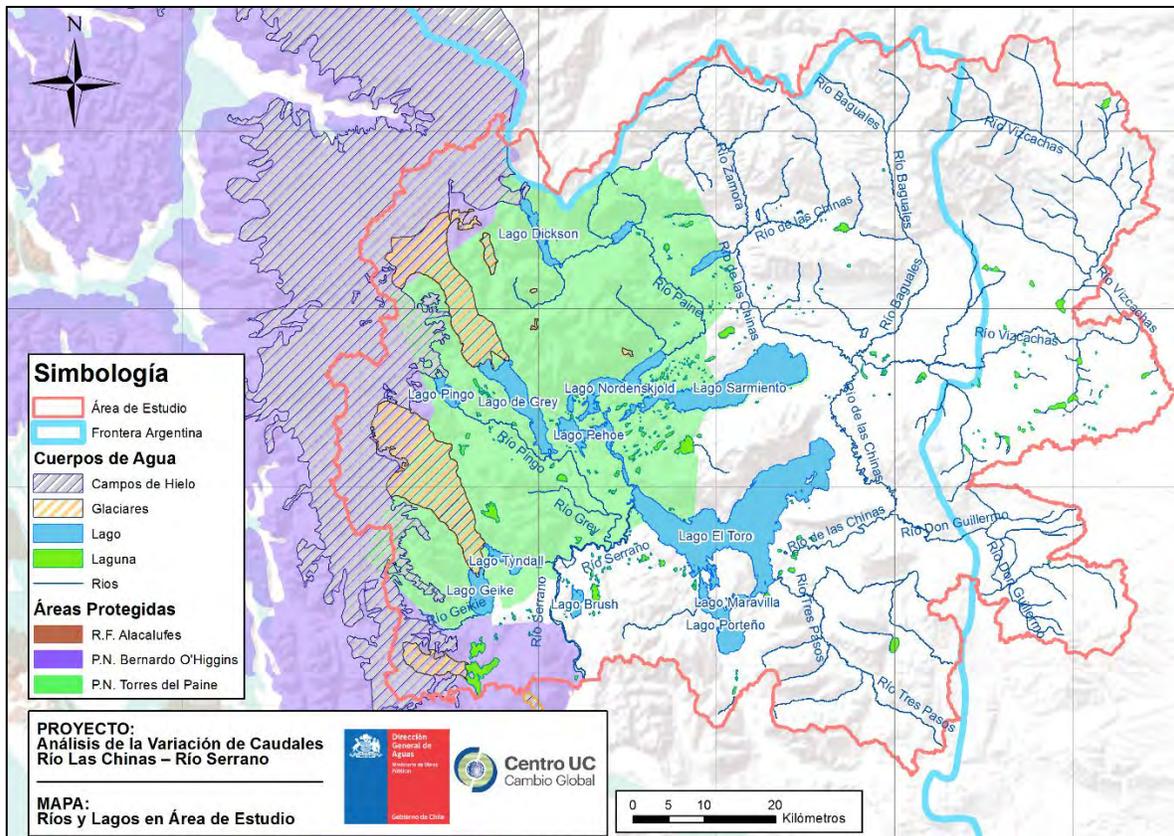


Figura 2.2. Principales ríos y lagos en zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia en base a información DGA.

Por el lado Este de la cuenca, los ríos de Las Chinas y Tres Pasos desaguan sobre el Lago del Toro. El río de Las Chinas nace en la zona norte de la cuenca y describe una serie de meandros y curvas hasta desembocar en el Lago del Toro. Al río de Las Chinas, le tributan otros ríos menores, como los ríos Zamora, Baguales y Vizcachas. Todos estos ríos provienen de la zona norte de la cuenca, donde en invierno se acumula nieve que luego se derrite en primavera-verano. El río Vizcachas nace en Argentina y se une al río de Las Chinas ya en territorio chileno.

El río Tres Pasos proviene desde Argentina por el lado suroriente de la cuenca. Existen otras sub-subcuenclas con las hoyas de los lagos del Toro y Sarmiento que prácticamente no poseen grandes ríos y que sólo reciben agua de los aportes por precipitaciones y los desagües de pequeños esteros. Es importante notar que aunque la hoya del lago Sarmiento es de carácter endorreico, de todas maneras se puede conectar a la cuenca a través de flujos sub-superficiales y subterráneos

Por último, el lado noroeste de la cuenca del río Serrano está influenciado fuertemente por los glaciares que se descuelgan desde Campos de Hielo Sur y que aportan a la hidrología de la cuenca principalmente durante la primavera y verano debido al deshielo producto del aumento de las temperaturas promedio. Los pequeños valles al interior del Macizo del Paine también aportan a la hidrología de la cuenca de manera mixta de acuerdo a si existen o no glaciares en ellos.

2.4 Definición del área de estudio

Uno de los elementos relevantes a la hora de determinar las áreas de influencia que serán consideradas en el estudio, es la definición de las unidades hidrológicas que serán utilizadas posteriormente en el modelo hidrológico.

Estas unidades corresponderán a las cuencas aportantes definidas para distintos puntos de interés, los cuales serán las confluencias de los cursos superficiales principales, obras de infraestructura relevantes, o algún otro sitio donde sea necesario modelar el caudal de un río.

Para efectos de este estudio se utilizó una primera discretización del territorio mediante la utilización de modelos digitales de elevación (DEM por sus siglas en inglés) procesados en plataformas de procesamiento de información geográfica. El modelo utilizado en este estudio es el ASTER DEM de resolución espacial de 30 m². Para procesar esta capa de elevación se utilizó la plataforma ArcGIS 10.1 con el módulo especial ArcHydro 2.0, el cual permite, a partir de la topografía obtenida desde el DEM, calcular y representar las relaciones de pendiente y direcciones de flujo existentes en el terreno y extraídas desde el DEM correspondiente, definir los cauces, establecer las relaciones jerárquicas entre ellos (afluentes y ríos principales), delineando así la red hidrográfica de interés, y con ella, las áreas aportantes de cada uno de los cauces (Figura 2.3).

² Más información en <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html>

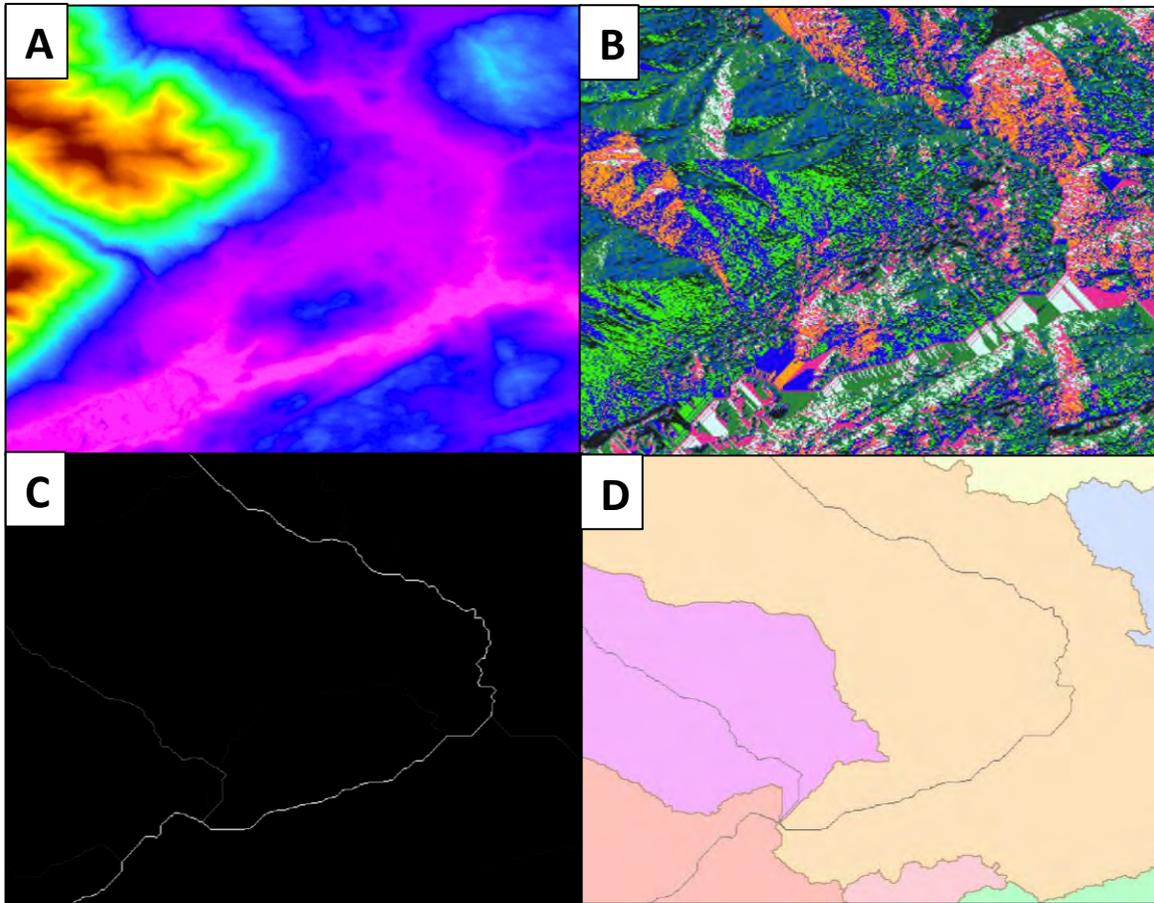


Figura 2.3. Procesamiento del modelo digital de elevación para obtener elementos hidrológicos mediante herramienta ArcHydro.

A) Modelo digital de elevación sin procesar. B) Direcciones de flujo según relaciones de altura entre píxeles. C) Flujo acumulado según dirección de flujo. D) Delineación de red drenaje y microcuencas aportantes.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definida la red de drenaje y mediante la agrupación de las microcuencas aportantes a los cursos principales del área de estudio, es posible definir finalmente las áreas afectas a ser incluidas en el análisis, así como también para ser consideradas en el modelo hidrológico (Figura 2.4).

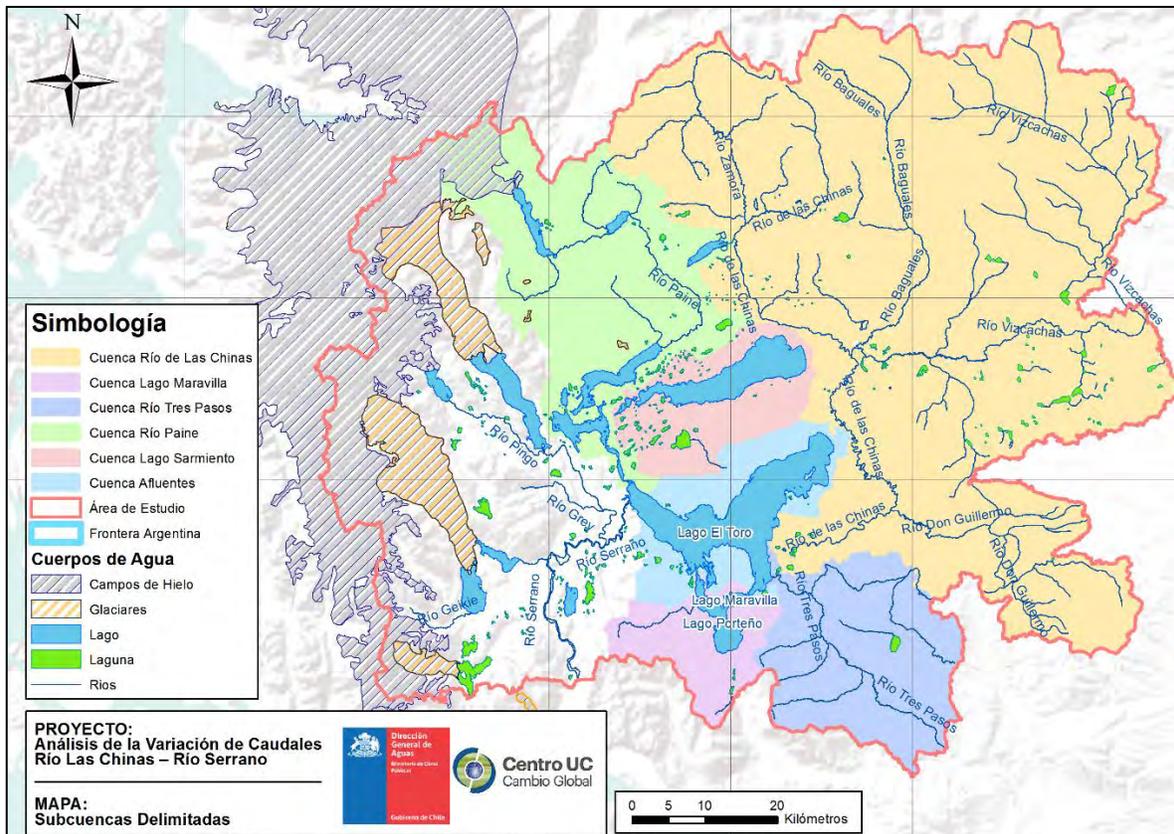


Figura 2.4. Subcuencas definidas a partir del modelo digital de elevación (DEM).
Fuente: Elaboración propia.

3 RECOPIILACIÓN DE INFORMACIÓN BASE

3.1 Levantamiento de información bibliográfica

Para el presente estudio se recopiló una serie de estudios e informes técnicos que incluyen información relevante para el equipo consultor, ya sea por la información de base que contienen, así como por información de referencia y normas necesarias de considerar a la hora de enfrentar el proyecto.

Rev.1. Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos (Aquaterra Ingenieros - DGA, 2010)

El objetivo general de este estudio fue la formulación de una metodología que permita determinar y cuantificar los caudales asociados al uso turístico, a fin de reservar caudales de interés nacional relacionados con dicho uso.

Para lo anterior se levantaron diversas metodologías existentes para el cálculo de caudales de reserva asociado al uso turístico, en base a levantamiento de información bibliográfica y a información recopilada mediante entrevistas y talleres con usuarios y expertos. Dicha metodología se aplicó en seis cuencas seleccionadas, para los tramos de ríos expuestos a continuación:

- Río Cochiguaz, Región de Coquimbo, en el tramo comprendido entre Sol Naciente y Montegrande.
- Río Puelo, Región de Los Lagos, en el tramo comprendido entre 12 km antes de la frontera con Argentina y la desembocadura en el lago Tagua.
- Río Futaleufú, Región de Los Lagos, en el tramo entre la frontera con Argentina y la desembocadura en el Lago Yelcho.
- Río Baker, Región de Aysén, en el tramo entre la desembocadura del lago Bertrand y la confluencia con el río Neef.
- Río Simpson, Región de Aysén, en el tramo entre el sector de Villa Simpson y la junta con el río Mañihuales.
- Río Serrano, Región de Magallanes y Antártica Chilena, en el tramo entre su nacimiento en la desembocadura del Lago Toro, hasta su desembocadura en el seno de Última Esperanza.

Para el caso del río Serrano, este estudio presenta una recopilación de la información hidrometeorológica de la cuenca, considerando registros pluviométricos cercanos al tramo estudiado y estaciones fluviométricas disponibles.

El periodo de recopilación de información considera registros mensuales, para el caso de la pluviometría para el periodo 1982 - 2008 y para el caso de las estaciones fluviométricas, el periodo 1981-2008 según la estación. Para el caso de las precipitaciones se identifica la estación Torres del Paine (DGA) como la con mejor información, contando con gran cantidad de información completa a nivel mensual para el periodo 1982-2008.

Dados los objetivos de este estudio, el análisis fluviométrico estuvo restringido al tramo del río Serrano comprendido entre el desagüe del lago Toro, y la desembocadura del río Serrano. Bajo este escenario, el estudio prosigue con el análisis de tres estaciones de interés en el área de estudio: Serrano en desagüe Lago Toro, Grey antes Junta Serrano y Serrano en Desembocadura.

Con la información recopilada, el estudio continúa con la estimación de los parámetros de las funciones de densidad de probabilidades de caudales en los tres puntos de interés del estudio antes mencionados. Con estas curvas generadas, se generaron las curvas de distribución mensual para distintas probabilidades de excedencia, así como también estadísticos descriptores de la hidrología y las curvas de duración en cada punto, así como también, utilizando la metodología de transposición de caudales, generar las curvas para el tramo intermedio del río Serrano.

Los caudales medios anuales calculados en base a esta información se presentan en la siguiente Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Caracterización estadística de los caudales anuales para las estaciones fluviométricas consideradas (en m³/s).

Parámetro	Serrano Desagüe Lago Toro	Grey antes junta Serrano	Serrano Desembocadura
Caudal Medio Anual	80,68	116,40	380,29
Desviación Estándar	11,582	12,87	53,551
Máximo	114,28	150,41	476,70
Mínimo	67,30	92,75	304,37

Fuente: Aquaterra Ingenieros, 2010

Luego de la caracterización hidrológica del tramo de río considerado, el estudio avanza hacia la determinación de caudales ecológicos para los distintos tramos según las principales metodologías de cálculo existentes. Finalmente, el estudio propone, en base al análisis de los resultados de cálculo de caudal ecológico de estas distintas metodologías, una serie de caudales ecológicos recomendados a nivel mensual, presentados en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2. Caudales ecológicos recomendados (m³/s).

ID	Tramo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	río Serrano, Desagüe Lago Toro	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	13,1	8,6	8,1	11,7	16,1	16,1	16,1
2	río Serrano, Tramo intermedio	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	23,8	19	18,4	22,2	39,9	39,9	39,9
3	río Serrano, en Desembocadura	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	23	29,3	33,5	36,3	76,1	76,1	76,1

Fuente: Aquaterra Ingenieros, 2010

El estudio luego avanza con la descripción metodológica que permita determinar los caudales de reserva de interés turístico para las distintas cuencas bajo estudio. Se identifican los componentes y tipos de usos de agua presentes en cada caso, mediante el uso de la clasificación esquematizada en la Figura 3.1.

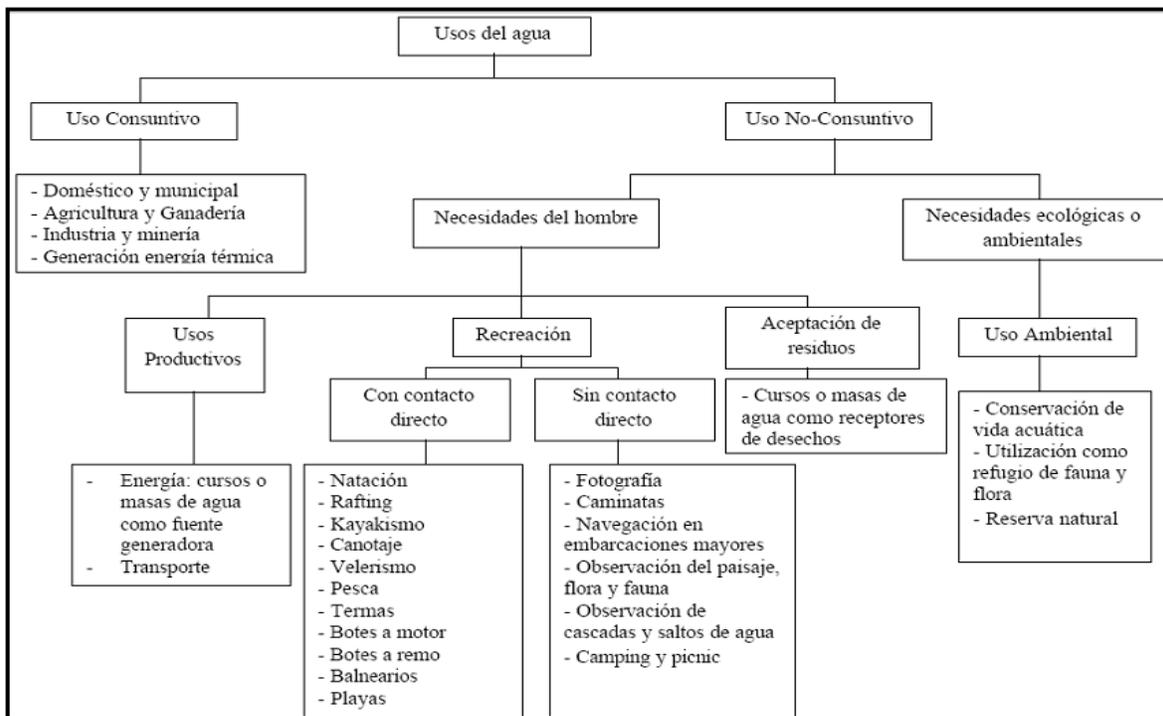


Figura 3.1. Clasificación de tipos de usos de agua.

Fuente: UACH/DGA, Usos no extractivos³, en Aquaterra Ingenieros, 2010).

³ Levantamiento de Usos no extractivos o Usos In Situ del Agua, Facultad de Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile, DGA, MOP, SIT N°95, 2004)

A partir del análisis de estos antecedentes de uso, reuniones con usuarios y consulta a expertos, el estudio determina la serie de caudales medios diarios por mes a reservar con el objeto de permitir el desarrollo de actividades turísticas con y sin contacto directo. Los caudales a reservar se presentan en la Tabla 3.3 y Figura 3.2.

Tabla 3.3. Caudales de reserva tramo de desagüe Lago Toro y desembocadura (m³/s).

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tramo entre desagüe Lago Toro y desembocadura Seno Última Esperanza	900	1.000	850	550	400	200	150	200	175	300	450	700

Fuente: Aquaterra Ingenieros, 2010

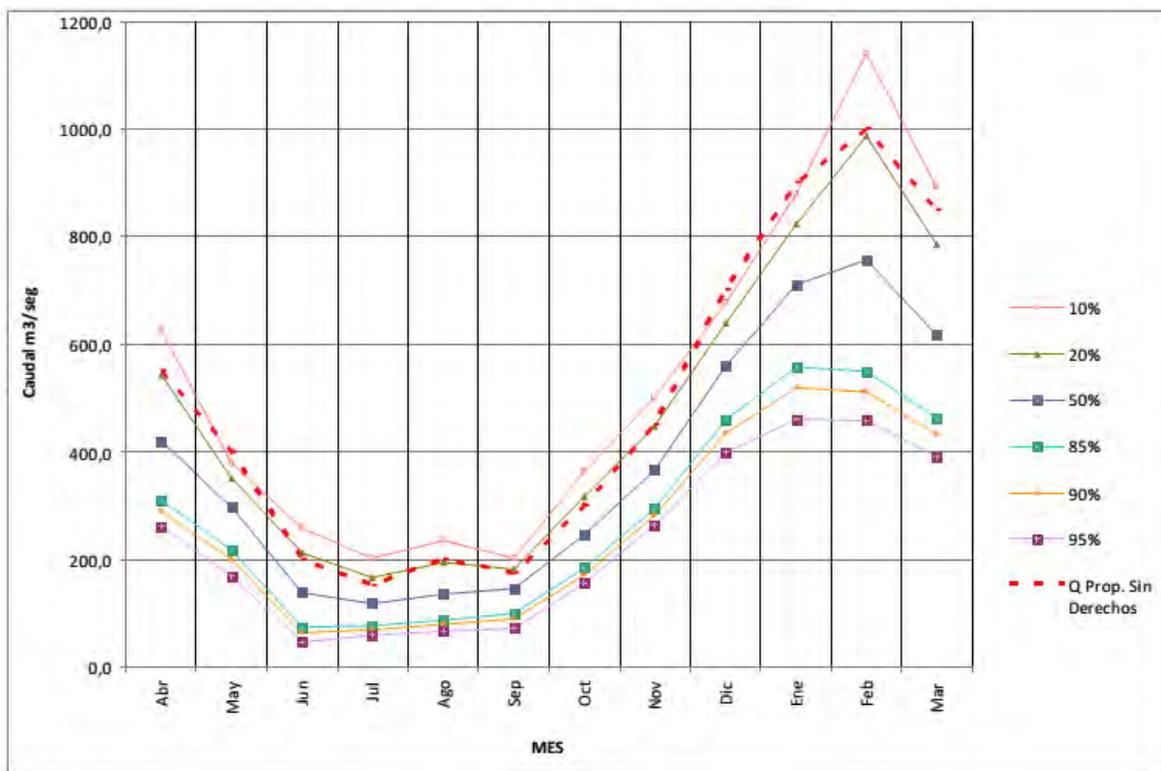


Figura 3.2. Caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia y caudales propuestos reservar en el tramo Serrano en desagüe Lago Toro y Desembocadura Seno Última Esperanza.

Fuente: Aquaterra Ingenieros, 2010.

A partir de los antecedentes y resultados de este estudio, es posible identificar los requerimientos mínimos de flujo por mes necesarios para la mantención de las actividades turísticas en el tramo de río considerado. Esta información es de gran utilidad para el presente estudio, pudiendo ser utilizada como valor de

caudales mínimos a mantener en el modelo de gestión de recursos hídricos que se desarrollará en el futuro.

Rev.2. Diagnóstico y Clasificación de los cuerpos de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Serrano (CADE-IDEPE - DGA, 2004)

El estudio desarrollado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería en el año 2004 presenta una revisión de antecedentes y datos disponibles para la cuenca del río Serrano, trabajo enmarcado en el proyecto de alcance nacional titulado: **“Diagnóstico y Clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad”**, el cual estudiaron 33 cuencas a lo largo de Chile. El objetivo de este estudio es conocer la calidad natural y actual de los recursos hídricos superficiales, determinar los caudales disponibles para la dilución de contaminantes y tipificar los cursos y cuerpos de agua. Esta tipificación permitirá identificar las aguas de calidad de excepción, para usos prioritarios y para la proyección y conservación de las comunidades acuáticas, sirviendo de apoyo para la definición de las normas de calidad de agua de las cuencas estudiadas.

En el caso de la cuenca del río Serrano, el análisis incluye todos los cauces relevantes que conforman la cuenca:

- Río Serrano
- Río Paine
- Río Grey
- Río Baguales
- Río Vizcachas
- Río de Las Chinas
- Río Chorrillos Tres Pasos
- Río Don Guillermo

En primer lugar, se presenta una caracterización cartográfica de la zona en base a información proporcionada por distintos servicios públicos, entre ellos MOP-DGA, CONAMA y CNR.

Asimismo, se procede a caracterizar el sistema Físico-Natural del área de estudio, tanto en sus características climáticas, geología, geomorfología, características de suelo, flora y fauna, sistemas humanos, y uso del territorio con la caracterización de los distintos usos del suelo presentes en el área de estudio.

Como parte de la recopilación de antecedentes, este estudio considera la siguiente información de estaciones fluviométricas:

Tabla 3.4. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Serrano consideradas.

Nombre	Periodo de Registro
RÍO DE LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	1980-2002
RÍO BAGUALES EN CERRO GUIDO	1980-2002
RÍO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	1980-2002
RÍO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	1980-2002
RÍO DE LAS CHINAS ANTES DE DESAGUE DEL TORO	1990-2002
RÍO CHORRILLOS LOS TRES PASOS RUTA N°9	1981-2002
RÍO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2	1985-2002
RÍO GREY ANTES JUNTA SERRANO	1981-2002
RÍO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO	1986-2002
RÍO SERRANO EN DESEMBOCADURA	1994-2002

Fuente: CADE-IDEPE, 2004, en base a información DGA.

Dadas las características de la hidrología del lugar, se identifican tres regímenes de caudales que pueden ser identificados en la cuenca, los cuales es importante considerar a la hora de plantear un modelo de gestión de recursos hídricos. En la Tabla 3.5, se presenta el agrupamiento según régimen de caudales:

Tabla 3.5. Agrupamiento según régimen hidrológico de estaciones fluviométricas.

	Régimen	Nombre Estación
1	Nival	RÍO DE LAS CHINAS EN CERRO GUIDO
2		RÍO BAGUALES EN CERRO GUIDO
3		RÍO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO
4		RÍO DE LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO
5	Glaciar	RÍO PAINE EN PARQUE NACIONAL
6		RÍO GREY ANTES JUNTA SERRANO
7		RÍO SERRANO EN DESAGUE LAGO DE TORO
8		RÍO SERRANO EN DESEMBOCADURA
9	Pluvial	RÍO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO
10		RÍO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N°9

Fuente: CADE-IDEPE, 2004.

Seguido de este análisis, el estudio revisa los distintos usos del agua a partir del levantamiento de información de distintos informes generados por los servicios públicos:

- Sistema de Información Integral de Riego (SIIR)

- Catastro de Bosque Nativo CONAF-CONAMA
- Diagnóstico y propuesta para la conservación de la biodiversidad en la XII región, CONAMA-CONAF-SAG-INIA-DGA-SERNAP
- Análisis de uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile, IPLA Ltda. para MOP-DGA, 1996.

A partir de esta información se describen las necesidades de uso y actividades asociadas a los recursos hídricos presentes en la cuenca, considerando tantos usos In-Situ, extractivos, ecosistémicos y ancestrales. Como un elemento de alto valor se presenta la asociación de los usos antes señalados a tramos específicos de los cursos superficiales del área, permitiendo con esto hacer un análisis de las necesidades de los distintos usos para las condiciones particulares de cada uno de los tramos de río considerados.

A continuación, el informe avanza con una revisión de las descargas de contaminantes a los cursos superficiales, así como con el levantamiento de información respecto a calidad de agua a partir del programa de monitoreo de la DGA. Posterior a lo anterior, el equipo CADE-IDEPE plantea su metodología de monitoreo puntual de variables de calidad de agua.

A partir de todo este levantamiento de información, el informe presenta las series de datos fluviométricos e hidrogramas para distintas probabilidades de excedencia para las estaciones consideradas, caracterizando luego el comportamiento hidrológico de las mismas, caracterizando sus regímenes, periodos de crecida y estiaje y respuesta a la variabilidad interanual en cada subcuenca considerada.

Respecto a la información disponible sobre calidad de aguas, el informe presenta de manera extensa una revisión tanto del programa de monitoreo regular de la DGA, como de las campañas de monitoreo puntual desarrollado específicamente para tal estudio.

A continuación, y como parte de los resultados del análisis de dicha información, se presentan los factores que estarían incidiendo en la calidad del agua para tramos específicos de la cuenca del río Serrano, y una caracterización de la calidad del agua en los ríos seleccionados a nivel de cuenca para los siguientes parámetros:

Tabla 3.6. Grupos de parámetros de calidad de agua considerados en el análisis de CADE-IDEPE.

Grupo de Parámetros*	Componentes
Físico-Químicos	Conductividad eléctrica, DBO5, Color aparente, OD, pH, RAS, SD, SST
Inorgánicos	NH_4^+ , CN^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , S_2^-
Metales Esenciales	B, Cu, Cr_{total} , Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn
Metales no Esenciales	Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb
Indicadores Microbiológicos	CF, CT

*Según este estudio no se dispone información respecto a parámetros orgánicos (Aceites, grasas y otros) ni de parámetros orgánicos plaguicidas.

Fuente: CADE-IDEPE, 2004.

Rev.3. Especificaciones técnicas y presupuesto, Estación fluviométrica río Las Chinas (Sergio Silva Fuenzalida, 1979, presentado a DGA)

En este reporte técnico se presentan las especificaciones técnicas para la implementación de la estación fluviométrica río Las Chinas antes de confluencia con río Vizcachas.

Se establecen las condiciones de construcción que deberá cumplir el contratista, así como sus responsabilidades técnicas y legales derivadas de la construcción y obras accesorias para el desarrollo de la misma.

Se presenta con detalle las necesidades de faenas, materiales y procedimientos de construcción de las obras necesarias para la implementación de aforo, de tal manera de dar cumplimiento a las necesidades del organismo mandante.

Este reporte técnico aporta al estudio las consideraciones técnicas propias de la instalación de una estación fluviométrica permanente para un curso superficial como el río Las Chinas.

Rev.4. Decreto 75 sobre el establecimiento de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano, (SEGEGOB, 2010)

Este documento oficial, publicado con fecha 19 de marzo de 2010, presenta los antecedentes que ameritan el establecimiento de la norma en la cuenca del río Serrano, así como el camino legal necesario para su evaluación y determinación, con el objeto de proteger y mantener cuerpos y cursos de agua de calidad excepcional en la cuenca, asegurando sus cualidades como sitio de valor

ambiental, escénico y turístico, de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso hídrico, las comunidades acuáticas y los ecosistemas, maximizando los beneficios ambientales, sociales y económicos

Se establece que los cursos superficiales que están bajo la norma son:

- Río Serrano
- Río Paine
- Río Grey
- Río Baguales
- Río Vizcachas
- Río de Las Chinas
- Río Tres Pasos
- Río Don Guillermo

Para el monitoreo de los parámetros de calidad considerados en esta norma, se establecen los tramos de río presentados en la tabla a continuación:

Tabla 3.7. Áreas de vigilancia definidas en la norma.

Cauce	Área de Vigilancia	Límites Área de Vigilancia
Río Paine	PA-10	Desde: Desagüe Lago Dickson
		Hasta: Inicio Lago Nordenskjöld
Río Serrano	SE-10	Desde: Desagüe Lago Toro
		Hasta: Confluencia con río Grey
	SE-20	Desde: Confluencia con río Grey
		Hasta: Desembocadura río Serrano
Río Grey	GR-10	Desde: Desagüe Lago Grey
		Hasta: Confluencia con río Serrano
Río Las Chinas	CH-10	Desde: Naciente río las Chinas
		Hasta: Desembocadura en lago Toro
Río Baguales	BA-10	Desde: Nacimiento río Baguales
		Hasta: Confluencia río Vizcachas
Río Vizcachas	VI-10	Desde: Naciente río Vizcachas
		Hasta: Confluencia río Chinas
Río Don Guillermo	DG-10	Desde: Naciente río Don Guillermo
		Hasta: Confluencia con río las Chinas
Río Tres Pasos	TP-10	Desde: Naciente río Tres Pasos
		Hasta: Desembocadura en lago Toro

Fuente: Norma secundaria de calidad de agua para la cuenca del río Serrano, 2010.

Finalmente, el documento indica los protocolos de monitoreo y fiscalizaciones que acompañan el instrumento legal aquí definido, estableciendo un programa de vigilancia y metodologías específicas de muestreo y análisis para cada uno de los parámetros antes definidos.

Rev.5. Declaración de impacto ambiental construcción puente Weber Ruta Y-156 Provincia de Última Esperanza XII Región de Magallanes y Antártica Chilena (Ministerio de Obras Públicas, Marzo 2007).

El informe señalado presenta la descripción general del proyecto, descripción del área de emplazamiento y emisiones al ambiente relacionadas con la construcción del puente Weber sobre el río Paine, en el sector de la desembocadura de éste último hacia el lago El Toro.

En una primera sección se plantea la justificación de reemplazo del antiguo puente Weber, la cual responde a restricciones de infraestructura y niveles de seguridad que ponían en riesgo el tránsito de los operadores turísticos y turistas que acceden por esa vía a la zona de los cuernos del Paine, al ser una vía originalmente construida en madera, además de presentar una sola vía y un observable deterioro.

Posteriormente el informe, en su cuerpo principal, incorpora detalles sobre el proyecto de construcción del puente, señalándose la localización, montos, vida útil y cronología del proyecto. Asimismo, se señalan las características de la obra, su estructura y acciones a realizar, para finalizar con un catastro de las principales emisiones, descargas y residuos generados por el proyecto.

El principal valor de este documento para efectos de este proyecto se encuentra en su Anexo N° 3, punto 1.5, en donde se realiza una detallada caracterización hidrológica de la zona, tanto de la cuenca del río Serrano en general, como del curso del río Paine en particular.

Un componente relevante de este informe es el desarrollo de un Estudio Hidrológico de Crecidas, el cual buscó generar los caudales de periodo de retorno de 100 y 200 años para el puente Weber mediante la recopilación de estadística fluviométrica, tanto para caudales medios diarios, como máximos instantáneos desde la Dirección General de Aguas regional. En este estudio se analizó el efecto que tienen sobre la dinámica las distintas fuentes que dan origen a los cursos de la zona, de régimen glacio-nivo-pluvial, con un fuerte componente generado a partir del derretimiento de glaciares andinos.

Se reporta en este informe la compleja situación respecto a la disponibilidad de datos, desarrollando una metodología de relleno y análisis de datos dudosos a partir de la serie de caudales máximos instantáneos disponible (Tabla 3.8, Tabla 3.9 y Tabla 3.10).

Tabla 3.8. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Grey antes de junta río Serrano en junta río Serrano.

Nº	Año	Caudales Máximos Instantáneos (m ³ /s)	Log. (C)	Dudoso
1	1981	192,0	2,28	Elim.
2	1982	402,0	2,60	Ok
3	1983	403,0	2,61	Ok
4	1984	430,0	2,63	Ok
5	1985	473,0	2,67	Ok
6	1986	389,0	2,59	Ok
7	1987	344,0	2,54	Ok
8	1988	300,0	2,48	Ok
9	1989	466,0	2,67	Ok
10	1990	293,0	2,47	Ok
11	1991	591,0	2,77	Ok
12	1992	503,0	2,70	Ok
13	1993	411,0	2,61	Ok
14	1994	405,0	2,61	Ok
15	1995	416,0	2,62	Ok
16	1996	330,0	2,52	Ok
17	1997	311,0	2,49	Ok
18	1998	829,0	2,92	Elim.
19	1999	383,0	2,58	Ok
Prom.		414,26	2,60	
D. S.		133,20	0,13	
y.H.		2,9075		
y.L.		2,2889		

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

Tabla 3.9. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Paine en Parque Nacional.

Nº	Año	Caudales Máximos Instantáneos (m ³ /s)	Log. (C)	Dudoso
1	1981	33,1	1,52	Ok
2	1982	381,0	2,58	Ok
3	1983	661,0	2,82	Ok
4	1984	248,0	2,39	Ok
5	1985	162,0	2,21	Ok
Prom.		297,02	2,31	
D. S.		239,69	0,49	
y.H.		No se realizó el test de datos dudosos, debido a que la estación no tiene el mínimo de datos para la aplicación del test, que es de 10 muestras.		
y.L.				

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

Tabla 3.10. Caudales máximos instantáneos y dato dudoso de la estación río Paine en Parque Nacional 2.

Nº	Año	Caudales Máximos Instantáneos (m ³ /s)	Log. (C)	Dudoso
1	1985	388,0	2,59	Ok
2	1986	182,0	2,26	Ok
3	1987	132,0	2,12	Ok
4	1988	319,0	2,50	Ok
5	1989	230,0	2,36	Ok
6	1990	127,0	2,10	Ok
7	1991	329,0	2,52	Ok
8	1992	170,0	2,23	Ok
9	1993	140,0	2,15	Ok
10	1994	153,0	2,18	Ok
11	1995	192,0	2,28	Ok
12	1996	276,0	2,44	Ok
13	1997	113,0	2,05	Ok
14	1998	569,0	2,76	Ok
15	1999	162,0	2,21	Ok
Prom.		229,29	2,30	
D. S.		158,54	0,24	
y.H.		2,8526		
y.L.		1,7397		

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

A continuación, el informe plantea un elemento muy útil para su utilización en la reconstrucción de caudales de la zona de estudio, lo anterior, dada la destrucción de la estación Parque Nacional debido a una crecida del río Paine en 1985. Así se plantea la reconstrucción de dicha estación utilizando la **metodología de "curvas de doble masa acumulada"**.

Mediante esta metodología fue posible reconstruir los caudales para una estación **que reúna la información de las estaciones "Parque Nacional" y "Parque Nacional 2", llamada "Parque Nacional Extendida", con el objeto de contrastar el régimen de caudales del río Paine con el del río Grey, principalmente con el objeto de identificar la fuente principal de caudales de este sistema.**

En la Tabla 3.11 se presentan los caudales máximos instantáneos correlacionados obtenidos para las estaciones "Lago Grey" y "Parque Nacional Extendida".

Tabla 3.11. Caudales máximos instantáneos correlacionados (m³/s).

Nº	Año	Caudales Máximos		Acumulados	
		Grey	P. Nac. extendida	Grey	P. Nac. extendida
1	1981	192,0	33,1	192,0	33,1
2	1982	402,0	381,0	594,0	414,1
3	1983	403,0	661,0	997,0	1.075,1
4	1984	430,0	248,0	1.427,0	1.323,1
5	1985	473,0	388,0(**)	1.900,0	1.711,1
6	1986	389,0	394,7(*)	2.289,0	2.105,1
7	1987	344,0	380,6(*)	2.633,0	2.486,3
8	1988	300,0	366,7(*)	2.933,0	2.853,1
9	1989	466,0	418,9(*)	3.399,0	3.273,0
10	1990	293,0	364,5(*)	3.692,0	3.636,5
11	1991	591,0	458,1(*)	4.283,0	4.094,6
12	1992	503,0	430,5(*)	4.786,0	4.525,1
13	1993	411,0	401,6(*)	5.197,0	4.926,7
14	1994	405,0	399,7(*)	5.602,0	5.326,5
15	1995	416,0	403,2(*)	6.018,0	5.729,6
16	1996	330,0	376,2(*)	6.348,0	6.105,8
17	1997	311,0	370,2(*)	6.659,0	6.476,0
18	1998	829,0	532,9(*)	7.488,0	7.008,9
19	1999	383,0	392,8(*)	7.871,0	7.401,7

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

(*): Valores rellenos con la correlación realizada.

(**): Valor correspondiente a la estación Parque Nacional 2.

A continuación, se grafican los caudales acumulados y se muestra el coeficiente de correlación obtenido entre ambas estaciones.

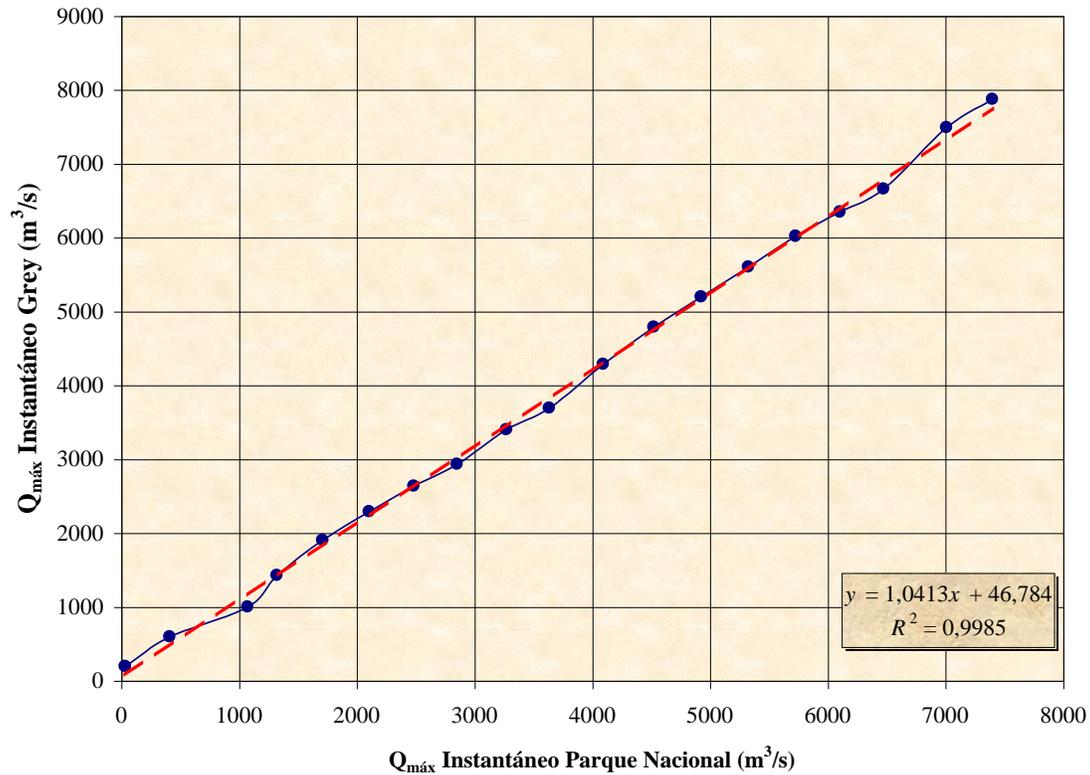


Figura 3.3. Gráfico de los caudales máximos instantáneos acumulados.

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007.

De la figura anterior y de los antecedentes presentados en el informe, se concluye lo siguiente:

- Dado que el coeficiente de correlación obtenido es cercano a 1, es posible rellenar la estación Parque Nacional y, a su vez, corrobora la hipótesis inicial, que el derretimiento de nieves es la principal generadora de caudales en estos sistemas.
- Si se observan los registros de ambas estaciones de caudales, se ve que las crestas de caudales máximos instantáneos ocurren en los meses de verano, época donde la temperatura es mayor y derrite la nieve caída en el período de invierno.
- Basados en la evidencia obtenida, la estación Parque Nacional puede ser rellenada con la correlación realizada, debido a que tienen un factor de correlación muy cercano a 1, lo que hace suponer que ambas estaciones tienen un comportamiento similar y una componente generadora de caudales común, que es el derretimiento de las nieves.

Un análisis similar es realizado entre las estaciones Lago Grey y Parque Nacional 2, dado que esta última fue construida luego de la crecida del río Paine en 1985, por lo que fue de interés para este estudio poder correlacionarla y rellenarla con la estación Lago Grey, con tal de aportar mayor información acerca del caudal del diseño a considerar para la construcción del puente Weber.

En la Tabla 3.12 se presentan los caudales máximos correlacionados para ambas estaciones.

Tabla 3.12. Caudales máximos instantáneos correlacionados (m³/s).

N°	Año	Caudales Máximos		Acumulados	
		Grey	P. Nac. 2	Grey	P. Nac. 2
1	1981	192,0	385,8(*)	192,0	385,8
2	1982	402,0	561,0(*)	594,0	946,8
3	1983	403,0	561,9(*)	997,0	1.508,7
4	1984	430,0	584,4(*)	1.427,0	2.093,1
5	1985	473,0	388,0	1.900,0	2.481,1
6	1986	389,0	182,0	2.289,0	2.663,1
7	1987	344,0	132,0	2.633,0	2.795,1
8	1988	300,0	319,0	2.933,0	3.114,1
9	1989	466,0	230,0	3.399,0	3.344,1
10	1990	293,0	127,0	3.692,0	3.471,1
11	1991	591,0	329,0	4.283,0	3.800,1
12	1992	503,0	170,0	4.786,0	3.970,1
13	1993	411,0	140,0	5.197,0	4.110,1
14	1994	405,0	153,0	5.602,0	4.263,1
15	1995	416,0	192,0	6.018,0	4.455,1
16	1996	330,0	276,0	6.348,0	4.731,1
17	1997	311,0	113,0	6.659,0	4.844,1
18	1998	829,0	569,0	7.488,0	5.413,1
19	1999	383,0	162,0	7.871,0	5.575,1

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

(*) Valores rellenos con la correlación realizada.

El siguiente gráfico, presenta los caudales acumulados y muestra el coeficiente de correlación obtenido.

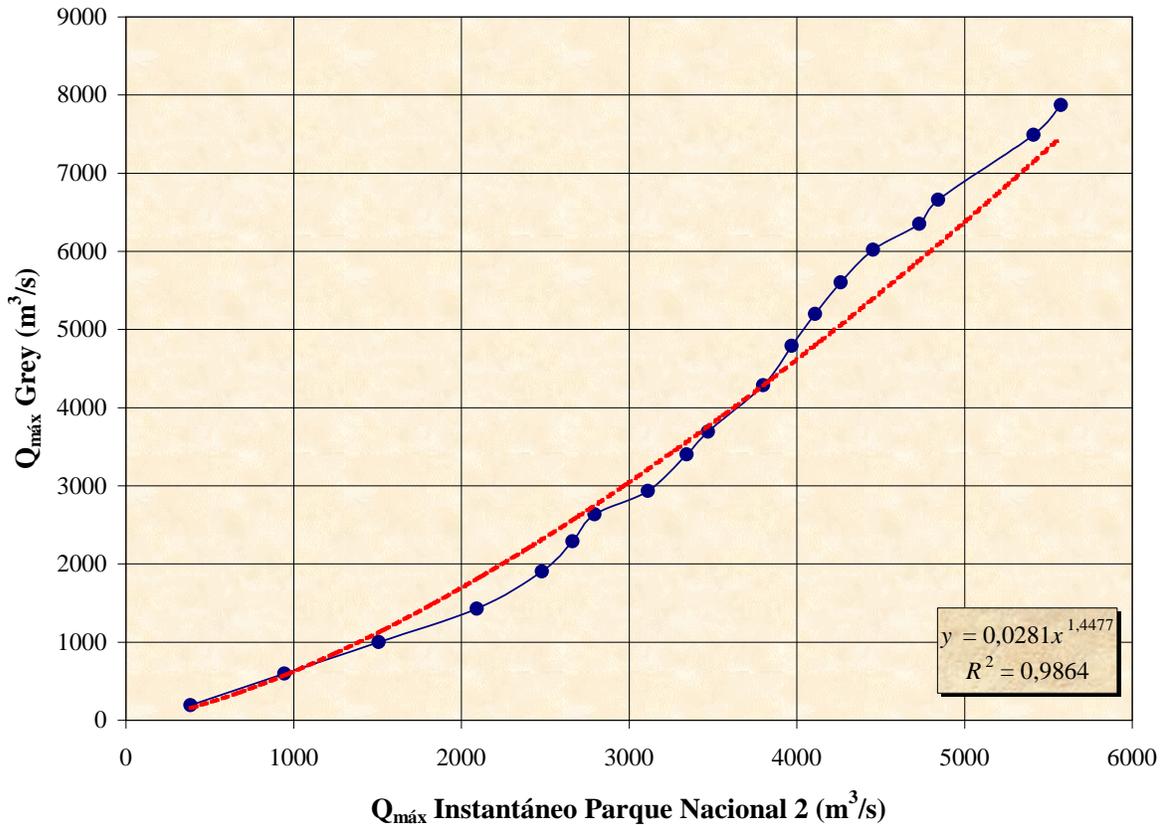


Figura 3.4. Gráfico de los caudales máximos instantáneos acumulados.
Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007.

De la figura anterior y de los antecedentes disponibles, se concluye lo siguiente:

- Dado el coeficiente de correlación obtenido es cercano a 1, es posible rellenar la estación Parque Nacional 2 y, al igual que en la estación Parque Nacional, corrobora la hipótesis inicial, que el derretimiento es la principal generadora de caudales.
- Además, si se observan los registros de ambas estaciones fluviométricas, se ve que los *peak* de caudales máximos instantáneos ocurren en los meses de verano, época donde la temperatura es mayor y derrite la nieve caída en el período de invierno.
- Basados en la evidencia obtenida, y corroborada en la correlación antes realizada, la estación Parque Nacional 2 puede ser rellenada con la correlación realizada, debido a que tienen un factor de correlación muy cercano a 1, lo que hace suponer que ambas estaciones tienen un comportamiento similar.

- En resumen, dado los resultados obtenidos en las dos correlaciones y las suposiciones planteadas, se concluye que las estaciones Lago Grey, Parque Nacional y Parque Nacional 2, tienen un comportamiento similar y una componente generadora de caudales común, que es el derretimiento de las nieves.

Posteriormente el estudio avanza con la determinación de los caudales de diseño en la zona de construcción del puente mediante el estudio de las relaciones entre el caudal pasante y los lagos existentes en el río Paine (Lago Nordenskjöld y Lago Pehoé), y su efecto en los caudales aguas abajo del río Paine. En la Tabla 3.13 se reportan los caudales de diseño para distintos periodos de retorno en la sección del río de interés.

Tabla 3.13. Caudales de diseño (m^3/s).

Puente	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}
Weber	881	1.043	1.299

Fuente: Ministerio Obras Públicas, 2007

La sección de Anexos continúa con un detallado estudio hidráulico que tiene por objeto, entre otros, el cálculo de las alturas normales, ejes hidráulicos y socavaciones en la zona de construcción del puente, los cuales, por responder a objetivos y a una escala de tiempo distinta a los considerados en el presente estudio, no serán revisados con más detalle en esta revisión de antecedentes. Adicionalmente el anexo 3 incluye en las secciones posteriores una profunda revisión de los componentes del medio Biótico, Medio Socioeconómico, Medio Construido, Uso de Suelo, Arqueología y Patrimonio, Paisaje, Áreas de Riesgo y Antecedentes de Tránsito, los cuales, por no ser relevantes para el presente proyecto, no serán descritos en esta revisión de antecedentes.

Para mayor información al respecto, revisar el informe referido al inicio de esta sección.

3.2 Recopilación de información cartográfica

Se cuenta con información oficial entregada por la Dirección General de Aguas (Oficina Central) en una *geodatabase* que contiene la siguiente información de interés:

Carta Base

- 1) Capa vectorial ("shapefile") de cursos de agua a nivel nacional con nombre "fuentes_nacional"
- 2) Capa vectorial ("shapefile") de cuerpos de agua a nivel nacional con nombre "Lagos_nacional"
- 3) Capa vectorial ("shapefile") de red vial a nivel nacional con nombre "Red_VialChile"
- 4) Capa vectorial ("shapefile") de límites administrativos con nombre "Limites_administrativos"

Además, se cuenta con información de áreas protegidas e inventario de glaciares (DGA) obtenidos desde el Ministerio de Medio Ambiente:

- 1) Capa vectorial ("shapefile") de áreas protegidas con nombre "WDPA_Chile"
- 2) Capa vectorial ("shapefile") de inventario de glaciares con nombre "Inv_Nac_Glaciares"

Una vez delimitada la zona de estudio, estas capas fueron utilizadas para generar los mapas contenidos en este informe. Se recalca que la capa de ríos proveniente de la DGA central no se encuentra con los nombres adecuados de los cursos de agua en la zona de estudio. Para esto, con información entregada por la contraparte, se modificó esta capa con los nombres y ubicaciones adecuados de los ríos "Las Chinas", "Baguales", "Vizcachas", "Zamora" y "Pingo".

3.3 Recopilación de información de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales

3.3.1 Información actual sobre derechos de aprovechamiento

Con fecha 5-11-2015 se realiza la consulta de solicitudes de derechos de agua para la provincia de Última Esperanza, en donde se ubica el área de estudio. El catastro completo cuenta con registro de 519 solicitudes las cuales se encuentran en estado de aprobado, denegado, desistido o pendiente.

Los datos a nivel provincial se encuentran en la Tabla 3.14, en esta se puede apreciar que una gran parte de las solicitudes aparecen como aprobadas, siendo denegadas alrededor de la mitad del número total de solicitudes otorgadas, siendo en su mayoría de carácter consuntivo.

Tabla 3.14. Estado de solicitudes de derecho de agua en la provincia de Última Esperanza.

Comuna	Total Comuna	Estado	Total Estado	Tipo	Total Tipo
Puerto Natales	322	Aprobada	203	Consuntivo	127
				No Consuntivo	76
		Denegada	112	No informado	2
				Consuntivo	89
				No Consuntivo	21
		Desistida	2	Consuntivo	1
				No Consuntivo	1
		Pendiente	5	Consuntivo	4
No Consuntivo	1				
Torres del Paine	183	Aprobada	92	Consuntivo	85
				No Consuntivo	7
		Denegada	83	Consuntivo	74
				No Consuntivo	9
		Desistida	2	Consuntivo	1
				No Consuntivo	1
		Pendiente	6	Consuntivo	5
				No Consuntivo	1
Otras Comunas	14	Aprobada	5	Consuntivo	5
		Denegada	7	No informado	1
				Consuntivo	6
		Pendiente	2	Consuntivo	2
Total general	519				

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA, 2015

En la Tabla 3.15 se muestra el caudal solicitado en litros por segundo, siendo para la provincia de un total de 2.833.185 l/s, de los cuales 1.234.721 l/s resultan aprobados.

Tabla 3.15. Caudal solicitado según estado y tipo de la solicitud.

Estado y Tipo de Solicitud	Caudal Solicitado (l/s)
Aprobada	1.234.721
Consuntivo	269.856
No Consuntivo	964.865
Denegada	1.570.784
Consuntivo	622.087
No Consuntivo	948.697
Desistida	26.259
Consuntivo	59
No Consuntivo	26.200
Pendiente	1.421
Consuntivo	221
No Consuntivo	1.200
<i>Total general</i>	<i>2.833.185</i>

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA, 2015

En base a la información de coordenadas obtenida desde el Catastro de Solicitudes, se generó un mapa de la zona de estudio en el que aparecen los estados de las solicitudes de derechos de aguas en el área (Figura 3.5). Como se puede observar, en la parte sur oeste de los lagos del Toro y Porteño, se encuentran concentrados los derechos aprobados, mientras que, en el desagüe del Lago del Toro al río Serrano, las solicitudes han sido denegadas.

Un especial énfasis se hace en analizar aquellos derechos de agua solicitados y otorgados en los límites del Parque Nacional Torres del Paine los cuales se muestran en la Tabla 3.16. Según este catastro, unos 23.288,15 l/s fueron aprobados y 1.736,75 l/s fueron denegados. Estos datos resultan interesantes debido a que, al tratarse de un área protegida, se espera un uso menos intenso del recurso, sin embargo, esto debe contrastarse con los datos que se puedan tener a futuro de disponibilidad de caudales en la zona y las tendencias de estos a futuro, para poder gestionar de mejor forma los derechos de agua en esta área protegida.

Tabla 3.16. Solicitudes en Parque Nacional Torres del Paine.

Estado y Tipo	Número de Solicitudes	Caudal Solicitado (l/s)
Aprobada	48	23.288,15
Consuntivo	47	17.288,15
No Consuntivo	1	6.000
Denegada	64	1.736,75
Consuntivo	59	800,75
No Consuntivo	5	936
Desistida	1	10
Consuntivo	1	10
Pendiente	5	330,3
Consuntivo	4	130,3
No Consuntivo	1	200
Total general	118	25.365,2

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA, 2015

Es importante hacer notar que la información respecto a los derechos de aprovechamiento no siempre es completa, faltando en algunos casos información respecto a las coordenadas de ubicación del derecho, lo que implica que el análisis territorial sólo puede hacerse para un porcentaje de las solicitudes y concesiones registradas. Esto significa que los mapas de derechos de agua y tablas mostradas a nivel de zona de estudio y parque nacional deban ser vistos

como una primera aproximación al análisis territorial de los derechos. En la Tabla 3.17 se presenta el porcentaje de derechos concedidos en la cuenca del río Serrano que cuenta con coordenadas de ubicación.

Tabla 3.17. Porcentaje de derechos con coordenadas geográficas para las subcuencas del río Serrano.

Subcuenca	% derechos concedidos con coordenadas de ubicación
Lago del Toro	93%
Lago Sarmiento	100%
Lagos Nordenskjöld y Pehoé y río Paine en Desembocadura	100%
Río de Las Chinas Entre Antes Junta con río Baguales y Lago del Toro	100%
Río Grey	100%
Río de Las Chinas en junta río Baguales	57%
Río Paine en desembocadura Lago Nordenskjöld	100%
Río Serrano entre Lago del Toro y desembocadura	100%
Río Tres Pasos	95%

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA, 2015

Adicionalmente se pudo diagnosticar que la información de las coordenadas existentes, a su vez, se encuentra proyectada en formato UTM pero en diferentes husos y elipsoides, lo cual hace que la tarea de ubicar esta información en mapas sea mucho más compleja. Se pudo identificar incongruencias en el huso indicado de algunas coordenadas, el cual no siempre corresponde al correcto, además de encontrarse en elipsoides no actualizados no utilizados de manera común en la actualidad. Como parte de este estudio, la información geográfica existente se convirtió a coordenadas geográficas en sistema sexagesimal con *Datum* WGS1984. Asimismo, para efectos de incorporación en el modelo WEAP de recursos hídricos, aquellos derechos concedidos que no presentasen información de coordenadas o que ésta fuese inconsistente, fueron asignado a las unidades de modelación utilizando otras referencias, tales como sub-subcuenca o el **campo del registro "Referencia a puntos conocidos de captación" reportados por los registros de la DGA.**

Un mapa del estado de los derechos de agua en la zona de estudio se presenta en la Figura 3.5. En este mapa se muestran derechos de agua concedidos, en trámite, denegados y desistidos, en los distintos cursos de agua, ya sean ríos principales, lagos o pequeños cauces (que en este caso no se muestran todos para no saturar la imagen).

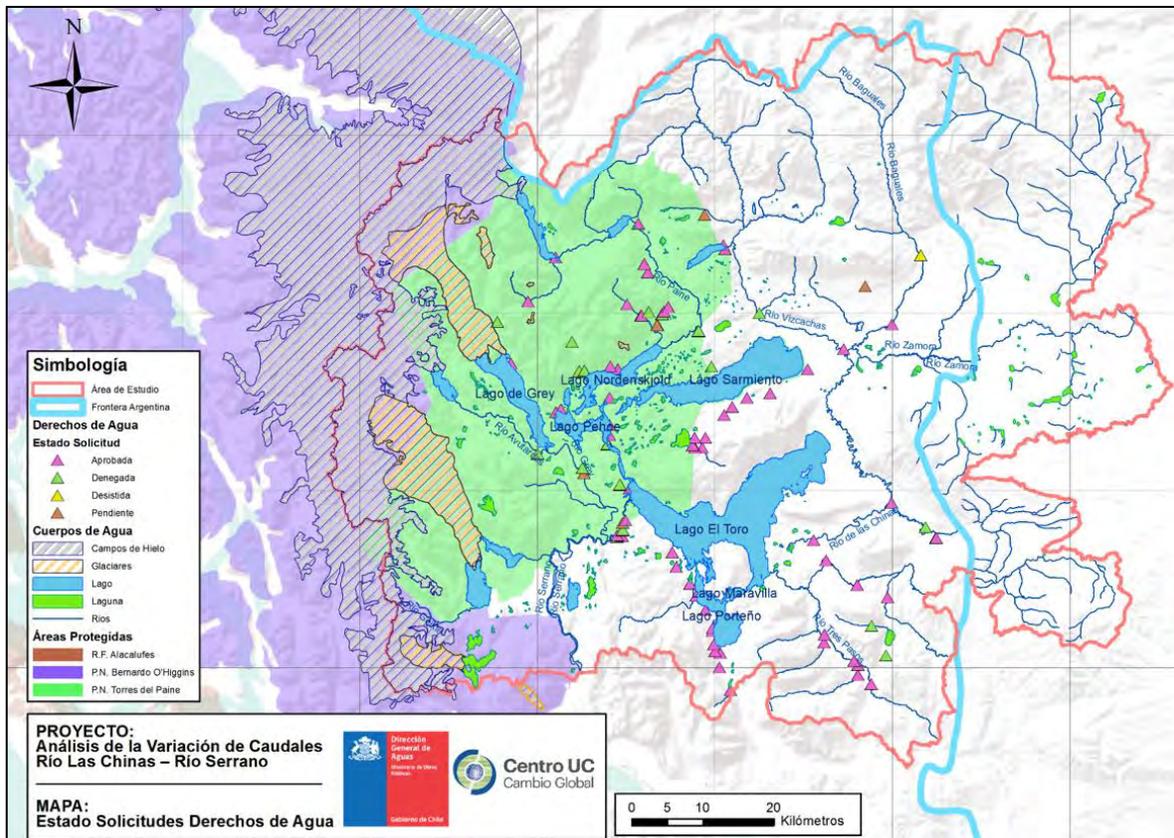


Figura 3.5. Estado de solicitudes de derechos de agua en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia en base a información DGA.

En lo que respecta a los derechos concedidos de la cuenca del río Serrano en general, es posible caracterizar el tipo de uso que se hace de los recursos superficiales, así como de las actividades involucradas.

En la Tabla 3.18 se presentan los derechos concedidos según subcuenca del río Serrano y tipo de derecho. Destaca el caudal de extracción consuntivo asociado a la subcuenca del Lago del Toro y el volumen de derechos no consuntivos en la subcuenca del río Tres Pasos.

Tabla 3.18. Derechos de agua concedidos promedio anual según tipo de derecho y subcuenca del río Serrano.

Sub-Cuenca	Consuntivo (l/s)	No Consuntivo (l/s)	Total general (l/s)
Lago del Toro	15.958		15.958
Lago Sarmiento	46		46
Lagos Nordenskjöld y Pehoé y río Paine en Desembocadura	289	251	539
Río de las Chinas Entre Antes Junta con río Baguales y Lago del Toro	150	99	249
Río Grey	2		2
Río de Las Chinas en junta río Baguales	1.815	90	1.905
Río Paine en desembocadura Lago Nordenskjöld	209		209
Río Serrano entre Lago del Toro y desembocadura	16		16
Río Tres Pasos	258	4.569	4.828
Total general	18.743	5.009	23.753

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

En lo que respecta al uso específico de estos derechos concedidos, existen dos usos principales explícitamente señalados en los registros: Bebida / Uso doméstico / Saneamiento y Riego. Lamentablemente, muchos registros (95% del total) no disponen de información explícita respecto al uso que se hace del recurso, sobre todo en aquellos no consuntivos, no pudiendo identificar y caracterizar de manera acabada estos y otros usos que se saben están presentes en la región, tales como Uso Minero, Uso Industrial, Piscicultura y Generación Hidroeléctrica.

En la Tabla 3.19 se presenta la distribución de derechos en la cuenca, según uso y subcuenca, en donde destacan las áreas del Lago del Toro, río de Las Chinas y río Tres Pasos como aquellos que presentan la mayor intensidad de uso de agua en la cuenca, siendo consistente con la ubicación de las principales actividades económicas presentes, tales como instalaciones turísticas, estancias ganaderas y agricultura y actividad piscícola.

Tabla 3.19. Derechos de agua concedidos según uso y subcuenca del río Serrano.

Sub Cuenca	Uso del Agua			
	Bebida / Uso Doméstico / Saneamiento (l/s)	Riego (l/s)	Uso ND* (l/s)	Total general (l/s)
Lago del Toro	5	272	15.682	15.958
Lago Sarmiento	46			46
Lagos Nordenskjöld y Pehoé y río Paine en Desembocadura	496	43		539
Río de las Chinas Entre Antes Junta con río Baguales y Lago del Toro	39		210	249
Río Grey	2			2
Río de Las Chinas en junta río Baguales			1.905	1.905
Río Paine en desembocadura Lago Nordenskjöld	5	204		209
Río Serrano entre Lago del Toro y desembocadura	16			16
Río Tres Pasos	33	15	4.779	4.828
Total general	643	533	22.576	23.753

* Uso No Definido

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

3.3.2 Escenarios futuros para derechos de aprovechamiento

Para efectos de este trabajo y considerando el interés de la autoridad en lo que respecta a la evolución de la demanda por el uso de los recursos disponibles en la cuenca hacia futuro, se plantearán algunos escenarios de desarrollo futuro.

Turismo

Según CONAF (2012), el parque nacional Torres del Paine ha tenido un fuerte aumento en el número de visitantes en el periodo 2001-2011, observándose un aumento del 92% en el periodo, resultando en una tasa de aumento anual en el número de visitantes de un 6,7% para ese periodo.

Utilizando este antecedente, es posible plantear un escenario en donde esta fuerte tasa de crecimiento en las visitas es directamente proporcional a la demanda por agua para uso como Bebida / Uso doméstico / Saneamiento por parte de la actual y futura infraestructura turística y residencial en la zona. Asimismo, y dada la alta tasa de crecimiento actual, se considera que esta se mantendrá por los próximos 10 años para luego disminuir a una tasa del 2% anual, considerando principalmente eventuales restricciones en la capacidad de carga del parque Torres del Paine.

Acuicultura

Según la Estrategia de Desarrollo Regional 2012-2020, la actividad acuícola debiese presentar importante desarrollo futuro en la región, especialmente en la provincia de Última Esperanza. Se estima una tasa de aumento cercana al 6% anual de los centros productores de salmónidos, los cuales son asociados al uso de derechos de agua no consuntivos en las primeras etapas del proceso de producción.

Agricultura y Ganadería

La provincia de Última Esperanza concentra 27,2% de las tierras de cultivo de la región. Dadas las características de suelo y clima, la actividad hortofrutícola está restringida a producción en invernaderos y cultivos como papa, avena y forrajeras, así como praderas destinadas a la ganadería. En este sentido, las mayores demandas de derechos de agua estarían asociadas a la mantención y

riego de praderas naturales y/o mejoradas, faenas ganaderas y en menor medida, producción hortofrutícola.

En base a estos antecedentes, y a la Estrategia de Desarrollo Regional 2012-2020, se espera un crecimiento de la demanda de recursos hídricos asociados principalmente al fomento del desarrollo de la actividad ganadera bovina en la provincia de Ultima Esperanza, iniciativas que buscan aumentar la productividad de praderas y la introducción y promoción de explotaciones de interés forestal y agro-forestal en la región. Para efectos de este estudio, y en base al crecimiento observado de la actividad y a las proyecciones y fomento de la actividad ganadera bovina en la provincia de Ultima Esperanza, se estima un crecimiento anual en la demanda asociada a derechos consuntivos para la provincia de un 1,1% anual, esto en base al crecimiento observado aproximado de un 12% en la actividad ganadera bovina observada en la década 1997-2007.

Construcción Escenarios Futuros

En base a estos antecedentes y a documentación disponible acerca del crecimiento de las actividades y usos presentes en la cuenca es posible generar escenarios de proyección de cambio futuro en la demanda de derechos de aprovechamiento. En primer lugar, se considera un escenario sin variación en el uso del derecho respecto a la condición actual. Adicionalmente se consideran escenarios en donde existe una evolución en el tiempo respecto al uso del derecho, los cuales presentan distintas tasas de crecimiento futuro. Entre estos escenarios que incluyen cambios, se considera en primer lugar el escenario BAU (abreviatura de *Bussiness As Usual*, "negocios como de costumbre" o "negocios como siempre", en inglés, comúnmente usado para definir escenarios que no mostrarían cambios significativos hacia el futuro comparados con los comportamientos o tendencias actuales), el cual mantiene una tasa de cambio observada hasta ahora según los distintos usos y actividades asociadas a los derechos de aprovechamiento considerados sin responder a alguna política de restricción o fomento al uso del recurso. Adicionalmente se consideran dos escenarios complementarios, en donde se asumen dos políticas y/o futuros distintos posibles. El primero de ellos considera una política de conservación general en la asignación futura de derechos, restringiendo la tasa de crecimiento de derechos en un 30% respecto a la tendencia observada o escenarios BAU. Asimismo, se incluye un escenario de uso intensivo en el uso del recurso, reflejado en un aumento en un 30% respecto al escenario BAU del uso del recurso.

La asignación de las tasas de cambio proyectadas según escenarios se realiza según los siguientes criterios:

- Escenario de Referencia:
 - No se consideran cambios en los derechos de aprovechamiento respecto al periodo de calibración del modelo.
- Escenario BAU:
 - Asignación de la tasa de crecimiento máxima según antecedentes y uso principal en caso que éste esté explícito y sea mayor al caudal de derechos sin definición de uso.
 - Asignación de la tasa de crecimiento promedio entre los usos en aquellas áreas en donde el total del caudal de derechos sin uso explícito es mayor a cualquier uso definido.
 - Para el caso de derechos no consuntivos, se plantea una tasa homogénea de un 6% anual, explicada principalmente por el crecimiento de la actividad de acuicultura en toda la zona de estudio.
- Escenario Conservador
 - Disminución de un 30% a la tasa de cambio respecto al Escenario BAU aplicable para el periodo 2015 – 2025. Luego se restringe la evolución del derecho a un 2% anual.
- Escenario Intensivo
 - Aumento en un 30% a la tasa de cambio respecto al Escenario BAU, sin restricciones a este crecimiento futuro.

Una situación particular se define en el caso de los derechos asociados al río Paine, dado que es en esta subcuenca donde se tiene mayor claridad respecto al uso y evolución futura respecto a los derechos, por lo que se plantea que para todos los escenarios existe una restricción, a partir del año 2025, al aumento de un 2% anual en los derechos asignados para todos los usos.

3.4 Recopilación información hidrometeorológica disponible en la zona estudio

En este apartado se detalla la información disponible sobre las redes de monitoreo de precipitación, temperatura y medición de caudales dentro del área de estudio. Esta información fue obtenida desde el portal de descargas de la Dirección General de Aguas desde donde se pueden obtener los datos de manera gratuita.

Por el momento, la base de datos descargada comprende los registros diarios entre los años 1950 y 2013, lo cual pretende actualizarse para la segunda versión de este informe.

3.4.1 Estaciones Meteorológicas

Precipitación

En la zona de estudio se encuentra disponible información para dieciséis estaciones con mediciones de precipitación, estando tres de ellas en carácter de suspendidas (Tabla 3.20). La mayor cantidad de registros se encuentran en las estaciones Torres del Paine y Cerro Castillo con una extensión de más de veinte años. Estos datos serán analizados en el capítulo 4 para saber la calidad de ellos y los posibles vacíos existentes.

La ubicación de estas estaciones dentro del área de estudio se encuentra graficada en la Figura 3.6. Como puede observarse, la zona a estudiar se encuentra bien cubierta a nivel espacial, pudiendo encontrarse estaciones en los principales cursos de agua a excepción del río Tres Pasos. Sin embargo, la extensión, calidad y utilidad de estos datos debe evaluarse para conocer su real aplicabilidad en la confección y calibración de modelos.

En el estudio "Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos" (DGA, 2010) citado anteriormente en la revisión de antecedentes, los datos de precipitación utilizados para la aplicación de las metodologías propuestas para la cuenca del río Serrano fueron obtenidos desde la estación Torres del Paine, por ser la de mayor extensión de registros y la con más meses completos.

Tabla 3.20. Estaciones con mediciones de precipitación en el área de estudio.

ID	Estación	Fuente	Rango Registros	Número Registros	Latitud	Longitud	Estado
1	Lago Dickson	DGA	12/1/2003; 9/30/2015	3.200	-50,82	-73,11	Vigente
2	Lago Paine	DGA	6/1/2009; 9/30/2015	1.700	-50,84	-72,90	Vigente
3	Laguna Azul	DGA	7/1/1997; 3/16/2003	1.363	-50,88	-72,73	Suspendida
4	Cerro Guido	DGA	1/1/1984; 9/30/2015	11.105	-50,90	-72,34	Vigente
5	Río Paine en Parque Nacional 2	DGA	2/16/2007; 9/30/2015	2.851	-50,97	-72,80	Vigente
6	Lago Sarmiento	DGA	3/1/1964; 9/30/2015	6.022	-51,01	-72,72	Vigente
7	Río Las Chinas en Cerro Guido	DGA	12/9/2004; 9/30/2015	3.385	-51,05	-72,52	Vigente
8	Lago Pehóé	DGA	3/1/1964; 8/31/2015	2.586	-51,08	-72,99	Vigente
9	Lago Grey	DGA	9/24/2011; 9/30/2015	1.370	-51,11	-73,13	Vigente
10	Glaciar Tindall	DGA	2/10/2011; 10/31/2014	321	-51,12	-73,28	Suspendida
11	Torres del Paine	DGA	5/1/1982; 9/30/2015	12.122	-51,18	-72,96	Vigente
12	Estancia Río Paine	DGA	5/1/1970; 12/31/1979	2.619	-51,24	-72,90	Suspendida
13	Cerro Castillo	DGA	2/1/1980; 9/30/2015	12.259	-51,26	-72,34	Vigente
14	Río Rincón en Ruta Y290	DGA	1/1/2010; 9/30/2015	1.506	-51,32	-72,83	Vigente
15	Río Serrano en Desembocadura	DGA	2/20/2007; 9/30/2015	2.567	-51,33	-73,11	Vigente
16	Glaciar Balmaceda	DGA	6/1/2012; 5/31/2014	91	-51,42	-73,10	Vigente

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA.

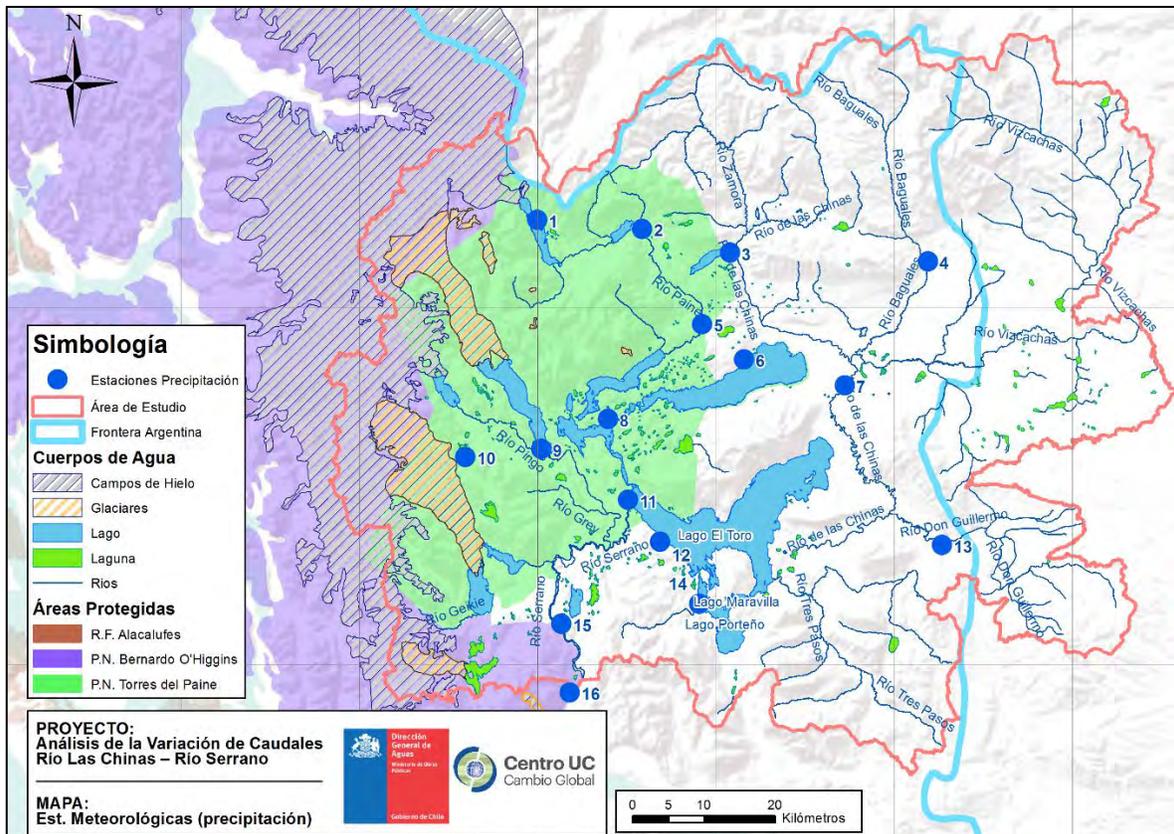


Figura 3.6. Estaciones con mediciones de precipitación en zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Temperatura

En la zona de estudio se encuentra disponible información para seis estaciones con mediciones de temperatura, estando una en carácter de suspendida (Tabla 3.21). La mayor cantidad de registros se encuentran en la estación Torres del Paine con una extensión de cincuenta años, datos que serán analizados en el capítulo 4. Cabe destacar, que estas seis estaciones presentan además mediciones de precipitación, por lo que el número de indicador es el mismo que las estaciones mostradas anteriormente.

La ubicación de las estaciones se encuentra en el mapa de la Figura 3.7. Como se puede observar, para esta variable no existe una buena cobertura de estaciones dentro de la zona de estudio, esto, junto a la instalación reciente de la mayor parte de las estaciones significa una deficiencia que deberá ser compensada de alguna forma para poder realizar los modelos que se proponen en este estudio.

Tabla 3.21. Estaciones con medición de temperatura en área de estudio.

ID	Estación	Fuente	Rango Registros	Número Registros	Latitud	Longitud	Estado
1	Lago Dickson	DGA	6/25/1999; 6/18/2005	1.517	-50,82	-73,11	Vigente
3	Laguna Azul	DGA	7/1/1997; 3/17/2003	845	-50,88	-72,73	Suspendida
4	Cerro Guido	DGA	12/1/1991; 2/28/2014	6.666	-50,90	-72,34	Vigente
7	Río Las Chinas En Cerro Guido	DGA	12/9/2004; 6/18/2015	1.480	-51,05	-72,52	Vigente
11	Torres del Paine	DGA	3/4/1964; 9/30/2015	16.097	-51,18	-72,96	Vigente
13	Cerro Castillo	DGA	2/1/1997; 5/1/2015	5.083	-51,26	-72,34	Vigente

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA.

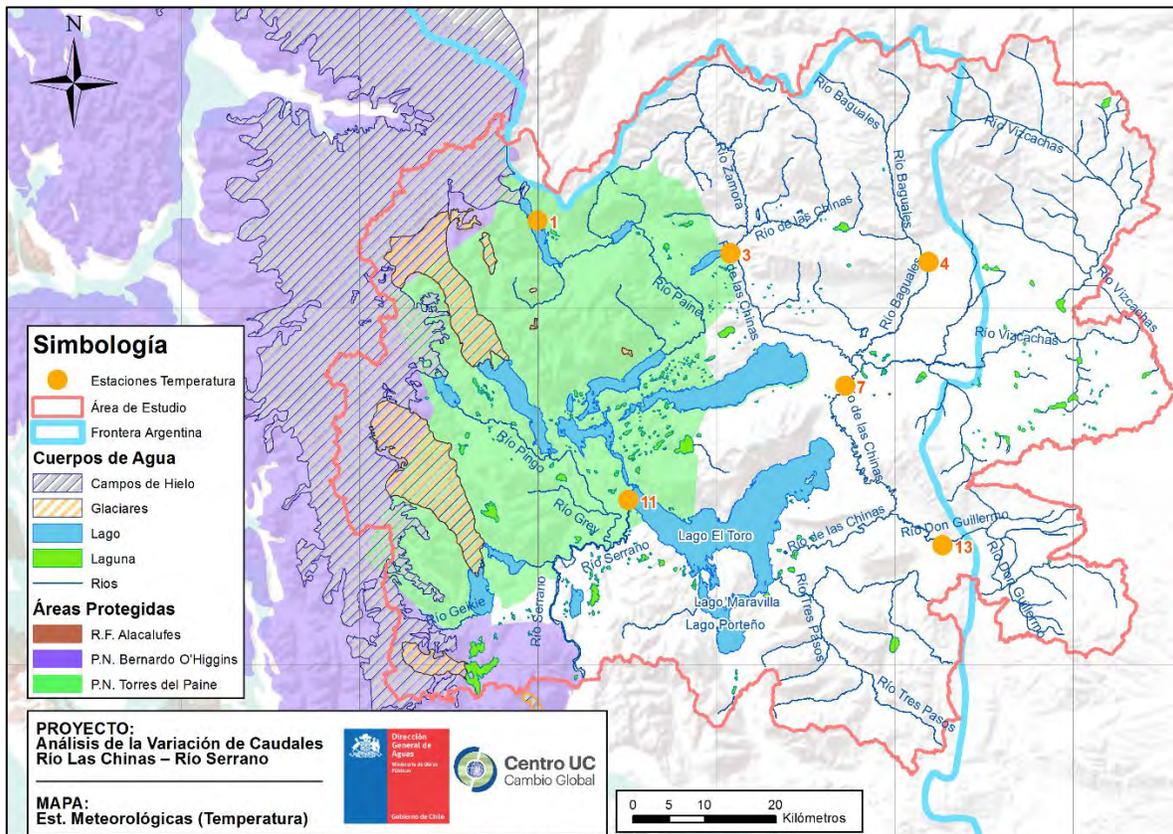


Figura 3.7. Estaciones con mediciones de temperatura en zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Estaciones Fluviométricas

Dentro de la zona de estudio se encuentra información disponible para un total de 18 estaciones fluviométricas con mediciones de caudales diarios en metros cúbicos por segundo, de estas estaciones, cinco se encuentran en carácter de suspendidas, lo cual se detalla en la Tabla 3.22.

Las estaciones con mayor extensión de registros son río Grey antes Junta Serrano, río Las Chinas en Cerro Guido, río Paine en Parque Nacional 2 y río Baguales en Cerro Guido. Cabe destacar, que para esta variable (caudal) existe una cantidad mayor, tanto en el número de estaciones como de registros medidos, que para las estaciones antes mostradas de precipitación y temperatura, lo cual resulta de mucha utilidad en la conformación de los modelos.

En el estudio "Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos" (DGA, 2010), citado anteriormente en la revisión de antecedentes, los datos de caudales utilizados para la aplicación de las metodologías propuestas para la cuenca del río Serrano fueron obtenidos desde las estaciones Río Serrano en Desembocadura, río Grey antes Junta río Serrano y río Serrano en Desagüe Lago Toro, cuyos datos se consideraron suficientes para la aplicación de los modelos.

La distribución espacial de las estaciones dentro del área a estudiar puede observarse en la Figura 3.8. De esta figura se desprende que si bien la mayoría de los ríos poseen una estación fluviométricas, existe una deficiencia de estas en el área norte, especialmente en los ríos Zamora y Baguales.

Al considerar los datos de coordenadas obtenidos desde la página web de la DGA, algunas estaciones fluviométricas no tienen concordancia espacial con los ríos en el área de estudio, por lo mismo, se ha hecho un ajuste de estas coordenadas basados en la visita a terreno (estaciones: 1(2), 9, 14), la entrega de datos referenciales por la contraparte (estaciones: 3, 4, 7), además de ajustar al río Don Guillermo la estación número seis.

Tabla 3.22. Estaciones con medición de caudal en área de estudio.

ID	Estación	Fuente	Rango Registros	Número Registros	Longitud	Latitud	Estado
1	RÍO PAINE EN PARQUE NACIONAL	DGA	10/28/1981; 1/31/1984	740	-72,79	-50,96	Suspendida
2	RÍO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2	DGA	2/26/1985; 1/31/2015	10.687	-72,80	-50,96	Vigente
3	RÍO BAGUALES EN CERRO GUIDO	DGA	7/29/1980; 5/31/2015	11.640	-72,48	-51,01	Vigente
4	RÍO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	DGA	8/27/1980; 2/28/2013	11.285	-72,50	-51,01	Vigente
5	RÍO LAS CHINAS EN PTE CARRETERO	DGA	10/28/1981; 3/11/1990	2.995	-72,45	-51,22	Suspendida
6	RÍO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	DGA	6/7/1980; 4/17/2013	8.780	-72,43	-51,22	Suspendida
7	RÍO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	DGA	6/8/1980; 5/31/2015	12.278	-72,52	-51,01	Vigente
8	RÍO LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO	DGA	3/16/1990; 4/23/2015	9.063	-72,52	-51,25	Vigente
9	RÍO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N 9	DGA	11/25/1981; 5/15/2015	11.652	-72,49	-51,45	Vigente
10	RÍO TRES PASOS EN DESAGUE LAGO TORO	DGA	1/13/2005; 8/17/2013	3.079	-72,62	-51,31	Vigente
11	RÍO RINCON	DGA	1/29/2010; 3/26/2015	1.589	-72,83	-51,32	Vigente
12	RÍO GREY ANTES JUNTA SERRANO	DGA	10/25/1981; 5/31/2015	11.894	-73,02	-51,19	Vigente
13	RÍO SERRANO EN DESEMBOCADURA	DGA	7/21/2011; 3/29/2015	784	-73,11	-51,34	Vigente
14	RÍO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO	DGA	12/22/2011; 3/29/2015	848	-72,96	-51,19	Vigente
15	RÍO SERRANO ANTES JUNTA GREY	DGA	10/17/2009; 10/7/2012	1.022	-72,99	-51,22	Suspendida
16	RÍO GEIKIE EN DESEMBOCADURA	DGA	12/15/1994; 3/27/2015	6.947	-73,21	-51,30	Vigente
17	RÍO TINDALL EN DESEMBOCADURA	DGA	5/22/1986; 5/31/2015	10.228	-73,16	-51,26	Vigente
18	RÍO CAÑADON 1 EN DESEMBOCADURA	DGA	4/29/1970; 3/13/1986	3.182	-73,28	-51,31	Suspendida

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA.

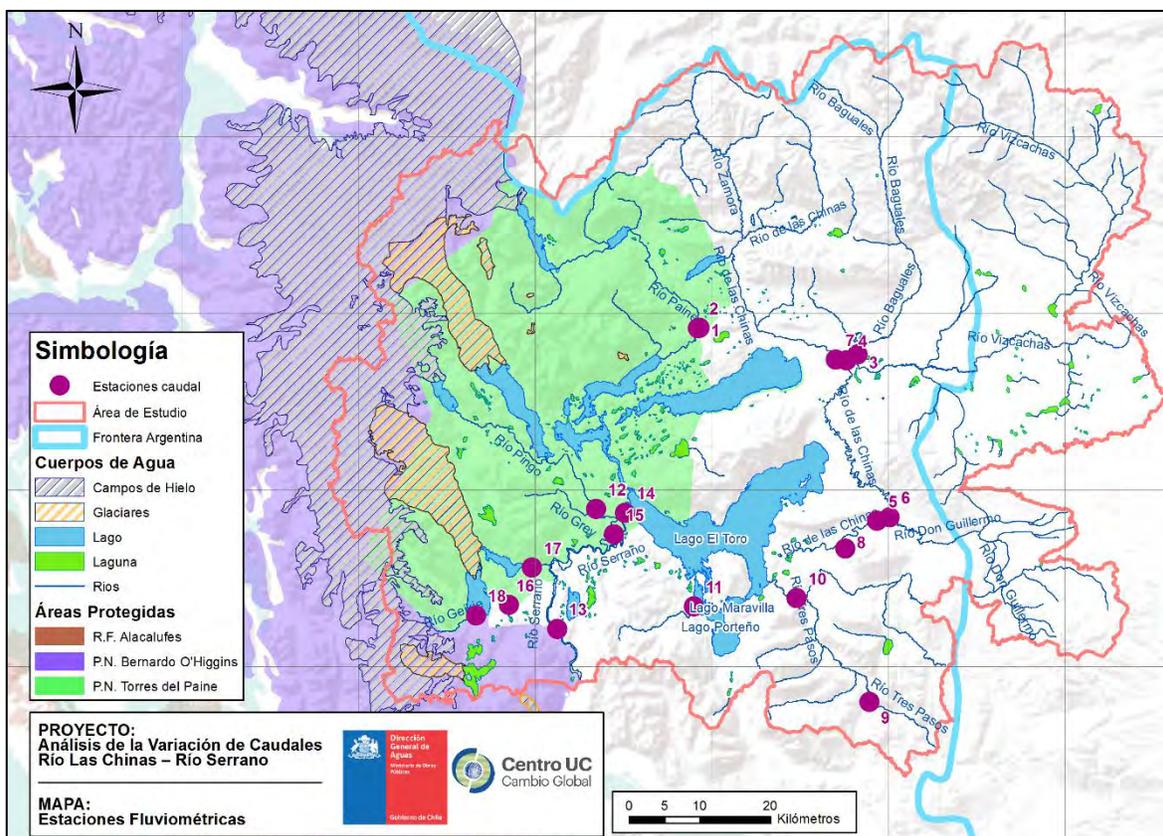


Figura 3.8. Estaciones con mediciones de caudal en zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Estaciones Nivel de Lagos

Es de importancia en este estudio conocer la información existente sobre mediciones de altura de agua en los lagos, para esto, se recopiló la información de las siguientes estaciones

Tabla 3.23. Estaciones con medición de altura de agua en lagos

Estación	Latitud	Longitud	Inicio Registros	Fin Registros	Número de Registros	Altura Media Medida (m)
Lago Grey	-51,1119	-73,1123	24-01-2011	31-10-2014	930	267,8
Lago Pehoé	-51,0740	-73,0927	03-02-2011	30-04-2015	1.250	313,8
Lago Nordenskjöld	-51,0623	-73,0094	01-01-2010	31-10-2014	910	362,1
Lago El Toro en Estancia Paine	-51,1746	-72,9535	01-02-1984	31-12-2015	9.941	663,1

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA.

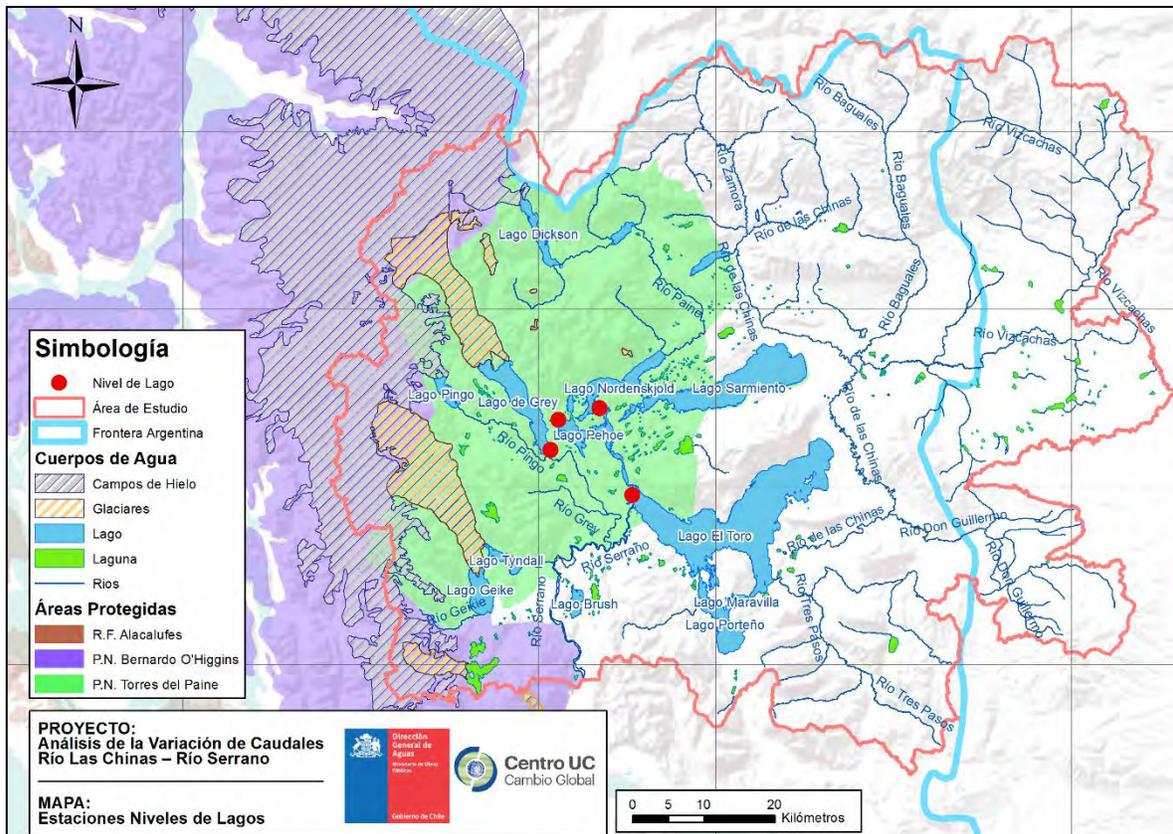


Figura 3.9. Estaciones con medición de nivel de altura de agua en lagos.
Fuente: Elaboración propia.

4 CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Análisis de lagunas de datos

Teniéndose los datos disponibles descargados para las estaciones señaladas con mediciones de precipitación, temperatura y caudales, es necesario realizar un análisis de estos para poder establecer su calidad, las lagunas de datos existentes y los periodos completos o incompletos que estos poseen.

En primer lugar, es necesario realizar una agregación mensual de los datos ya que es a esta escala a la que serán ingresados a los modelos a futuro. Para esto, se consideró como un mes completo aquel con un número igual o superior a los 24 registros. Si bien, en el estudio previo denominado "*Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos*" (DGA, 2010), el caudal medio mensual se calculó promediando sólo los años con información mensual con más de 20 días de información, en nuestro caso preferimos aumentar este límite debido al posterior relleno a realizar de estos datos, para lo cual es necesario contar con la mayor cantidad de información completa posible para asegurar un relleno fidedigno que dé cuenta de la verdadera fluctuación de los datos en el tiempo.

El análisis de lagunas de datos se realiza a escala anual, considerándose un año completo aquel con 12 meses completos según el criterio anterior. Un año parcialmente completo se consideró como aquel con a lo menos 10 meses completos, siendo todos aquellos con menos meses completos categorizados como incompletos. Aquellos años sin meses completos se consideraron como periodos suspendidos.

Este análisis se presenta en tablas gráficas para precipitación (Tabla 4.4), temperatura (Tabla 4.5) y caudales (Tabla 4.6), en donde la escala de negro a blanco representa la variación entre años suspendidos (negro) a años completos (blanco).

4.1.1 Estaciones Meteorológicas

De este análisis se desprende que para la variable precipitación, la estación con mayor número de registros de años completos es Torres del Paine (27), seguida por Cerro Castillo (21). Todas las demás estaciones presentan menos de 20 años completos lo cual no es satisfactorio para generar una base de datos que pueda

ser ingresada a modelos hidrológicos. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.4.

En la Tabla 4.1, se muestran los registros obtenidos desde la agregación mensual de los datos de la estación Torres del Paine, para la cual será necesario realizar un relleno de sólo 8 datos para completar los meses faltantes.

Tabla 4.1. Registros de precipitación (mm) estación Torres del Paine (agregado mensual).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	-	-	-	-	24,1	11,3	6,0	66,0	21,5	62,5	48,5	34,4
1983	37,5	28,5	47,7	89,9	66,5	31,0	32,8	24,3	42,6	49,5	86,8	16,6
1984	105,8	81,3	9,8	103,4	51,5	#	7,0	47,0	7,0	21,0	49,1	23,0
1985	43,5	101,8	135,6	120,6	94,9	27,5	88,0	86,0	95,0	24,5	19,0	12,5
1986	150,1	109,5	71,0	79,4	47,4	116,0	95,5	18,1	9,8	16,0	95,5	24,3
1987	62,5	95,5	13,5	35,5	22,0	65,6	48,5	24,0	13,5	43,0	51,5	21,0
1988	40,0	34,0	75,5	55,5	73,5	72,7	31,6	19,0	25,5	77,5	72,6	83,2
1989	116,5	36,0	16,0	105,6	94,5	123,4	46,5	39,0	65,2	36,0	31,7	166,5
1990	52,8	24,3	97,0	60,1	89,0	126,5	98,1	78,5	64,0	97,6	121,5	35,0
1991	21,0	62,0	190,3	161,0	35,8	58,0	38,5	83,3	48,8	22,5	39,0	45,5
1992	36,0	49,5	42,5	58,0	44,7	0,0	18,6	37,0	54,0	52,5	31,9	46,5
1993	26,2	74,7	134,2	76,5	18,5	0,0	9,5	67,0	58,5	101,1	60,0	72,0
1994	82,5	58,0	85,9	63,5	137,9	22,0	56,2	21,0	0,0	5,0	63,5	77,5
1995	24,5	53,5	60,0	84,5	80,5	28,5	71,0	#	64,5	11,0	31,5	42,0
1996	49,0	24,5	45,0	86,0	92,0	37,0	41,5	73,5	44,5	74,3	86,0	61,5
1997	110,2	65,5	44,0	80,5	29,0	15,7	59,0	74,5	68,2	59,0	34,0	24,5
1998	50,0	110,0	104,2	46,1	55,5	19,1	270,0	75,0	39,2	99,0	94,0	89,7
1999	67,0	87,0	29,5	55,0	76,7	0,0	107,0	66,6	75,2	34,5	13,0	127,5
2000	75,2	14,1	27,5	116,5	25,5	27,5	57,0	31,5	50,7	146,5	40,5	75,5
2001	76,0	158,8	123,3	70,5	67,5	39,5	4,0	69,9	75,0	13,4	71,3	80,0
2002	9,0	36,0	126,5	45,0	89,5	10,0	43,0	48,5	41,5	83,0	15,0	9,0
2003	50,5	79,0	133,5	32,5	119,0	30,5	85,0	32,5	31,5	143,6	59,5	19,5
2004	15,0	7,0	91,0	70,5	52,5	83,2	15,0	60,5	71,0	68,5	36,0	74,0
2005	53,0	12,0	90,0	211,5	45,5	95,0	11,5	40,5	85,1	102,0	50,5	32,5
2006	62,4	17,0	156,0	89,8	51,0	11,0	35,0	75,0	85,2	74,0	40,5	103,0
2007	95,0	60,7	83,3	108,0	35,0	111,5	34,0	84,0	13,0	97,5	45,0	48,0
2008	42,5	64,0	30,5	163,7	73,5	117,0	52,0	52,0	44,0	61,5	114,5	55,0
2009	144,0	68,5	91,0	136,1	206,0	32,8	16,6	44,6	65,5	53,0	63,0	43,8
2010	85,5	45,0	48,0	104,5	#	39,4	38,0	28,0	52,0	119,1	36,0	52,0
2011	61,1	77,2	69,5	115,5	131,6	68,6	36,0	55,0	63,5	48,5	30,2	19,3
2012	22,0	52,9	86,5	179,0	123,0	79,5	84,1	67,6	41,1	78,5	70,6	53,3

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	54,9	46,4	31,8	106,1	81,2	132,5	54,1	104,6	23,0	39,3	50,4	97,3
2014	60,5	18,1	116,1	#	64,4	96,2	40,5	61,7	53,3	26,3	58,9	74,3
2015	24,3	31,1	103,8	108,4	92,9	164,1	129,5	54,1	18,1	#	#	#

Fuente: Elaboración propia con datos DGA.

(-) Mes antes de entrada en vigencia

(#) Mes incompleto o vacío

Por su parte, para la variable temperatura sólo una estación cuenta con más de 20 años completos (Tabla 4.5), siendo Torres del Paine la única de toda la red dentro del área de estudio que podría ocuparse en un modelo hidrológico, posterior a ser rellenados sus datos vacíos en base a métodos estadísticos.

En la Tabla 4.2, se muestran los registros obtenidos desde la agregación mensual de los datos de temperatura media en la estación Torres del Paine, para la cual será necesario realizar un relleno completo de los años 1979-1980-1981 y de varios otros meses dentro del rango de mediciones. Por esta razón, y considerando que no existen más estaciones en el área de estudio con las cuales se pueda realizar este relleno, es que se recomienda: 1) Considerar 30 años como periodo de estudio (desde 1985 a 2015) o 2) Encontrar estaciones fuera del área de estudio con registros más completos.

Tabla 4.2. Registros de temperatura (°C) media en estación Torres del Paine (agregado mensual).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-	-	11,3	7,6	3,2	0,0	3,7	4,2	5,3	7,0	9,6	10,4
1965	9,4	10,0	10,2	5,9	3,4	4,2	3,5	3,9	5,1	7,1	10,7	9,8
1966	13,0	10,3	10,6	8,3	5,8	4,5	3,8	3,7	4,5	6,4	11,4	11,1
1967	10,8	11,3	10,2	8,9	3,7	3,4	2,2	1,5	6,4	7,7	8,5	10,5
1968	14,3	12,3	12,7	11,2	10,3	7,4	6,1	6,8	6,9	7,2	#	#
1969	#	#	#	8,9	4,1	4,2	0,8	4,4	5,0	7,1	10,8	12,8
1970	13,2	11,6	8,6	#	6,0	4,5	2,7	4,3	6,8	7,8	9,5	8,9
1971	8,5	9,8	9,7	7,4	4,2	3,8	0,0	2,7	3,0	3,4	3,2	3,7
1972	3,5	#	3,0	2,8	#	1,1	1,5	0,5	2,5	2,9	3,1	3,4
1973	3,3	3,0	#	#	#	0,3	0,5	2,5	3,4	2,9	3,1	3,4
1974	3,3	4,2	3,6	2,4	0,4	1,4	#	#	#	3,6	3,1	4,2
1975	4,0	3,6	4,4	2,7	2,0	1,8	1,9	1,8	#	#	#	#
1976	4,7	9,4	6,2	5,3	2,2	0,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,5	3,2
1977	4,2	4,8	3,8	3,5	#	#	#	1,4	#	#	#	#
1978	12,0	#	3,8	#	#	#	#	#	#	#	#	#
1979	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
1980	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1981	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
1982	#	#	#	#	#	-0,7	-0,6	2,7	4,7	8,5	11,4	12,8
1983	13,8	12,7	12,3	8,8	5,7	4,8	6,3	5,5	7,0	9,2	10,4	13,2
1984	12,0	11,5	10,3	9,1	1,5	-1,1	-0,9	1,8	7,1	8,5	11,3	13,3
1985	13,6	13,4	9,6	8,0	3,0	0,3	3,0	5,2	5,3	7,7	11,6	12,1
1986	12,0	10,3	9,2	5,7	2,9	1,8	2,1	3,9	5,4	8,1	8,7	11,7
1987	12,7	12,0	11,1	9,5	5,3	3,3	1,2	1,8	5,2	8,4	11,2	11,9
1988	12,3	13,3	11,6	7,3	6,2	4,4	-0,1	0,7	6,6	7,6	10,4	10,7
1989	11,8	13,1	9,5	7,8	5,6	1,4	1,9	2,4	5,3	9,4	11,3	10,6
1990	11,8	13,8	10,9	7,3	5,5	3,9	4,8	4,2	5,2	8,7	8,4	11,3
1991	12,5	12,6	10,1	8,9	5,9	1,9	0,1	4,0	5,0	#	#	#
1992	14,6	11,0	10,4	8,5	3,4	-1,4	0,5	3,9	5,4	6,9	11,1	11,6
1993	12,1	12,7	10,1	6,3	4,3	0,5	#	5,8	7,5	9,4	10,6	10,7
1994	13,4	11,1	10,1	7,9	2,5	0,8	0,7	4,3	3,9	6,9	10,8	11,6
1995	12,7	12,9	10,1	9,3	6,3	0,3	-1,2	#	6,4	8,1	10,3	13,0
1996	10,8	11,4	10,9	7,6	7,7	3,8	3,2	3,8	7,9	7,8	9,7	12,1
1997	11,9	11,2	10,0	#	3,1	1,7	0,1	4,5	5,5	7,6	9,9	11,3
1998	12,2	13,5	11,2	7,4	3,7	3,5	5,1	5,8	5,0	8,4	9,9	10,6
1999	12,4	11,4	10,0	8,2	5,5	1,3	2,7	4,3	4,9	7,6	11,2	10,9
2000	11,9	10,9	9,9	8,5	4,8	1,2	1,4	4,6	1,9	7,3	9,0	9,0
2001	12,0	10,8	9,1	8,4	2,4	2,0	-2,2	2,8	6,5	7,9	#	12,1
2002	12,2	11,9	7,4	7,1	1,4	-0,2	2,1	2,8	6,2	7,0	9,1	12,8
2003	12,5	12,9	10,7	7,6	6,8	1,1	7,0	4,7	5,7	7,1	8,7	11,4
2004	13,9	15,1	11,2	8,1	5,7	4,8	1,8	4,8	6,4	8,3	11,0	11,7
2005	12,5	15,0	10,4	7,9	2,8	0,2	2,2	3,9	6,8	#	9,7	12,2
2006	13,2	13,1	10,8	7,7	5,9	0,0	1,8	3,0	5,6	#	#	10,8
2007	12,8	#	10,1	7,9	1,7	2,8	2,6	4,0	5,7	7,3	9,7	12,3
2008	14,1	14,9	13,2	7,8	5,2	2,3	2,3	2,7	7,4	9,4	9,4	13,1
2009	12,5	12,4	10,6	7,9	5,4	5,3	3,6	4,0	7,1	6,7	6,6	10,8
2010	10,2	#	11,1	8,5	7,2	#	4,1	5,2	7,2	8,8	9,7	9,9
2011	12,8	13,1	10,5	9,4	7,2	3,4	2,7	2,4	5,8	#	10,5	13,7
2012	14,2	10,6	12,4	7,5	3,9	2,9	4,5	5,7	7,3	8,9	10,4	11,0
2013	14,4	13,4	10,8	9,9	6,4	5,8	6,1	3,1	5,4	9,2	9,5	11,1
2014	10,7	12,0	9,5	7,1	5,1	1,9	2,5	#	5,8	8,4	10,2	9,5
2015	12,4	13,1	11,4	7,5	5,5	4,9	3,3	2,4	5,9	#	#	#

Fuente: Elaboración propia con datos DGA.

(-) Mes antes de entrada en vigencia

(#) Mes incompleto o vacío

4.1.2 Estaciones Fluviométricas

Las estaciones con registros de mediciones de caudales poseen información más completa en comparación a las estaciones meteorológicas. De ellas, cuatro poseen 20 o más años completos y existen otras cinco con entre 10 y 20 años completos las cuales podrían utilizarse para realizar un relleno de datos.

La estación con mayor cantidad de registros es río Baguales en Cerro Guido con 25 años con registro completo, teniendo 19 meses por ser rellenos dentro de su periodo de operación. Los datos de caudales medios mensuales en m^3/s medidos en esta estación se encuentran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Caudales medios mensuales (m³/s) medidos en estación río Baguales en Cerro Guido.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,1	5,5	6,5	6,3
1981	2,8	1,9	2,1	1,4	1,5	3,2	2,6	1,8	1,4	5,4	4,4	3,1
1982	1,2	0,7	0,8	1,4	1,3	1,7	3,2	3,2	1,7	3,9	8,0	1,9
1983	1,3	0,8	1,7	1,4	1,2	1,1	1,7	0,9	1,8	3,8	5,9	2,7
1984	1,2	1,0	0,8	1,4	2,2	#	#	#	#	5,5	7,1	3,3
1985	2,0	1,4	2,9	4,8	2,2	1,9	3,6	2,1	2,3	7,7	7,7	3,4
1986	1,3	#	#	1,6	1,6	2,4	3,4	1,4	4,8	10,1	8,0	6,2
1987	2,6	2,6	1,7	1,1	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	6,1	6,0	2,2
1988	1,0	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	1,6	0,6	1,6	4,6	7,1	3,2
1989	2,9	1,3	0,7	1,2	2,0	1,8	1,5	0,9	2,0	7,6	8,3	4,3
1990	1,8	#	1,5	1,6	1,5	1,8	1,6	1,1	2,0	9,0	14,2	10,0
1991	3,7	1,7	2,7	4,2	1,4	0,9	1,6	2,3	3,0	5,9	9,3	3,5
1992	2,6	1,6	2,2	1,6	1,6	2,4	2,9	2,6	1,7	4,4	11,8	7,3
1993	1,9	1,4	2,0	2,0	1,5	#	#	#	1,8	3,8	1,5	1,0
1994	0,7	0,8	1,4	1,2	1,2	2,0	2,4	1,8	0,7	2,4	9,3	4,9
1995	1,6	0,8	1,3	1,8	1,9	1,9	2,4	3,2	3,2	15,0	11,5	4,5
1996	1,7	1,3	1,2	#	#	1,6	1,6	1,1	2,2	3,9	4,0	3,3
1997	2,6	1,9	1,0	1,9	1,9	2,3	2,0	2,6	0,9	3,6	5,0	2,6
1998	1,4	2,5	5,2	2,1	1,6	1,3	4,0	1,6	1,8	7,9	15,3	8,6
1999	4,4	2,2	1,4	1,4	1,5	1,6	2,5	1,7	1,6	9,1	4,3	1,9
2000	0,9	0,6	1,0	1,2	1,6	1,0	2,3	1,3	0,6	7,6	14,5	9,2
2001	5,2	3,8	3,0	2,1	1,7	1,5	2,5	5,5	3,9	6,2	4,4	2,6
2002	0,9	0,5	2,2	2,5	1,7	1,4	2,2	2,5	5,0	3,0	5,1	5,7
2003	1,2	0,7	3,6	1,6	2,0	1,6	1,8	1,9	1,5	5,0	8,2	4,7
2004	2,7	1,0	1,1	1,1	3,1	1,2	1,3	2,3	2,0	3,3	7,6	1,8
2005	0,7	0,3	0,7	1,1	3,3	1,2	2,7	1,3	3,1	5,7	8,3	5,0
2006	2,2	0,8	2,0	3,2	1,8	1,3	2,3	#	#	4,2	4,9	2,1
2007	3,1	1,7	1,5	1,2	1,6	1,8	1,1	0,9	2,1	4,8	3,8	2,6
2008	1,0	0,7	0,7	2,2	1,8	1,2	2,0	1,6	2,7	6,8	11,0	9,3
2009	3,1	1,9	1,3	4,1	2,9	2,8	1,6	1,3	1,9	3,4	4,4	8,0
2010	3,0	2,6	1,4	1,4	3,9	1,8	2,6	1,2	2,0	7,0	8,2	4,5
2011	2,6	#	1,1	4,2	6,0	2,5	2,0	2,2	#	#	8,2	4,6
2012	1,6	1,1	3,1	2,3	1,9	2,5	3,2	5,4	3,8	6,5	11,0	10,3
2013	6,5	2,4	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2014	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2015	#	#	#	#	3,7	#	#	#	#	#	#	#

Fuente: Elaboración propia con datos DGA.

(-) Mes antes de entrada en vigencia

(#) Mes incompleto o vacío

En la Tabla 4.4, Tabla 4.5y Tabla 4.6, se muestran los años con registro de precipitación, temperatura y caudal. Las celdas se colorean de color blanco para años con registro completo (C); en gris claro, con datos parciales (P); en gris oscuro, con años incompletos (I) y sin color, los años sin datos. Al final de cada tabla, se muestran los años con registro completo para cada estación.

Tabla 4.4. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de precipitación en área de estudio.

ESTACIÓN	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	años completos	
LAGO DICKSON																								I	I	I		P	I	P	I	C	C	C	P	I	3	
LAGO PAINE																															I	I	P	P	I	C	I	1
LAGUNA AZUL																			I	I	I	I	I	I	I												0	
CERRO GUIDO					C	C	P	P	I	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	P	P	C	P	P	C	C	C	P	P	C	C	P	P	C	I	19	
RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2																												P	C	C	I	I	P	C	C	I	4	
LAGO SARMIENTO																															I	P	I	P	C	I	9	
RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO																										P		P	I	C	C	C	C	C	C	I	6	
LAGO PEHOE																																P	C	I	C	I	2	
LAGO GREY																																I	P	P	C	I	1	
GLACIAR TINDALL																																I	I	I	I	I	0	
TORRES DEL PAINE			I	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	P	I	28
ESTANCIA RIO PAINE																																						5
CERRO CASTILLO	P	P	C	C	C	C	C	P	I	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	I	I	C	P	P	P	P	C	C	C	I	C	C	C	P	C	I	22	
RIO RINCON EN RUTA Y290																																	I	I	I	I	I	0
RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA																													I	I	P	I	P	P	C	P	I	1
GLACIAR BALMACEDA																																				I	I	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de temperatura en área de estudio.

ESTACIÓN	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	años completos		
LAGO DICKSON																																						0	
LAGUNA AZUL																																							0
CERRO GUIDO													I	I	C	P	P	C	C	P	I	I	P	C	P	P	C	P	P	I	P	P	I	I	I	I	5		
RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO																																		I	P	C	C	I	2
TORRES DEL PAINE			I	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	P	C	P	C	P	C	C	C	P	C	C	C	P	C	P	C	C	P	P	C	C	C	P	I	29	
CERRO CASTILLO																			I	I	I	I	C	I	P	P	I	C	C	P	I	P	I	I	P	I	I	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6. Análisis de años completos para estaciones con mediciones de caudales en área de estudio.

ESTACIÓN	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	años completos	
RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL		I	I	P	I																																0	
RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2						I	C	P	C	P	C	I	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	P	C	P	C	I		22	
RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO	I	C	C	C	I	C	P	C	C	C	P	C	C	I	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	I	C	I	I		25
RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	I	I	C	I	P	P	I	C	C	C	P	I	C	C	C	P	C	C	P	P	C	P	C	C	C	C	I	C	C	C	C	I	C	I			19	
RIO LAS CHINAS EN PTE CARRETERO		I	C	C	C	P	C	C	C	P	I																										6	
RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	I	I	I	I	I		I	I	I	P	P	I	C	I	I	I	I	C	I	I	P	C	C	C	C	C	P	C	I	I	C	I	C	I			9	
RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	I	I	P	C	I	P	I	P	P	C	P	C	C	C	C	C	C	C	P	P	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	I	22	
RIO LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO											I	P	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	P	C	P	C	I	19
RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N 9		I	P	C	I	P	P	C	C	I	C	C	P	P	P	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	P	C	C	I	21
RIO TRES PASOS EN DESAGUE LAGO TORO																										P	P	C	C	P	C	I	C	I		4		
RIO RINCON																														P	C	C	P	I	I		2	
RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO		I	I	C	P	C	C	C	P	P	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	I	C	P	C	P	C	C	C	P	C	C	I	I		23	
RIO GEIKIE EN DESEMBOCADURA																																I	I	I	I		0	
RIO TINDALL EN DESEMBOCADURA																																C	P	I	I		1	
RIO CAADON 1 EN DESEMBOCADURA																														I	P	C	I			1		
RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA																P	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	I	I	C	P	P	P	P	C	C	I	I	11
RIO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO							I	I	C	C	C	P	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	I	P	C	P	C	C	P	C	I	C	C	P	I		19
RIO SERRANO ANTES JUNTA GREY	I	I	C	P	C	C	I																														3	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Análisis a nivel espacial

Es importante conocer la ubicación de las estaciones con mayor cantidad de datos dentro de la zona de estudio debido a que de este modo se puede tener más claro qué zonas presentan los principales vacíos, y por lo tanto, en qué áreas deberá tratarse con mayor cuidado el relleno de datos.

En la Figura 4.1 se muestra la distribución de las estaciones y el rango de años completos que estas tienen. Como puede apreciarse, la variable mejor representada es el caudal, encontrándose al menos siete estaciones con un registro suficiente para poder ser rellenado mínimamente y así ser incluidos sus datos dentro de modelos hidrológicos.

Precipitación y temperatura presentan un déficit de estaciones con una gran cantidad de registros, en especial, en la zona norte y oeste, cerca de Campos de Hielo. Las isoyetas recopiladas del Balance Hídrico de la DGA (1987) presentan cambios abruptos entre Campos de Hielo y la zona en donde se ubican los lagos (ver Figura 2.1), y es justamente en esta área en donde no existen estaciones con registros representativos de la climatología del lugar. El relleno de estos datos, será por lo tanto, mucho más difícil y deberá presentarse un método adecuado a esta particularidad de ser necesario.

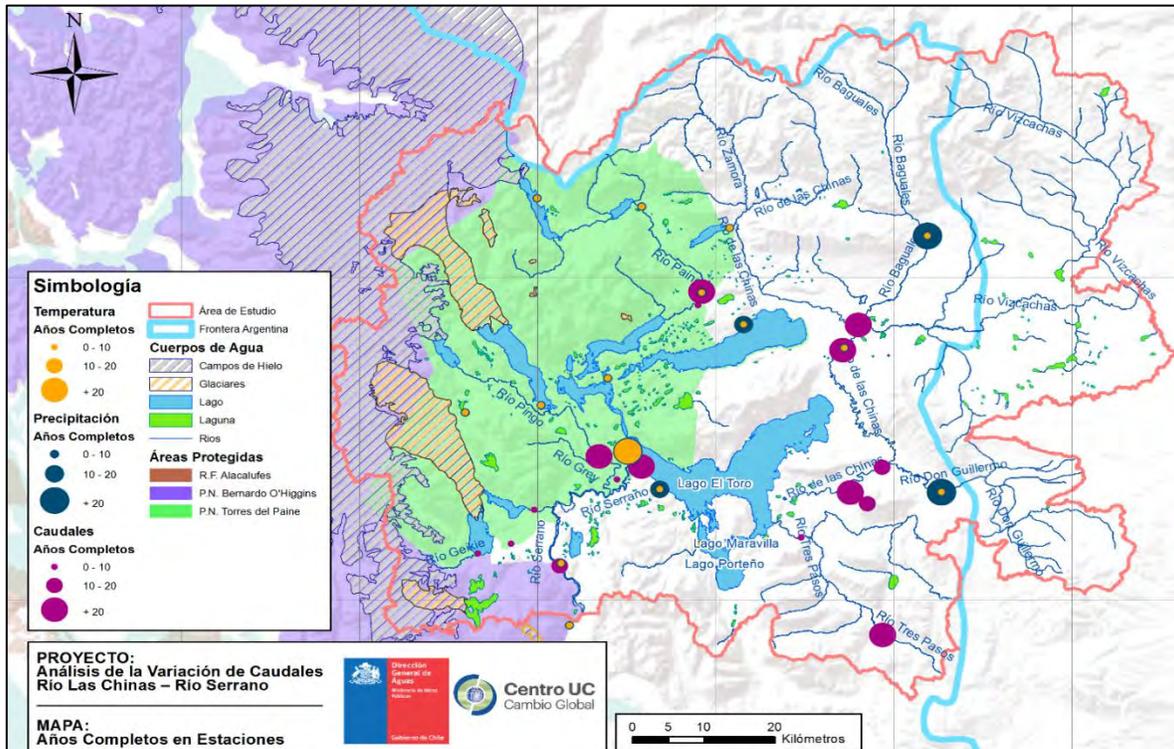


Figura 4.1. Análisis de estaciones con años completos en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Relleno de datos

4.2.1 Revisión de estaciones para relleno de datos

En vista de la baja cantidad de estaciones dentro del área de estudio que cuentan con la extensión adecuada de registros, es necesario buscar algunas otras fuera de esta que, por su extensión de datos superior, su climatología similar o cercanía con los datos a rellenar, sean buenas candidatas para generar un modelo de estimación lineal basado en correlaciones para poder rellenar los meses necesarios para completar los registros dentro de la zona de estudio.

Es por este motivo que se revisó la información de estaciones ubicadas en las regiones chilenas de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y Antártica Chilena, además de las de las ubicadas en la provincia argentina de Santa Cruz con el fin de explorar posibles estaciones que puedan servir durante el proceso de relleno.

Para las estaciones en el territorio nacional, se consideraron otras fuentes como estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Para seleccionar aquellas con mayor extensión de datos, se prefirió aquellas con más de 15.000 registros diarios (unos 41 años completos).

Las estaciones meteorológicas encontradas fueron:

Tabla 4.7. Listado complementado con estaciones encontradas fuera del área de estudio.

Estación	Variable	Latitud	Longitud	Fuente	Rango Registros	Número Registros
Guardia Marina Zañartu Pto Williams Ad	Precipitación	-54,93	-67,61	DMC	1959-08-01 , 2013-12-31	18.720
Carlos Ibáñez Punta Arenas Ap	Precipitación	-53,00	-70,84	DMC	1950-02-01 , 2013-12-31	22.611
Lord Cochrane Ad	Precipitación	-47,24	-72,58	DMC	1969-12-31 , 2013-12-31	15.694
Chile Chico Ad	Precipitación	-46,54	-71,71	DMC	1960-01-01 , 2013-12-31	19.183
Balmaceda Ad	Precipitación	-45,91	-71,70	DMC	1958-01-01 , 2013-12-31	20.454
Teniente Vidal Coyhaique Ad	Precipitación	-45,59	-72,11	DMC	1958-04-01 , 2013-12-31	20.272
Puerto Aysén Ad	Precipitación	-45,40	-72,66	DMC	1950-01-01 , 2013-12-30	21.518
PUERTO CISNES	Precipitación	-44,73	-72,68	DGA	1955-12-21 , 2013-12-31	17.093
Carlos Ibáñez Punta Arenas Ap	Temperatura	-53,00	-70,84	DMC	1958-01-01 ; 2013-12-31	20.407

Estación	Variable	Latitud	Longitud	Fuente	Rango Registros	Número Registros
TORRES DEL PAINE	Temperatura	-51,18	-72,96	DGA	1964-03-04 ; 2013-12-31	15.208
Lord Cochrane Ad	Temperatura	-47,24	-72,58	DMC	1970-01-01 ; 2013-12-31	15.354
Chile Chico Ad	Temperatura	-46,54	-71,71	DMC	1960-01-01 ; 2013-12-31	18.566
Balmaceda Ad	Temperatura	-45,91	-71,70	DMC	1958-01-01 ; 2013-12-31	20.447
Teniente Vidal Coyhaique Ad	Temperatura	-45,59	-72,11	DMC	1960-01-01 ; 2013-12-31	19.560
Puerto Aysén Ad	Temperatura	-45,40	-72,66	DMC	1950-01-01 ; 2013-12-31	19.636

Fuente: Elaboración propia con datos DMC.

En el caso de la provincia argentina de Santa Cruz, se buscaron datos de estaciones desde el portal de la Base de Datos Hidrológica Integrada (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/>). Finalmente estos datos no fueron utilizados ya que no contenían series de tiempo lo suficientemente largas para ser usadas en el presente proyecto o debido a que no entregaban información de utilidad para el modelo debido a su ubicación.

4.2.2 Metodología de relleno de datos

La metodología utilizada para el relleno de datos es el método de regresión lineal simple entre estaciones. Es decir, buscar relaciones lineales entre la estación con datos faltantes a rellenar y otra estación con suficientes datos que puedan servir para establecer un modelo de regresión que permita estimar los valores de la primera.

En primer lugar, se genera la matriz de correlaciones entre todas las estaciones seleccionadas, usando las series de tiempo mensuales disponibles. De esta manera, para cada estación se obtiene un ranking ordenado entre las estaciones con mayor a las con menor correlación.

Luego, se construyen las relaciones lineales para todas las estaciones entre sí y se obtiene como resultado un modelo de regresión lineal para cada estación con el resto de las estaciones, donde α_{ij} y β_{ij} son los parámetros de la regresión lineal entre la estación j (variable independiente) y la estación i (variable dependiente, estación a rellenar):

$$X_{i,t} = \alpha_{ij} * X_{j,t} + \beta_{ij}$$

Ecuación 4.1. Modelo de regresión lineal para relleno de datos

Para el relleno de la estación i , se busca la estación j con mayor correlación a partir de la matriz de correlaciones y si esa estación tiene datos en el mes faltante de la estación a rellenar, se aplica la ecuación lineal de relleno. El relleno se realiza sólo para las posiciones en las que se encuentra un dato observado en la estación de la variable independiente. Si no se encuentran datos en una fecha en particular, se consideran las siguientes estaciones en orden decreciente de correlación. Para el caso del área de estudio en donde la variabilidad entre las estaciones es muy grande, se decidió considerar correlaciones mayores a 0,7, sin embargo, algunos meses para los que no se consiguieron correlaciones superiores fueron rellenados con correlaciones hasta 0,5.

Si bien este método logra estimar adecuadamente el valor buscado para las variables utilizadas, no explica toda la varianza de la serie sino solamente una porción de ella. Esto genera series rellenas con menores valores de variabilidad que en la realidad, pero al mismo tiempo es lo suficientemente simple para ser usado con todas las estaciones de la zona de estudio al mismo tiempo. Para futuros estudios de actualización del modelo de balance hídrico, se podría mejorar la metodología agregando factores estocásticos a la regresión lineal según métodos de estadística de series de tiempo, como pueden ser modelos autorregresivos, modelos multivariados, etc. que aportan en generar series con la variabilidad original de las variables medidas.

Para efectos de este informe, se detallará el relleno de series de caudales puesto que estas son fuente de información principal para realizar el modelo de balance hídrico. Las series de temperatura y precipitación son rellenas con este mismo método y pueden encontrarse las tablas resultantes en los anexos 10.3 y 10.4.

4.2.2.1 Relleno de Caudales

Las estaciones con medición de caudales a considerar en este estudio y que deberán ser rellenados sus meses vacíos son las siguientes:

Tabla 4.8. Estaciones a considerar en el estudio.

ESTACION	DATOS ORIGINALES	DATOS A RELLENAR	TOTAL
Río Baguales en Cerro Guido	375	44	419
Río Chorrillos Tres Pasos Ruta N 9	373	46	419
Río Don Guillermo en Cerro Castillo	272	147	419
Río Grey Antes Junta Serrano	382	37	419
Río Las Chinas Antes Desagüe Del Toro	293	126	419
Río Las Chinas en Cerro Guido	394	25	419
Río Paine en Parque Nacional 2	346	73	419
Río Rincón	51	368	419
Río Serrano en Desagüe Lago Del Toro	329	90	419
Río Vizcachas en Cerro Guido	361	58	419
Río Tres Pasos en Desagüe Lago El Toro	97	322	419

Fuente: Elaboración propia.

Como prueba, se consideran todas las estaciones de las regiones de Aysén y Magallanes para realizar la matriz de correlaciones y el relleno de datos. Los resultados encontrados presentaron variabilidades muy altas en las series de errores calculados, esto puede ser debido a que en la región XI existen ríos mucho más caudalosos (por ejemplo río Baker) los cuales aportan al aumento de la dispersión.

Para este efecto entonces, se consideraron sólo las estaciones presentes en la región de Magallanes para realizar la matriz de correlaciones. Las estaciones utilizadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.9. Estaciones utilizadas en la matriz de correlación para el proceso de relleno.

ESTACIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA FIN	REGISTROS
Río Robalo en Puerto Williams	12/2/2004	6/28/2013	3.128
Río Rasmussen en Frontera Estancia Vicuña	1/21/2004	11/19/2013	3.510
Río Catalina en Pampa Guanacos	9/26/2007	10/29/2013	750
Río Grande en Tierra Del Fuego	5/12/1981	9/24/2013	11.247
Río Herminita en Ruta Y 895	1/12/2005	9/24/2013	3.094
Río Chico en Ruta Y 895	1/11/2005	10/29/2013	3.070
Río San Martín en San Sebastián	4/25/2006	9/24/2013	2.665
Río Cullen en Frontera	1/14/2005	9/23/2013	3.158
Río Azopardo en Desembocadura	2/14/2006	10/28/2013	2.792
Río Caleta en Tierra Del Fuego	12/14/2006	10/28/2013	2.498
Río Oro en Bahía San Felipe	6/12/1980	9/27/2012	11.380
Río Oscar en Bahía San Felipe	6/12/1980	11/20/2013	11.766
Río Side en Cerro Sombrero	6/12/1980	11/21/2013	11.708
Río Ci Aike Antes Frontera	1/15/2005	8/15/2013	3.009
Río Penitente en Morro Chico	6/10/1980	10/20/2013	11.408

ESTACIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA FIN	REGISTROS
Río Rubens en Ruta N 9	11/24/1981	11/11/2013	11.258
Canal De Traslase Estero Llau	1/1/2005	10/16/2013	3.079
Río Las Minas en Bt Sendos	6/7/1982	10/17/2013	9.185
Río Leñadura Antes Bt Sendos	4/20/1982	12/23/1991	1.783
Río Tres Brazos Antes Bt Sendos	6/8/1982	8/31/2013	10.114
Río San Juan en Desembocadura	5/3/1970	12/31/2013	12.570
Río Calete en Seno Otway	1/27/2005	10/31/2013	3.089
Río Grande en Seno Otway	1/27/2007	11/20/2013	2.489
Río Pérez en Desembocadura	5/19/1991	4/27/2015	8.001
Río Grande en Isla Riesco	12/11/1981	4/26/2015	9.133
Río Holleberg en Desembocadura	1/30/2007	11/12/2013	2.387
Río Tranquilo en Ruta N 9	12/27/2005	10/27/2013	2.743
Río Prat en Desembocadura	1/18/2005	11/12/2013	3.096
Río Serrano Antes Junta Grey	4/29/1970	3/13/1986	3.182
Río Serrano en Desagüe Lago Del Toro	5/22/1986	5/31/2015	10.228
Río Serrano en Desembocadura	12/15/1994	3/27/2015	6.947
Río Cañadon 1 en Desembocadura	10/17/2009	10/7/2012	1.022
Río Tindall en Desembocadura	12/22/2011	3/29/2015	848
Río Geikie en Desembocadura	7/21/2011	3/29/2015	784
Río Grey Antes Junta Serrano	10/25/1981	5/31/2015	11.894
Río Rincón	1/29/2010	3/26/2015	1.589
Río Tres Pasos en Desagüe Lago Toro	1/13/2005	8/17/2013	3.079
Río Chorrillos Tres Pasos Ruta N 9	11/25/1981	5/15/2015	11.652
Río Las Chinas Antes Desagüe Del Toro	3/16/1990	4/23/2015	9.063
Río Las Chinas en Cerro Guido	6/8/1980	5/31/2015	12.278
Río Don Guillermo en Cerro Castillo	6/7/1980	4/17/2013	8.780
Río Las Chinas en Pte Carretero	10/28/1981	3/11/1990	2.995
Río Vizcachas en Cerro Guido	8/27/1980	2/28/2013	11.285
Río Baguales en Cerro Guido	7/29/1980	5/31/2015	11.640
Río Paine en Parque Nacional 2	2/26/1985	1/31/2015	10.687
Río Paine en Parque Nacional	10/28/1981	1/31/1984	740
Río Punta Eva en Puerto Edén	8/26/2004	9/30/2011	1.872

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estas estaciones, se obtiene la matriz de correlaciones, con lo que es posible generar los modelos lineales para cada una de las estaciones de modo de realizar el relleno de los meses vacíos. En primer lugar, se utilizan todas aquellas estaciones con una correlación mayor a 0,7 con la estación objetivo, realizándose el relleno desde aquella con máxima correlación, luego con la segunda de mayor correlación y así sucesivamente. Se calcularon los errores

asociados a la estimación en base a la diferencia entre los valores existentes (observados) y los estimados con el modelo de regresión para dicho mes. Para conocer el desempeño del relleno y sus errores asociados, se calcularon las medias y desviaciones estándar de los errores, teniéndose como valores representativos las medias y desviaciones estándar de las series sin relleno.

4.2.3 Resultados

En la Tabla 4.10 se muestra el número de datos rellenos que resultan del proceso antes detallado para cada una de las estaciones que serán utilizadas en este estudio. Como se puede observar, cuatro de diez estaciones fueron rellenas con modelos a partir de estaciones correlacionadas por sobre 0,7. Para el siguiente caso, dos estaciones resultaron con registro completo al considerar correlaciones por sobre 0,6, y otras dos al considerar correlaciones de 0,5. Cabe destacar que sólo los meses que no fueron rellenos en un paso anterior de correlaciones entran a la segunda vuelta de cálculo.

Para las estaciones que no resultaron con relleno completo, los datos para esos meses serán calculados como la media entre el mes anterior y posterior.

Además, en la Tabla 4.10 se muestran los errores medios de estimación para cada estación y su desviación. Como se puede observar, los errores medios son bastante bajos y se encuentran cercanos al valor óptimo esperado cero.

A modo de ejemplo, se muestra el caso de la estación denominada "Rio Las Chinas antes Desagüe del **Toro**" la cual tiene un vacío considerable entre los años 1980 y 1990, además de contar con algunos meses esporádicos sin registro. Sin embargo, esta estación presenta un gran número de registros de caudal continuos lo cual permite que se pueda generar una matriz de correlación más confiable, debido a que se cuenta con una mayor cantidad de información (puede ocurrir que en casos con poca información se registren altas correlaciones, pero esto no es un dato confiable por el tamaño de la muestra). Por este mismo motivo, el relleno de datos para esta estación se realizó sólo con estaciones con una correlación superior a 0,7, obteniéndose bajos errores asociados y una baja desviación de errores (ver Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Número de datos rellenos según correlación

ESTACION	MEDIA SERIE	DESVIACIÓN SERIE	MEDIA ERRORES	DESVIACIÓN ERRORES	DATOS INICIALES	RELLENO Cor >0,7	RELLENO Cor > 0,6	RELLENO Cor >0,5	FINAL
Río Baguales en Cerro Guido	3,06	3,31	-0,02	0,64	375	43	1	OK	OK
Río Chorrillos Tres Pasos Ruta N 9	0,37	0,63	-0,01	0,30	373	3	42	1	OK
Río Don Guillermo en Cerro Castillo	0,63	1,68	0,00	1,06	272	7	105	30	414
Río Grey antes Junta Serrano	122,12	93,50	0,85	32,88	382	32	4	1	OK
Río Las Chinas antes Desagüe Del Toro	15,78	15,28	0,00	3,66	293	126	OK	OK	OK
Río Las Chinas en Cerro Guido	8,30	10,21	0,08	2,74	394	25	OK	OK	OK
Río Paine en Parque Nacional 2	49,59	40,13	0,81	8,40	346	68	0	4	418
Río Rincón	6,11	4,78	-0,03	2,02	51	368	OK	OK	OK
Río Serrano en Desagüe Lago del Toro	84,36	38,99	0,00	18,77	329	88	2	OK	OK
Río Vizcachas en Cerro Guido	5,27	5,17	0,00	1,00	361	58	OK	OK	OK
Río Tres Pasos en Desagüe Lago El Toro	3,32	3,83	-0,07	1,38	97	313	8	1	OK

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2, se muestra el gráfico de la serie de tiempo en donde se observa en color azul aquellos meses que se encuentran en el registro original y en rojo aquellos que fueron rellenados. Esta misma información se sintetiza en la Tabla 4.11 en donde se encuentran los datos que son utilizados en el modelo de Balance Hídrico.

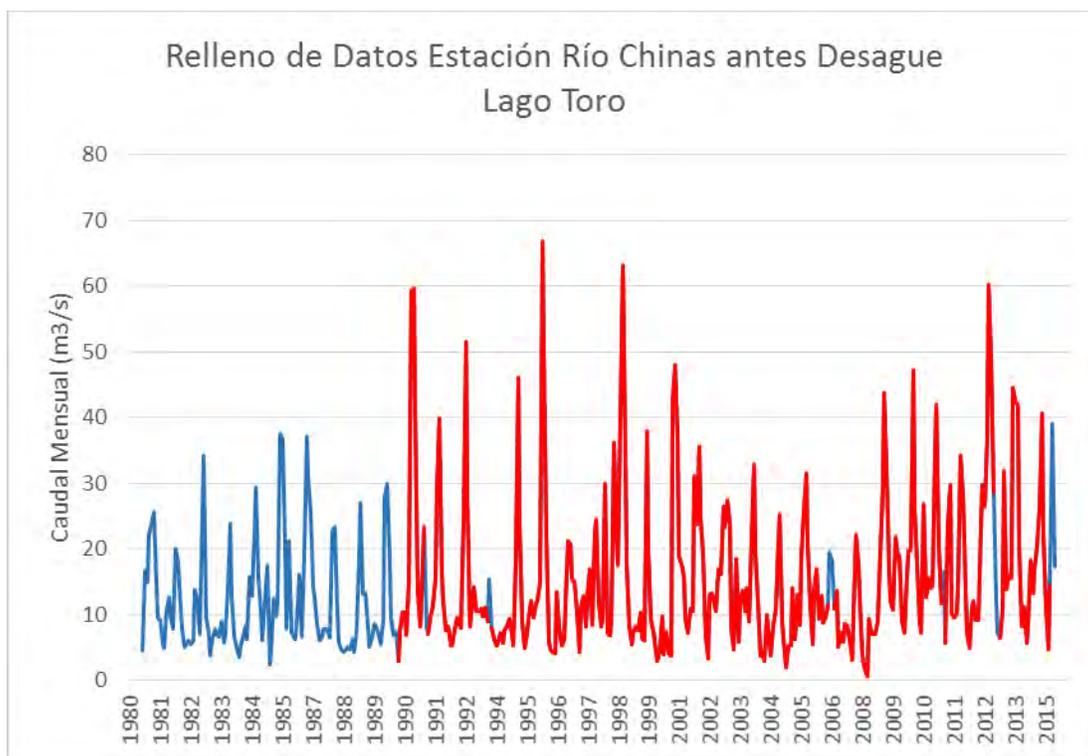


Figura 4.2. Serie de datos rellenados (azul) v/s serie de datos medidos (rojo).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS ANTES DESAGÜE DEL TORO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	4,51	16,67	14,92	22,25	23,76	25,61
1981	14,62	9,67	9,16	5,49	4,93	11,03	12,64	9,69	7,77	20,08	18,06	14,13
1982	7,78	5,14	5,26	6,06	5,50	6,01	13,79	12,47	6,95	15,98	34,32	9,66
1983	7,17	3,68	6,55	7,82	7,06	6,74	8,96	5,61	7,00	14,16	23,88	12,89
1984	6,69	4,88	3,47	5,29	6,65	8,31	6,29	15,78	12,95	22,98	29,46	15,56
1985	10,22	6,17	12,16	17,51	2,31	4,61	12,42	9,79	12,18	37,45	36,82	20,23
1986	7,84	21,15	7,21	6,76	6,25	11,92	16,24	6,64	19,25	37,06	30,84	25,42
1987	14,29	12,69	8,65	6,15	6,73	7,85	7,83	7,25	6,40	22,85	23,28	10,07
1988	5,87	4,64	4,35	4,56	5,01	4,78	6,36	4,28	7,41	18,68	27,00	12,99
1989	13,20	8,01	5,02	6,51	8,65	8,37	7,31	5,46	9,24	27,96	29,94	18,62
1990	9,57	6,81	7,52	3,04	7,36	10,32	10,31	6,91	14,77	59,29	59,60	41,13
1991	13,71	8,28	12,91	23,28	8,05	7,05	9,65	11,52	15,64	28,69	39,81	15,94
1992	12,13	7,69	8,26	5,34	5,29	7,91	9,49	9,08	8,05	24,48	51,51	27,53
1993	8,27	11,91	14,18	10,59	10,49	11,00	9,84	11,22	9,04	15,48	8,03	6,27
1994	5,22	5,96	7,25	5,59	7,57	8,19	9,34	7,10	5,30	18,02	46,02	23,12
1995	9,06	4,88	7,39	9,50	12,05	9,60	11,02	12,21	14,73	66,92	49,13	21,57
1996	6,06	4,67	4,36	4,08	13,47	7,95	5,36	6,32	11,63	21,25	20,66	15,45
1997	14,97	10,32	4,40	11,01	12,87	8,14	12,43	17,02	8,37	22,41	24,44	12,06
1998	8,16	9,58	29,96	7,18	6,93	9,32	36,19	21,92	17,46	39,05	63,07	34,55
1999	17,74	8,50	5,56	7,21	8,21	7,71	10,28	6,37	6,16	37,88	19,45	9,19
2000	7,36	4,30	2,99	4,46	9,70	3,92	7,43	4,11	3,66	42,18	48,07	36,50
2001	18,88	17,65	15,69	9,55	7,19	10,92	10,58	31,08	23,83	35,53	24,66	18,84
2002	6,92	3,37	12,97	13,32	11,50	10,47	16,93	16,14	26,38	23,45	27,46	23,78
2003	7,96	4,68	18,58	5,85	12,19	13,61	10,62	14,06	8,95	21,34	32,87	19,23
2004	11,95	3,70	4,54	2,92	10,04	5,58	3,69	8,31	10,79	15,72	25,27	8,97
2005	4,20	2,01	5,23	5,20	14,05	6,35	13,04	8,39	18,48	25,92	31,53	20,92
2006	11,66	5,46	13,74	16,88	9,47	12,90	8,89	9,53	11,47	19,42	18,42	10,94
2007	13,67	5,20	7,26	5,93	8,51	8,35	6,34	3,16	10,43	22,28	17,33	11,81
2008	3,80	1,52	0,71	9,39	6,95	7,08	7,09	8,95	18,99	29,35	43,78	31,68
2009	16,86	12,13	10,70	21,78	18,35	19,14	9,25	7,23	12,04	19,74	19,95	47,16
2010	25,98	17,35	8,73	7,19	26,85	12,64	15,57	14,07	14,37	34,17	42,03	20,02
2011	11,63	16,60	5,74	23,71	29,74	10,17	9,65	10,17	14,24	34,32	27,88	13,59
2012	7,44	4,92	11,35	12,14	9,18	9,14	23,32	29,78	26,52	37,35	60,34	48,78
2013	28,53	12,37	7,21	6,39	10,73	31,89	13,77	16,24	15,66	44,51	42,33	42,04
2014	20,39	8,24	11,06	5,78	8,82	18,27	13,34	16,91	20,44	26,22	40,69	22,32
2015	11,31	4,69	14,49	39,06	17,28	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.1 Casos especiales

Tras el relleno de datos y realizando gráficos de la serie original y la serie rellena, se observó que dos estaciones requerirían un tratamiento especial y más acucioso, estas fueron: "Río Tres Pasos En Desagüe Lago Toro" y "Río Rincón".

Como se ve en la Figura 4.3, el relleno de datos realizado con el método antes detallado no da cuenta de los valores inferiores de la serie de datos observados para la estación Río Tres Pasos en Desagüe en Lago del Toro, por lo tanto, la serie de datos rellena sobreestima estos valores.

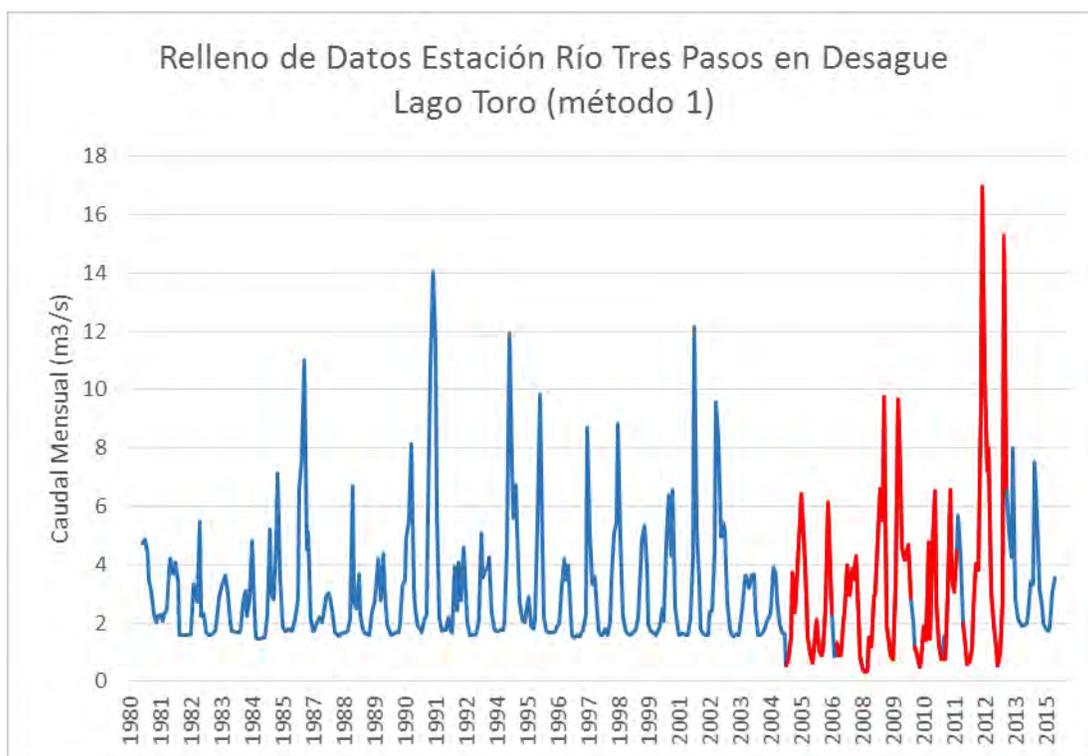


Figura 4.3. Serie de datos rellenos con método 1 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una sobrestimación de los datos más bajos.

Fuente: Elaboración propia.

Un caso similar, ocurre en la estación río Rincón, en donde los datos rellenos antes de 1990 resultan en una serie con distintos estadígrafos y con una subestimación de valores en el primer periodo Figura 4.4 (debido principalmente al uso de alguna estación con menor correlación antes de esa fecha, pero con datos existentes).

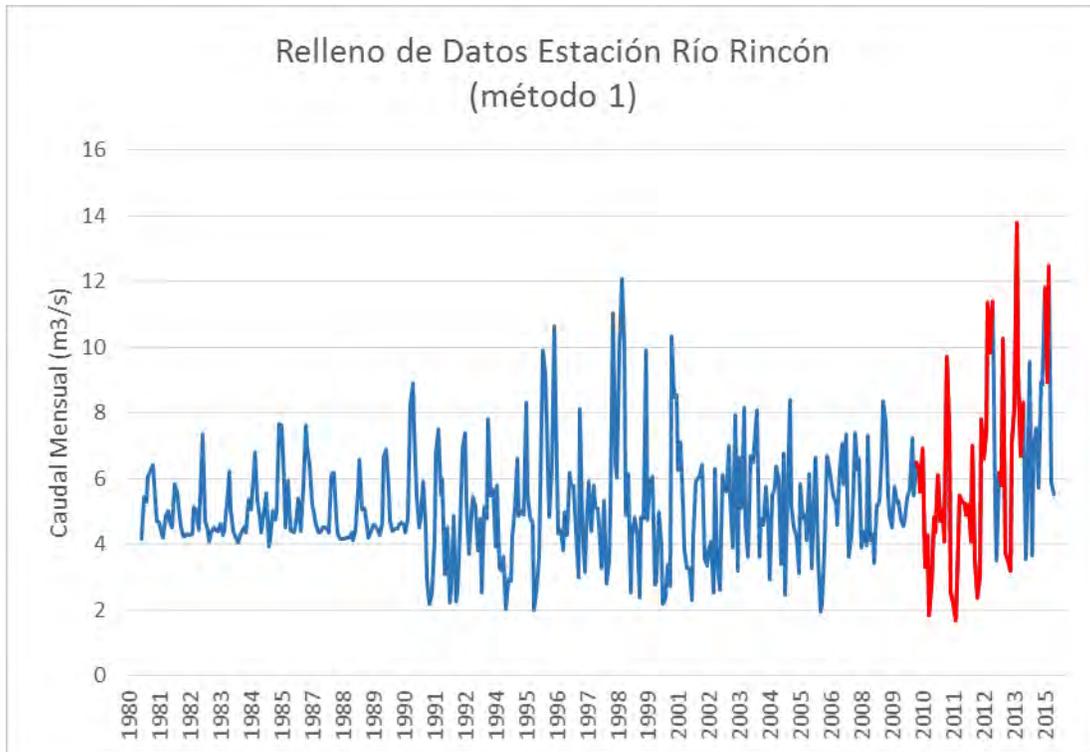


Figura 4.4. Serie de datos rellenos con método 1 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una subestimación en primer tramo y serie muy ruidosa.

Fuente: Elaboración propia.

La solución propuesta para esto, es ajustar un modelo de regresión lineal de igual forma al anteriormente detallado, pero con la salvedad de forzar un intercepto igual a la mitad de la mediana de los datos observados, se elige este estimador por no encontrarse influenciado por los valores extremos. Se espera que forzando el intercepto del modelo a un valor comprendido entre la serie medida, el ajuste de la serie resultante sea mucho mejor.

Los resultados obtenidos se ajustan mejor a la serie de datos medidos (Figura 4.5 y Figura 4.6). Para el caso de la estación río Tres Pasos en Desagüe Lago El Toro, el problema antes observado se corrige completamente, sin embargo, para la estación río Rincón aún se aprecian diferencias en el primer tramo de la serie rellenada con la serie medida.

Estos problemas son propios de realizar rellenos tan extensos de datos a partir de poca información medida, sin embargo, resulta en estimadores aceptables de estas series.

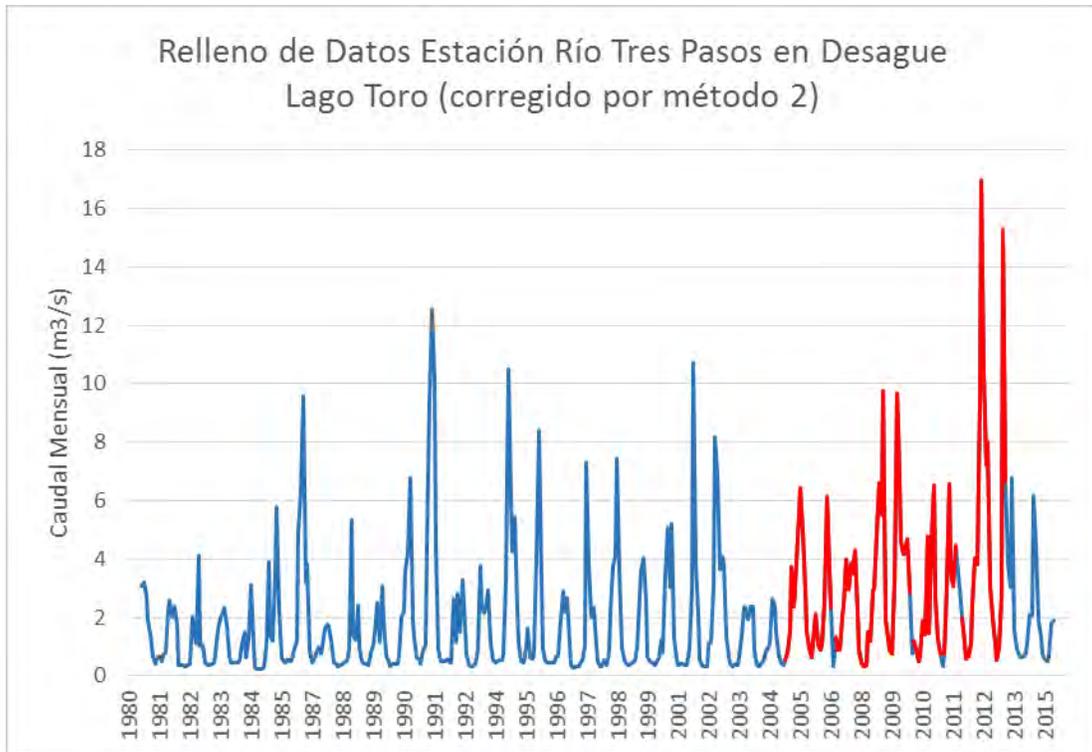


Figura 4.5. Serie de datos rellenos con método 2 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una mejora en la estimación de los datos más bajos.

Fuente: Elaboración propia.

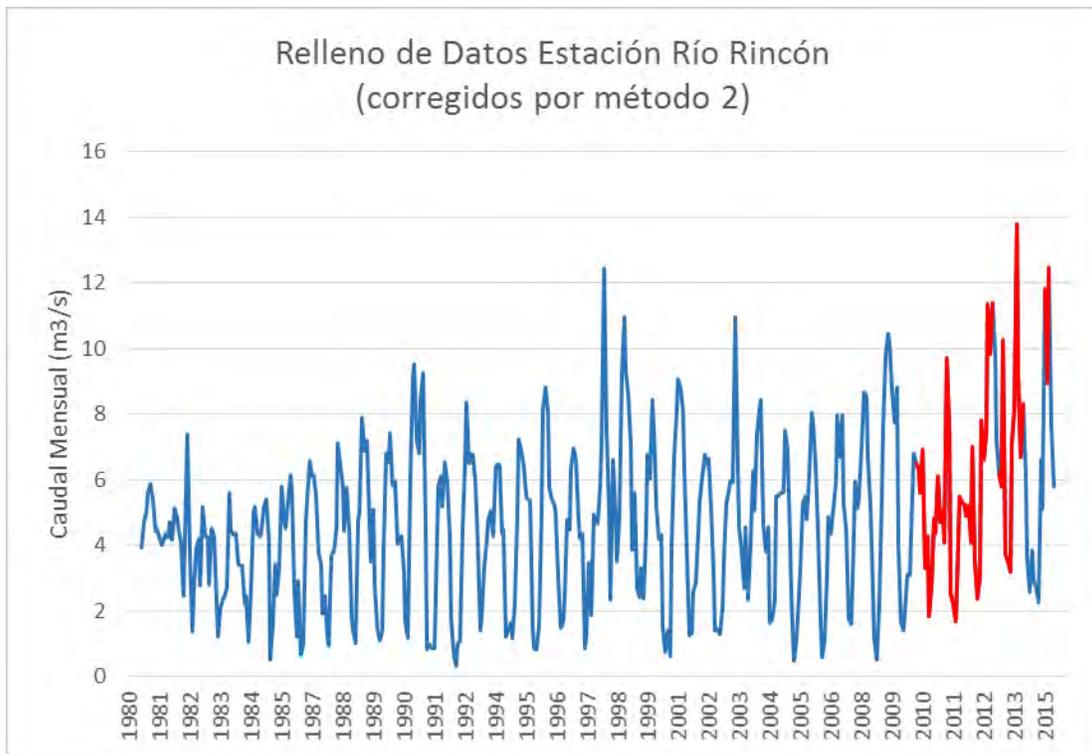


Figura 4.6. Serie de datos rellenos con método 2 (azul) v/s serie de datos medidos (rojo). Se observa una mejora en la estimación en primer tramo, aunque aún persiste algo de ruido en la serie.

Fuente: Elaboración propia.

5 INSTALACIÓN DE ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA

La instalación y puesta en marcha de una estación fluviométrica (Figura 5.1) sobre el río Paine es uno de los objetivos del presente proyecto. La misma se instaló próxima al Puente Weber, dentro del área que abarca el Parque Nacional Torres del Paine.



Figura 5.1. Imagen satelital, Puente Weber en Torres del Paine.
Fuente: Google Earth.

Para la descripción del proceso de instalación se procedió a dividir esta sección en los siguientes subtemas:

- *Descripción y componentes de la estación fluviométrica*
- *Instalación de estación fluviométrica en río Paine*
- *Funcionamiento de estación fluviométrica*
- *Comentarios finales y descarga de datos*

5.1 Descripción y componentes de la estación fluviométrica

Para proceder a instalar una estación de medición meteorológica, fluvial o de cualquier tipo se debe tener en cuenta, al menos, los siguientes componentes: panel Solar (en caso de no contar con corriente eléctrica de red), batería, *datalogger*⁴, controlador de energía solar, sensor/es, estructura de montaje, cables y anexos varios.

En este caso, el objetivo final es medir el caudal del río Paine usando una estación fluviométrica de carácter temporal.

Los materiales adquiridos para el funcionamiento de la estación son los siguientes:

Panel Solar

Es un dispositivo con capacidad de captar energía proveniente del sol y convertirla en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es conducida a través de cables hacia un controlador de energía, que a su vez, la redirecciona hacia una batería donde queda almacenada para su posterior utilización.

Los paneles solares son recomendables para lugares donde no existe la posibilidad de corriente eléctrica de red convencional. Así mismo, el bajo costo económico y la nula labor de mantenimiento post-instalación hacen que esta herramienta sea indispensable.

El panel solar (Figura 5.2) que provee energía a la estación fluviométrica posee una potencia de 10 Watts.

⁴ Dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación, por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.



Figura 5.2. Panel solar marca Stärkee.
Fuente: Elaboración propia.

Batería

La batería es un dispositivo capaz de entregar energía al *datalogger* para su normal funcionamiento y además almacenar energía proveniente del panel solar.

La batería (Figura 5.3) que se utiliza es de Gel, con las siguientes características: 7 Ampere y 12 Volts. Estas baterías de GEL son de plomo-ácido selladas, donde el electrolito no es líquido, pero si gelificado (esto genera menos evaporación y un aumento de la vida útil de la batería, garantizando un número mayor de ciclos de cargas y descargas). Además soportan descargas profundas y ambientes con vibraciones, golpes y altas temperaturas. Poseen también un voltaje más estable durante la descarga, que es ideal para cuando es utilizada con inversores.



Figura 5.3. Batería de gel, similar a la que está colocada en la estación fluviométrica, con capacidad de 12 V y 7 A.

Fuente: Inducien.cl.

Controlador de energía solar

El controlador de energía solar (Figura 5.4) está diseñado y construido para administrar el sistema de suministro de energía solar que proveen los paneles solares (por corriente directa).

Este dispositivo, junto con el software profesional integrado, funciona como centro de control inteligente del movimiento de energía entre el panel solar, la batería y el *datalogger*.



Figura 5.4. Controlador de carga solar, modelo HBSC 10L.

Fuente: Inducien.cl

Algunas de las funciones del controlador de carga son: proteger de sobrecargas y de descargas, protección de cierre y apertura de los circuitos, protección ante situaciones de cableado incorrecto, etc.

Datalogger

El datalogger es un registrador de datos compacto. El datalogger adquirido es de marca OTT DuoSens (Figura 5.5). Es un modelo básico y económico en el ámbito de las estaciones de medición hidro-meteorológicas.

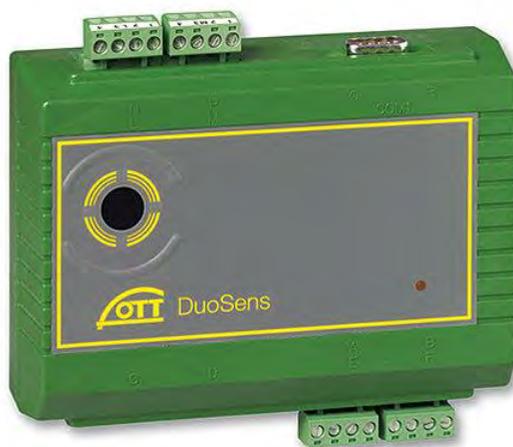


Figura 5.5. Datalogger OTT DuoSens

Fuente: Inducien.cl

Sus funciones principales son registrar, almacenar, controlar y transmitir datos de los sensores instalados. Además permite conectar una gran cantidad de sensores hidro-meteorológicos mediante interfaces estandarizadas y de impulsos.

En la Tabla 5.1 se detallan las principales características del *datalogger*.

Tabla 5.1. Características principales del OTT DuoSens.

Características	
Alimentación Eléctrica	+6 - 28 V DC
Consumo de energía (a 12V)	500 μ A
Activo	aprox. 15 mA
Reposo	50 μ A
Precisión del Reloj	Reloj en tiempo real RTC+/- 1 minuto/ mes @ +25 °C
Interface de comunicación Infrarrojo(IrDA)	1 x ángulo de reflexión 30°
Memoria	4 MB, memoria circular no-volátil(sin pérdidas datos por corte de energía)
Canales de entradas físicos; Extensión canales de entrada; Entrada RS485(dif. protocolos) Voltage input Entrada energía Pt 100 Pulso Conductividad NTC Entrada Frequency Entrada Potenciómetro	2; entrada pulso fija, 1x SDI-12 fija, 1 x RS 485 fija2 extensión para entr. analógica (voltaje, corriente, Pt 100) / 1 x Tarjeta de extensión RS 232 "Kalesto", Parsivel50 mV / 5 V / 10 V (tarjeta expansión)0 - 20 mA / 4 - 20 mA
Salida Relé (galvánicamente aislado) Drenaje máximo de energía Capacidad de carga max. Salida 4..20 maA (galvánicamente aislado)	1x28 V DC < 5 μ A /28 V DCmax 10mA UCE < 0.5 V Vbat max. 16 V DC max. 10 A
Dimensiones L x A x H	140 mm x 100 mm x 68 mm
Peso	240 g (aprox.)
Rango temperatura	-30 °C - +70 °C
Humedad Max.	10 - 90%; no condensada

Fuente: Elaboración propia.

Radar Ott RLS

El sensor OTT RLS es un radar (Figura 5.6) que utiliza tecnología tipo antena, con emisión de impulsos para medir el nivel del agua sin contacto físico directo. Se instala de forma sencilla, directamente por encima de la lámina de agua que se va a medir. Su reducido consumo de energía y las interfaces estándar hacen del OTT RLS un sensor sumamente flexible. El amplio rango de medición (hasta 35 m) permite medir de forma precisa, a grandes distancias.

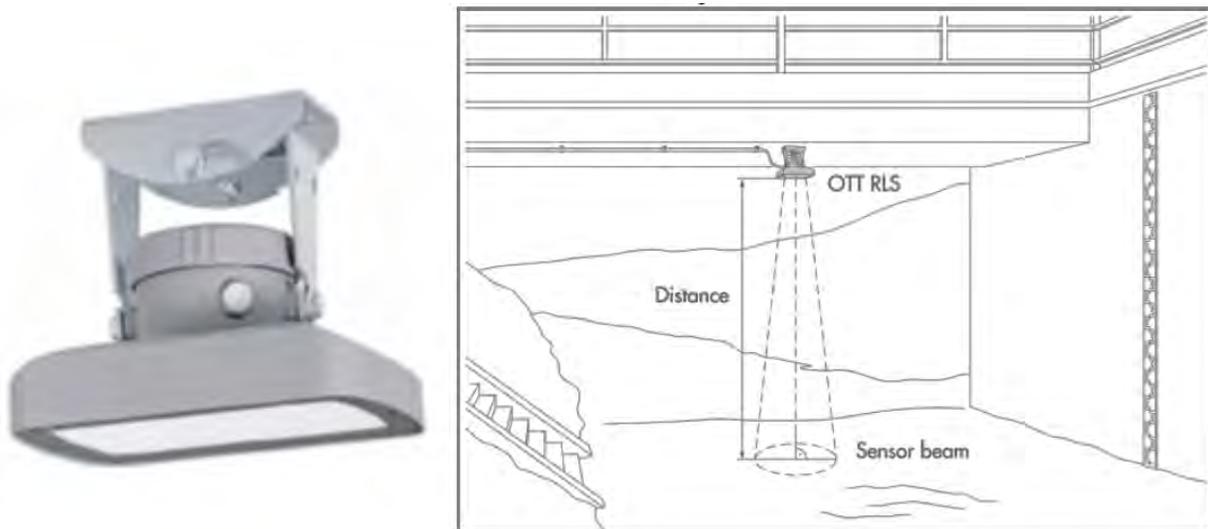


Figura 5.6. Izquierda: radar OTT RLS para medir distancia a la superficie del río. Derecha: Esquema de instalación y funcionamiento del OTT RLS.

Fuente: Inducien.cl

El OTT RLS posee las siguientes ventajas:

- Alta precisión – la influencia de las olas se compensa aritméticamente; la tecnología sin contacto proporciona alta precisión en la medición y seguridad frente a la pérdida de datos en cada situación. Esto sucede de manera independientemente de la temperatura, la suciedad o las crecidas,
- Integración flexible – interfaces estándar para la comunicación con registradores de datos y periféricos,
- Instalación sencilla – con una carcasa ligera y compacta, que se puede instalar por ejemplo en puentes, pasarelas o construcciones auxiliares. Su suspensión de cardán libre permite orientar la placa frontal fácilmente,
- Diseño inteligente – su forma discreta y compacta lo mantiene a salvo de actos de vandalismo y su antena plana imposibilita la anidación de insectos y arañas. Asimismo, se reduce la necesidad de mantenimiento,
- Consumo de energía muy reducido – se puede utilizar sin problemas en estaciones de alimentación autónoma. Amplio margen de tensión de **alimentación (9,6...28 V) que admite varias fuentes de suministro de energía** (baterías, pilas, placas solares o adaptadores de red).

En la Tabla 5.2 se muestran más detalles sobre el radar OTT RLS:

Tabla 5.2. Características técnicas del radar OTT RLS.

Características	Valores
Rango de medición (m)	0,4 - 35 m
Resolución SDI-12 salida (transmisión de datos)	0,001 m
Precisión de medición (SDI-12)	0,4 - 2,0 m: ± 10 mm;
	2,0 - 30 m: ± 3 mm;
	30 - 35 m: ± 10 mm
Tiempo de medición	20 s
Datos de consumo eléctrico	5,4 - 28 V DC, tipo 12/24 V DC
Consumo de energía en modo activo (a 12 V)	<15 mA
Consumo de energía en modo pasivo (a 12 V)	<0,05 mA

Fuente: Elaboración propia.

Cable de interfaz comunicacional

El cable Irda-Link (Figura 5.7) es un dispositivo que permite comunicación entre el notebook o computador y el *datalogger* OTT DuoSens. Esto quiere decir que el Irda-Link actúa de trasmisor de datos hacia/desde el *datalogger*, vía comunicación infrarroja, hacia al computador vía USB (para descarga de datos o programación).



Figura 5.7. Cable Irda-LinK de interfaz comunicacional.
Fuente: *Inducien.cl*

Accesorios y estructura de montaje

El resto de los materiales que se utilizaron para la instalación son:

- Caja Nema 4, material: fibra de vidrio, medidas: 50x45x27 cm, con panel de montaje, cableado, regletas y tornillos (esta provee montaje y protección al *datalogger*, al conversor de energía, batería y al cableado).
- 50 metros de cable, que permiten comunicación y entrega de energía entre el sensor RLS y el *datalogger* OTT DuoSens.
- Estructura metálica de 3 m, anclada al piso. Montaje de panel solar y caja Nema.
- Software: Son necesarios dos programas, uno para el manejo y descarga de datos del *datalogger*. Mientras que el segundo programa se utiliza para establecer comunicación entre el *datalogger* y la notebook, a través del cable Irda-Link.

5.2 Instalación de estación fluviométrica en río Paine

Para hacer posible la instalación de la estación fluviométrica en las cercanías del puente Weber, cuya estructura cruza por encima del río Paine, se solicitaron los

respectivos permisos a distintos organismos: CONAF (Corporación Nacional Forestal), DGA (Dirección General de Aguas) y a la Dirección Regional de Vialidad del MOP (Ministerio de Obras Públicas).

Luego de inspeccionar el lugar y analizar la zona, se decidió colocar la estación aguas arribas del puente (Figura 5.8). El lugar elegido responde a distintos factores: cuestiones estéticas (para que la estación estuviese oculta, es decir, que no causara impacto visual respecto al paisaje), de factibilidad laboral (facilidad y espacio al momento de trabajar), exposición solar (dato no menor ya que implica cuantas horas recibirá sol, por ende, representa la cantidad de energía generada para almacenamiento).



Figura 5.8. Izquierda: foto del lugar de instalación. Derecha: Puente Weber, sobre río Paine. El círculo amarillo / violeta indica la zona de instalación de la estación fluviométrica
Fuente: Google Earth.

En la Figura 5.9 se muestra los accesorios instalados en la caja Nema: *datalogger* DuoSens, batería, controlador de energía solar y cables. Además, dentro de la caja se colocó un gel con sal para evitar la generación de un microambiente húmedo, ya que esto afectaría negativamente el funcionamiento de los instrumentos. Así mismo, la batería fue protegida con aislante térmico.

La caja Nema fue instalada en una estructura metálica tipo poste, cuya altura sobre el piso es de 3 m. En la punta superior de la estructura metálica se instaló el panel solar, el cual está orientado en dirección Norte para aprovechar la luz solar, tanto en verano como en invierno. Finalmente, la parte inferior, es decir la base de la estructura metálica, está enterrada a 60 cm de profundidad y sobre una mezcla de cemento, para otorgarle más sostén y anclaje contra el factor viento, fenómeno recurrente en la zona.

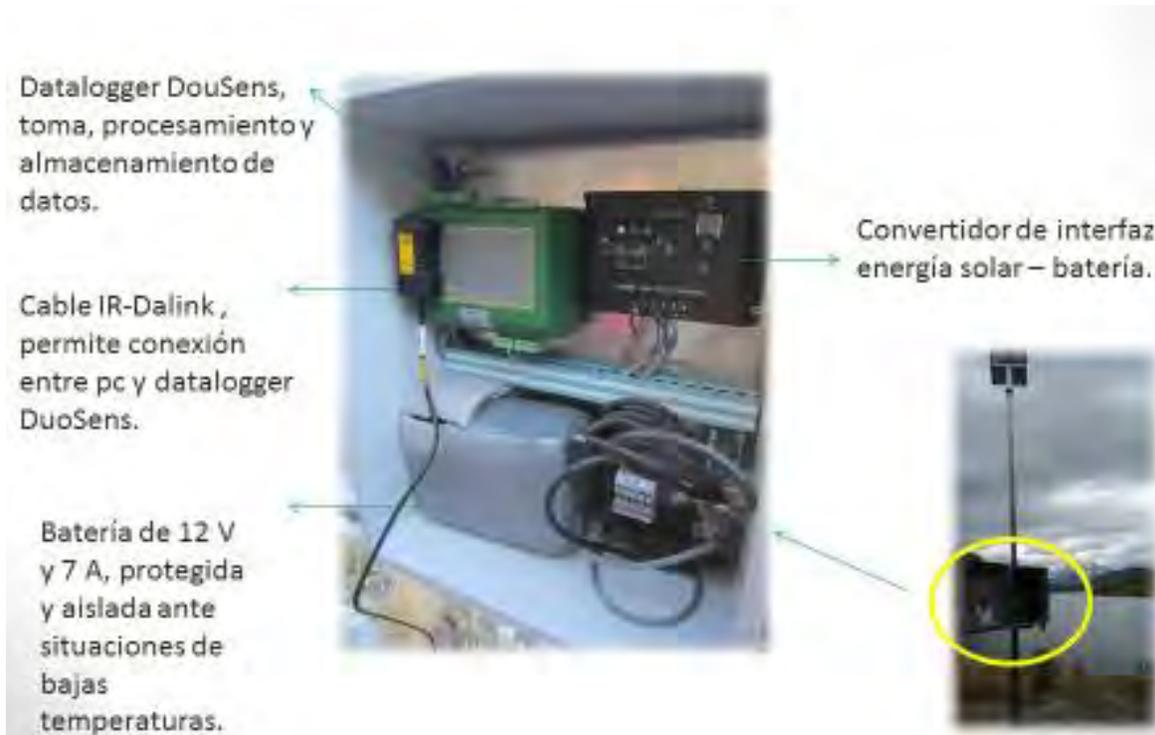


Figura 5.9. Izquierda: Caja Nema, estructura que otorga sostén y protección a los instrumentos. Derecha: foto que muestra la posición a la que fue instalada la caja Nema sobre la estructura metálica.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el radar RLS (Figura 5.10) se instaló bajo el Puente Weber, a una distancia de 40 m respecto del lugar de montaje del *datalogger*. El radar RLS está unido mediante dos tornillos a la parte inferior del puente, estos permiten el anclaje del sensor a la estructura metálica del puente, otorgándole firmeza y sostén.

El radar OTT RLS se encuentra ubicado en medio del puente Weber, este lugar fue elegido porque está por encima de una zona profunda del río Paine (teniendo en cuenta además el largo del cable disponible, requisito indispensable para la comunicación entre el *datalogger* y el radar OTT RLS).



Figura 5.10. Radar RLS, anclado a la estructura metálica del puente.
Fuente: Elaboración propia.

5.3 Funcionamiento de estación fluviométrica

La estación fluviométrica funciona de la siguiente manera (Figura 5.11): el radar RLS emite una señal de onda tipo radio hacia la superficie del río, esta señal es reflejada por la superficie líquida y es captada de vuelta por el radar. En base al tiempo que transcurre entre el envío y la recepción de la señal enviada, el sensor es capaz de determinar la distancia entre el sensor y la superficie de rebote.

Para llevar a cabo el anterior proceso, el *datalogger* es el instrumento que regula y administra la actividad del radar. A través de comandos precargados, el *datalogger* ordena al radar RLS la frecuencia a la cual debe emitir una señal (frecuencia de medición). También el *datalogger* es el proveedor de energía al radar y es el que almacena los datos captados por el sensor, dentro de su memoria.

Aunque los movimientos del puente debido al paso de grandes vehículos podrían influir en los datos medición de la profundidad del agua, el valor que queda finalmente almacenado en el *datalogger* es el promedio de varias mediciones en intervalos regulares. Tanto el número de mediciones como la frecuencia de guardado de datos puede ser programada por el usuario. Se recomienda que los pulsos de medición no sean inferiores a 5 minutos, aunque los datos pueden ser guardados en intervalos de 15 a 60 minutos, de manera que en estos casos, los valores almacenados serán el promedio de a lo menos tres datos (para el caso de 15 minutos), pudiendo ser de más si el intervalo de grabación es mayor.



Figura 5.11. Principio de funcionamiento de estación fluviométrica instalada en río Paine, Parque Nacional Torres del Paine.

Fuente: *Elaboración propia.*

Para que el *datalogger* funcione correctamente, antes debe ser programado (Figura 5.12). Esta labor es realizada por la empresa proveedora de los sensores.

La descarga de datos se realiza de manera presencial, ya que el lugar carece de señal telefónica para envío de paquete de datos y el costo de usar tecnología satelital es elevado. El cable Irda-Link de la Figura 5.7 permite la conexión entre la notebook y el *datalogger*, así los datos son descargados *a través de un software pre-instalado llamado OTT Datalogger Operating Program* (el software es adquirido con la compra del *datalogger DuoSens*).

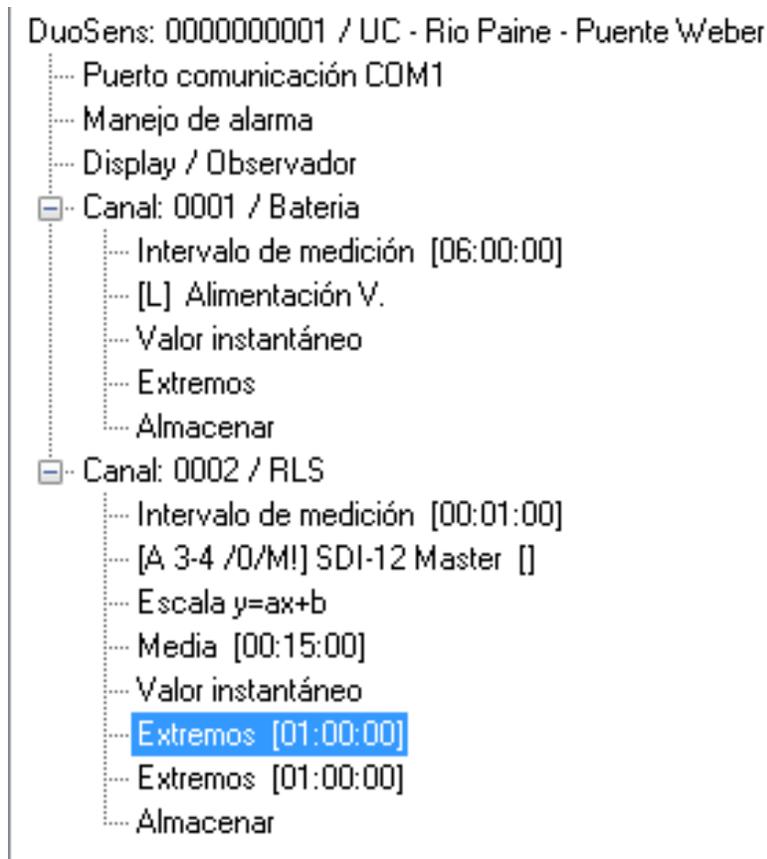


Figura 5.12. Captura de pantalla, comandos del programa instalado en el *datalogger* DuoSens, de la estación fluviométrica en río Paine, Puente Weber, Parque Nacional Torres del Paine.

Fuente: Elaboración propia.

El *datalogger* está configurado para que el radar RLS funcione cada 1 minuto, y posteriormente almacene el promedio cada 15 minutos, es decir que el dato final almacenado está conformado por el promedio de 15 mediciones. De esa manera se suavizan los posibles errores de mediciones provocados por viento u olas en el agua que puedan alterar la medición del dato real. También es posible almacenar datos de máximos y mínimos, como el nivel de carga de la batería (cada 6 horas).

Finalmente, y como se detalló anteriormente, el panel solar carga la batería. Ambos instrumentos están conectados al controlador de energía solar, que a su vez provee de energía al *datalogger*.

5.4 Comentarios finales y proceso de descarga de datos

La estación fluviométrica instalada no mide caudal directamente. Para que el sistema esté completo, queda pendiente medir el caudal del río Paine y posteriormente relacionarlo con las mediciones entregadas por el radar. En simples palabras, la distancia entre el radar OTT RLS y la superficie del río Paine serán relacionada con datos de caudal a través de una relación caudal vs distancia medida. Este proceso será detallado en el próximo informe.

Para la descarga de datos, el computador o notebook debe estar conectado al *datalogger* vía el cable Irda-Link. Una vez realizada esta acción, se abre el programa "OTT Data Logger Operating Program", y mediante el comando "Leer" (Figura 5.13), se establece conexión entre el notebook y el *datalogger*.



Figura 5.13. Opciones desplegadas en el menú del programa "OTT Data Logger Operating Program".

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecida la comunicación, en la barra del menú se presiona la opción "Herramientas" y posteriormente la opción "Leer Datos". Dicha operación desplegará un menú con distintas opciones de descarga de datos. Los datos pueden ser descargados en forma de txt, archivo excel, CSV o como el gráfico de la Figura 5.14. Vale aclarar que los datos estimados por el radar son almacenados por el *datalogger* a una frecuencia de quince minutos.

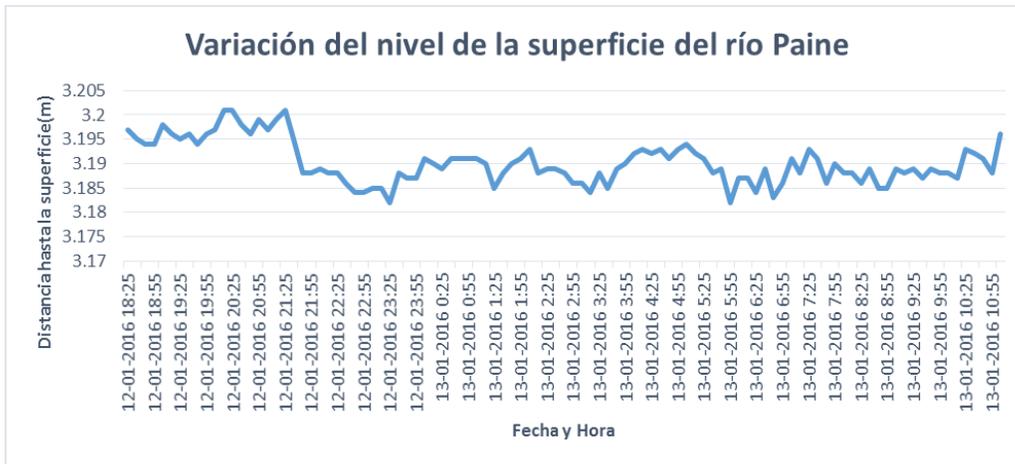


Figura 5.14. Datos estimados con el radar OTT RLS durante el periodo de prueba (12-01-16 al 13-01-16). La línea azul representa la distancia entre el sensor y la superficie del río Paine.

Fuente: *Elaboración propia.*

Finalmente, luego de la descarga de los datos, se corrobora que los mismos se encuentren dentro de límites aceptables (calidad de datos). Analizando el comportamiento general del conjunto de datos, se otorga mayor atención a aquellos que puedan ser considerados “atípicos” o “anormales”.

6 ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES Y BATIMETRÍA DE LOS LAGOS DEL TORO, PORTEÑO Y MARAVILLA

6.1 Introducción

En este capítulo se presentan las principales actividades y resultados finales del procesamiento de imágenes satelitales y de la batimetría de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla de manera de determinar sus características físicas que permitan obtener las relaciones de cota de las láminas de agua versus el volumen de almacenamiento de cada uno de ellos.

Estas curvas son datos relevantes para el desarrollo del modelo de balance hídrico de la cuenca del río Serrano, ya que permiten estimar los volúmenes de almacenamiento y de desagüe en los lagos de acuerdo a los ingresos de agua en los ríos principales, como los ríos Paine y de Las Chinas y su evacuación a través del río Serrano.

Se explican ambas actividades (proceso de imágenes satelitales y batimetría de lagos) y al final se presentan los resultados más relevantes del capítulo.

En los Anexos quedó información más detallada sobre el pre-procesamiento de la información geodésica y especificaciones técnicas de los equipos utilizados.

6.2 Procesamiento de imágenes TH-1

6.2.1 Introducción

Se presentan en el presente subcapítulo los resultados de los trabajos de georreferenciación y procesamiento de imágenes satelitales TH-1 para la generación de un modelo digital de elevaciones (DEM) del área de estudio.



Figura 6.1. Representación de la zona adquirida a través de imágenes satelitales.
Fuente: Google Earth.

En la etapa de terreno se realizó la medición de los puntos de control terrestre para apoyar la georreferenciación de las imágenes (revisar Anexos 10.1).

En la etapa de gabinete se procesaron los datos geodésicos para obtener las coordenadas de los GCPs. A continuación se procedió con la georreferenciación de las imágenes y posterior generación del DEM mediante estereofotogrametría.

Una vez obtenidas las coordenadas de los puntos de control terrestre se procedió con el procesamiento de las imágenes TH-1 modo estéreo.

Para ello se utilizó el módulo "OrthoEngine" incluido dentro del paquete de software "PCI Geomatics". Mediante esta herramienta se georreferenciaron las imágenes TH-1 y posteriormente se generó un Modelo Digital de Elevaciones a partir de los pares estereoscópicos.

6.2.2 Georreferenciación

De los trece puntos de control terrestre medidos se utilizaron un total de nueve para el proceso de georreferenciación, los cuales presentaban una fotoidentificación unívoca y precisa.

En la siguiente tabla se muestran, para cada GCP, los errores residuales en pixeles tras realizar el ajuste.

Tabla 6.1. Reporte de errores residuales para cada CGP utilizado.

Punto	Residual	Residual X	Residual Y
GCP3	1,61	1,58	-0,27
GCP8	1,42	-0,93	-1,07
GCP2	1,40	-1,39	-0,07
GCP8	1,34	-0,24	-1,32
GCP4	1,24	-0,16	1,23
GCP5	1,18	0,94	-0,72
GCP6	1,18	-1,06	0,52
GCP10	1,15	0,18	1,13
GCP1	1,11	0,49	1,00
GCP1	0,99	0,99	-0,01
GCP4	0,76	0,15	-0,75
GCP2	0,65	-0,58	-0,29
GCP5	0,63	0,63	0,09
GCP6	0,52	-0,38	0,35
GCP11	0,20	-0,09	-0,17
GCP3	0,19	-0,12	-0,15
GCP10	0,18	-0,04	0,18
GCP11	0,14	0,07	0,13

Fuente: PCI Geomatics.

Reporte de errores residuales: (Unidades del error: Pixeles de imagen)

Resumen de residuales para las 2 imágenes:

- GCPs: 18
- X RMS: 0,75
- Y RMS: 0,71

Resumen de residuales para

* TH01-02_P201601200000025_1B_SXZ_1_08_413_346:

- GCPs: 9
- X RMS: 0,97
- Y RMS: 0,78

* TH01 - 02_P201601200000025_1B_SXZ_3_08_413_346:

- GCPs: 9
- X RMS: 0,49
- Y RMS: 0,67

El error promedio se sitúa por debajo de 1 pixel, cumpliendo con los requerimientos de precisión deseados.

6.2.3 Obtención del DEM

El siguiente paso consiste en construir el Modelo Digital de Elevaciones para el par estereoscópico.

En primer lugar se generaron los pares epipolares para, a continuación, ejecutar la extracción automática del DEM con los parámetros requeridos.

La siguiente imagen muestra el resultado obtenido:

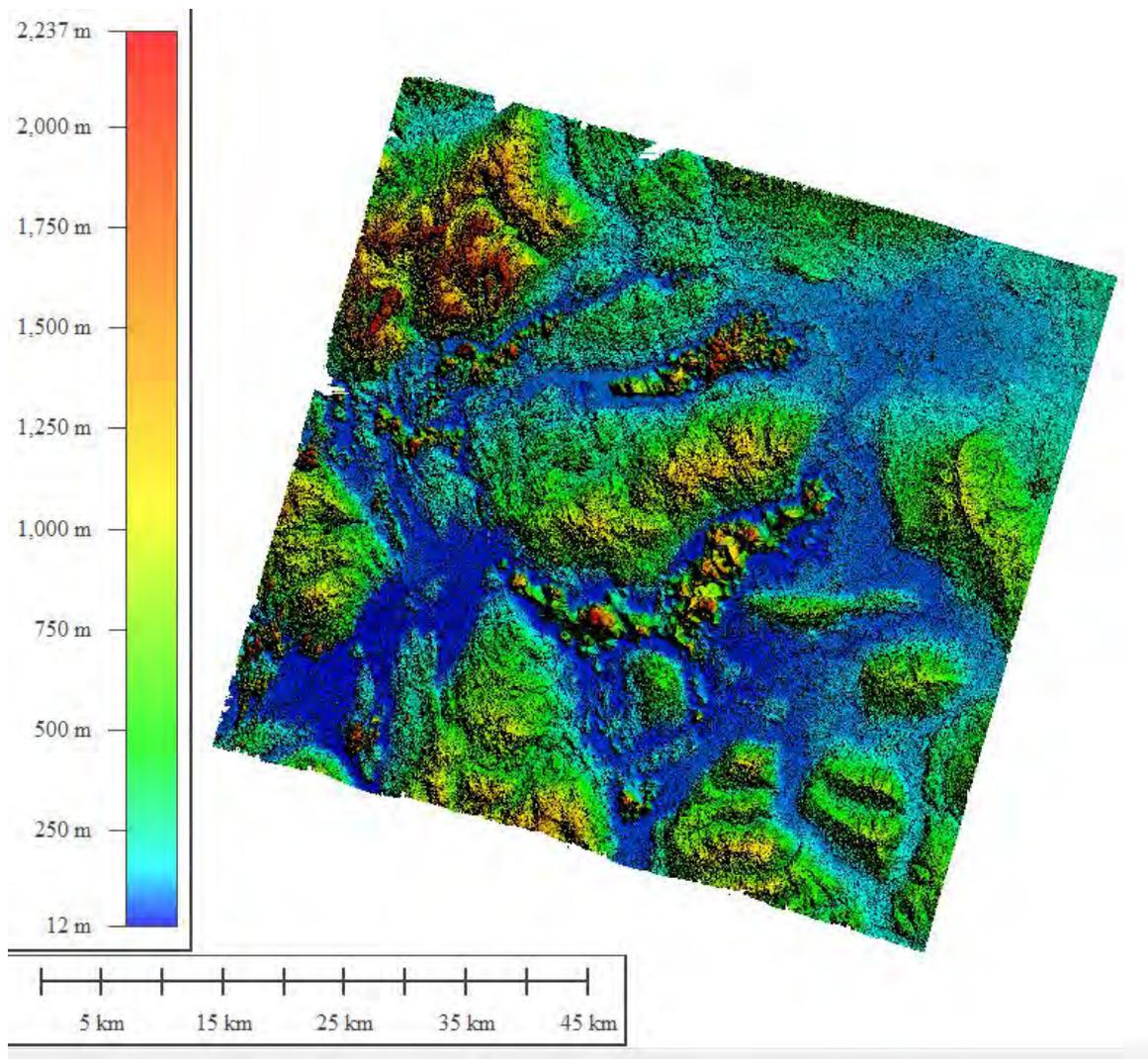


Figura 6.2. Modelos de Elevación Digital obtenido, aún sin procesar (en metros sobre el nivel del mar).

Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Filtrado y depuración de errores

Una vez obtenido el DEM, es necesario filtrar y depurar el resultado para eliminar los errores existentes y preparar su integración con los datos batimétricos. Estos errores fotogramétricos son debidos a diferentes factores como pueden ser los cuerpos de agua, los glaciares y zonas cubiertas por nieve, presencia de paredes verticales en la morfología del terreno, presencia de nubes en la imagen, etc.

Además es necesario filtrar los datos para eliminar la vegetación de gran tamaño presente en la superficie topográfica, de modo que obtengamos finalmente el Modelo Digital del Terreno.

Para modelar los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio se optó por generar un plano en la cota que representa la actual lámina de agua.

Finalmente se insertaron los modelos batimétricos de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla en el modelo de elevaciones resultante, obteniendo así una superficie de trabajo adecuada para realizar el modelado requerido.

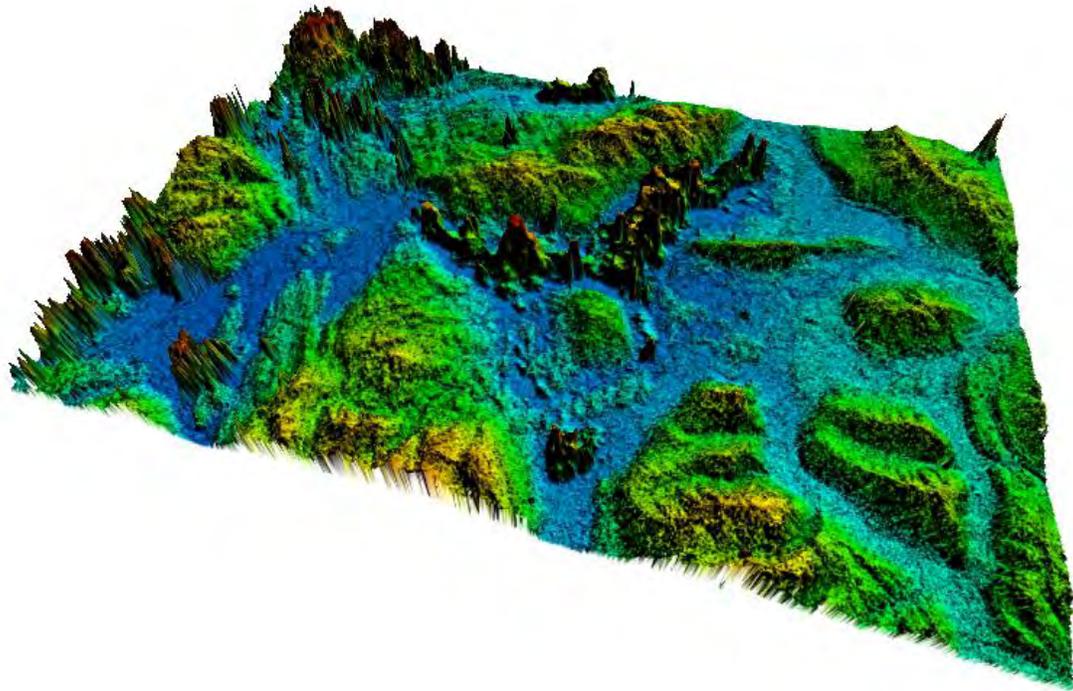


Figura 6.3. Modelo de Elevaciones preliminar.
Fuente: Elaboración propia.

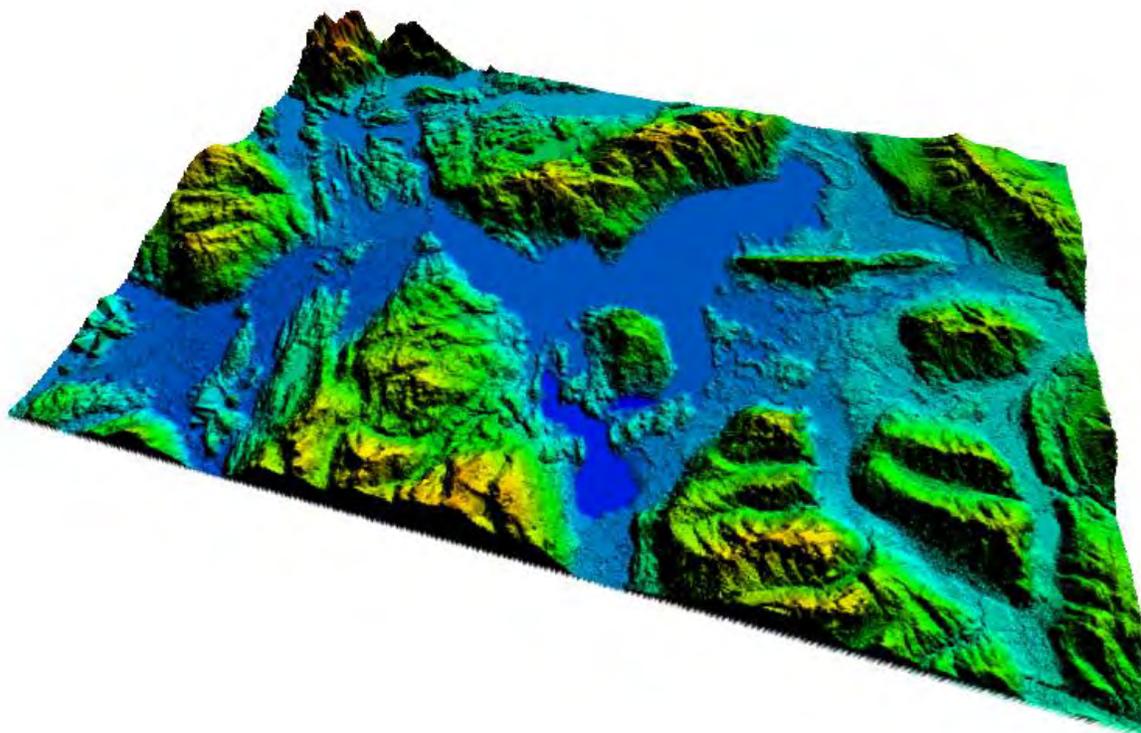


Figura 6.4. Modelo de Elevaciones final.
Fuente: Elaboración propia.

6.3 Levantamiento Batimétrico

6.3.1 Introducción

En la etapa de terreno se realizaron los levantamientos batimétricos en los tres lagos, considerando la necesidad de recolectar datos suficientes para cubrir un rango definido en su parte inferior por la cota de desagüe del río Serrano desde el Lago del Toro.

Para realizar las batimetrías en los tres lagos se tuvo en cuenta la cota de desagüe del río Serrano, de modo que se obtuviesen datos suficientes para cubrir la superficie sumergida hasta dicho valor de elevación.

En la etapa de gabinete se procesaron los sondeos realizados y se generaron los modelos batimétricos para su integración con la topografía resultante de la etapa anterior.

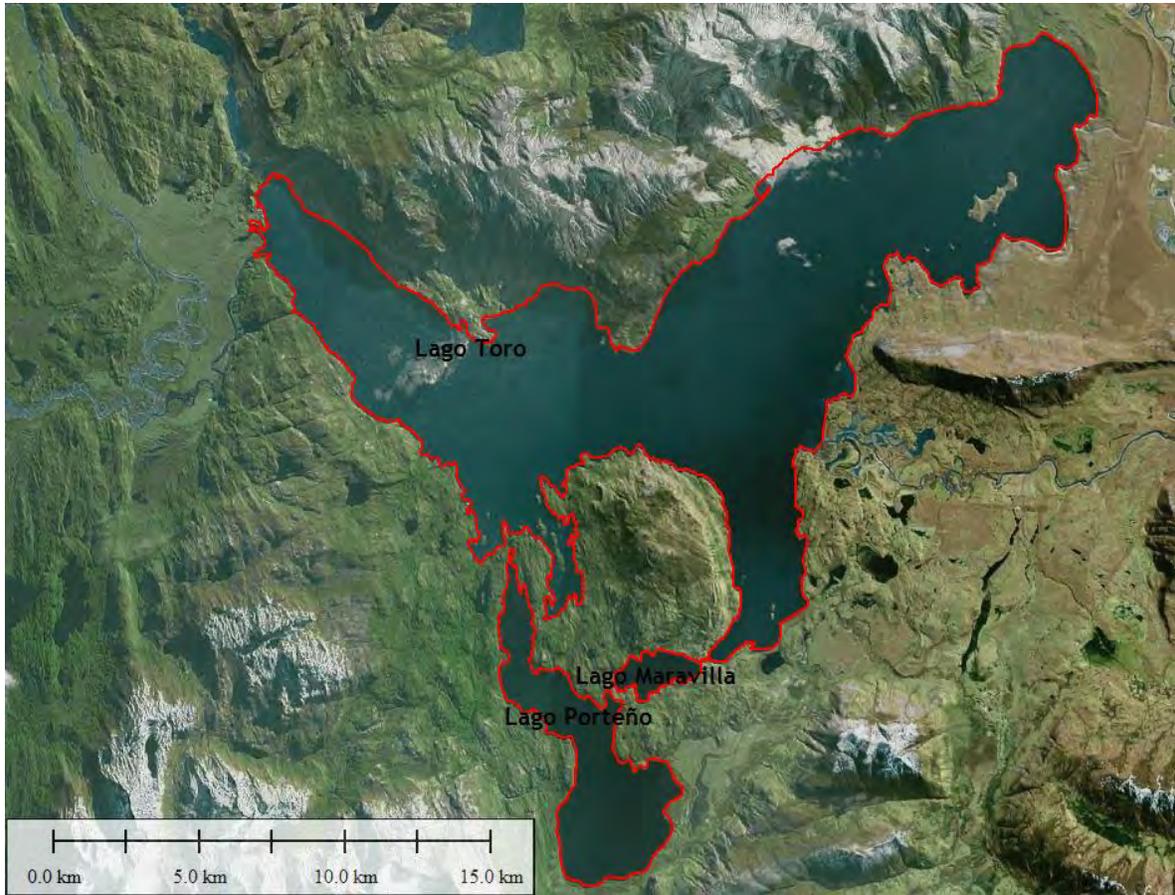


Figura 6.5. Imagen del área de interés del proyecto.
Fuente: elaboración propia.

6.3.2 Modo de Levantamiento

Con el fin de garantizar una adecuada distribución espacial de los datos se optó por bordear la línea de costa de los lagos de forma concéntrica hasta alcanzar una profundidad superior a la cota de descarga del Río Serrano.

La operación del Z-Boat se realizó desde un bote semirrígido tipo Zodiac para agilizar el avance de los trabajos. En dicho bote se implementó además la estación de control donde se reciben los datos medidos por el Z-Boat en tiempo real.



Figura 6.6. Equipos utilizados para realizar los sondeos batimétricos.
Fuente: elaboración propia.



Figura 6.7. Preparando los equipos para el zarpe.
Fuente: elaboración propia.



Figura 6.8. Operación del Z-Boat desde la estación de control en el bote Zodiac.
Fuente: elaboración propia.



Figura 6.9. Operación del Z-Boat desde la estación de control en el bote Zodiac.
Fuente: elaboración propia.

6.3.3 Resultados de los Sondeos Batimétricos

La siguiente tabla contiene los resultados, para cada uno de los lagos, de los sondeos batimétricos realizados:

Tabla 6.2. Resultados de los sondeos para los tres lagos. A) Lago del Toro, B) Lago Porteño y C) Lago Maravilla

A)

Lago del Toro	
<i>Superficie</i>	193,55 Ha
<i>Perímetro</i>	137,284 Km
<i>Cota Lámina de Agua</i>	23,746 m (05/02/2016)
<i>Límite Inferior Batimetría</i>	20 m (batimetría parcial)
<i>Volumen Parcial desde Cota 20 m</i>	715.309.903 m ³
<i>Cantidad de Puntos</i>	102.423

B)

Lago Porteño	
<i>Superficie</i>	24,14 Ha
<i>Perímetro</i>	36,885 Km
<i>Cota Lámina de Agua</i>	30,835 m (05/02/2016)
<i>Límite Inferior Batimetría</i>	0 m (batimetría parcial)
<i>Volumen Parcial desde Cota 0 m</i>	634.736.428 m ³
<i>Cantidad de Puntos</i>	22.455

C)

Lago Maravilla	
<i>Superficie</i>	3,05 Ha
<i>Perímetro</i>	10,537 Km
<i>Cota Lámina de Agua</i>	24,279 m (04/02/2016)
<i>Límite Inferior Batimetría</i>	-50,9 m (batimetría completa)
<i>Volumen Total</i>	92.602.634 m ³
<i>Cantidad de Puntos</i>	12.757

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan de manera gráfica los modelos batimétricos generados para cada uno de los lagos objeto de estudio.

En el caso del Lago Maravilla, se optó por ejecutar la batimetría completa del cuerpo de agua debido principalmente a que no se registraron profundidades superiores a 100 metros, rango máximo de medición del ecosonda utilizado, considerando además el tamaño reducido del mismo.

En color rojo se indica la cota 0 metros sobre el nivel medio del mar, lo que indica que gran parte del fondo se encuentra considerablemente por debajo del nivel del mar.

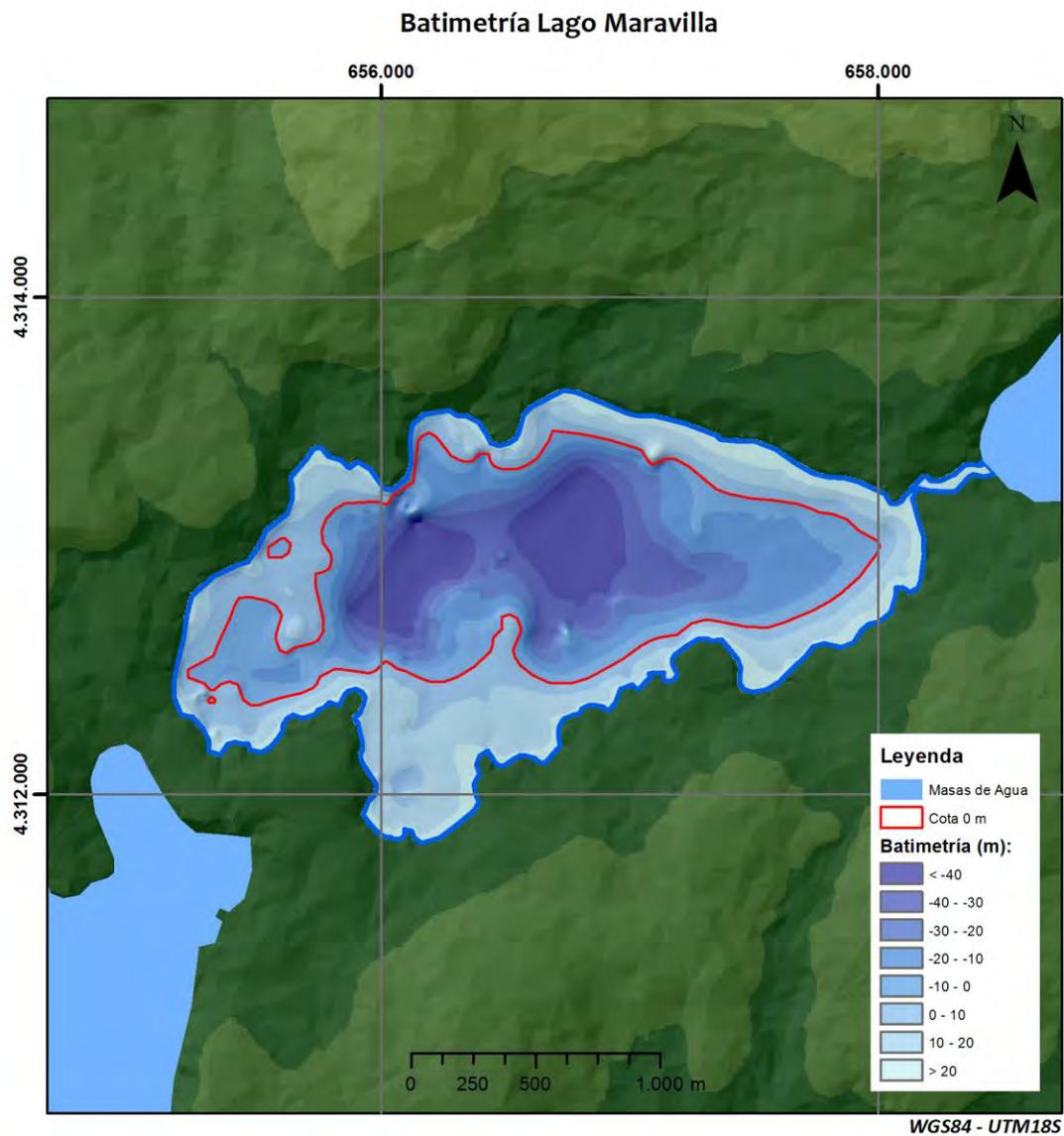


Figura 6.10. Modelo Batimétrico del Lago Maravilla.

Fuente: Elaboración propia.

En el Lago Porteño se obtuvieron datos suficientes para completar el levantamiento batimétrico hasta la cota 0, indicada en color rojo.

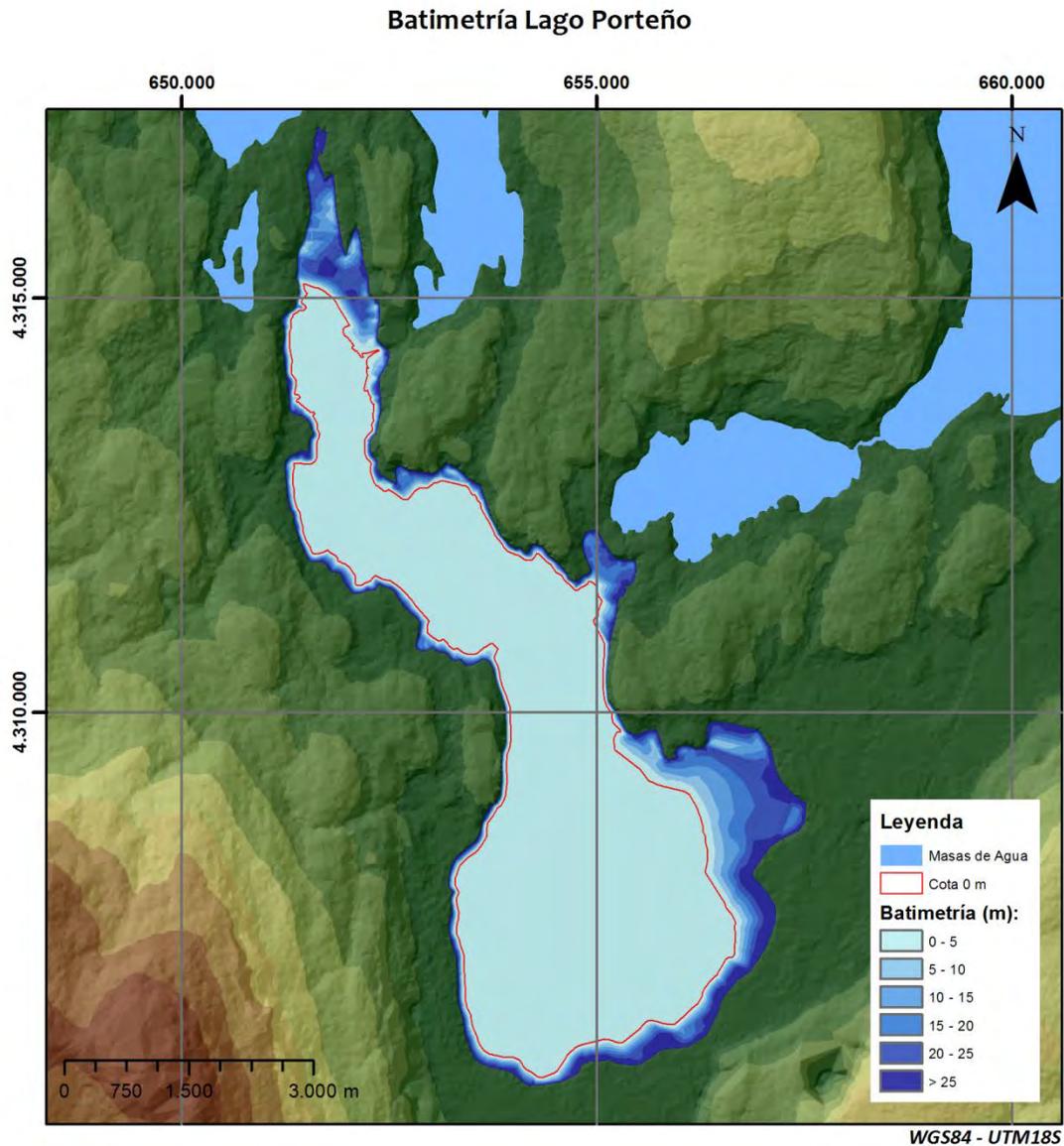


Figura 6.11. Modelo Batimétrico hasta Cota 0 del Lago Porteño.
Fuente: Elaboración propia.

En el Lago Toro se obtuvieron datos suficientes para completar el levantamiento batimétrico hasta la cota 20, indicada en color rojo.

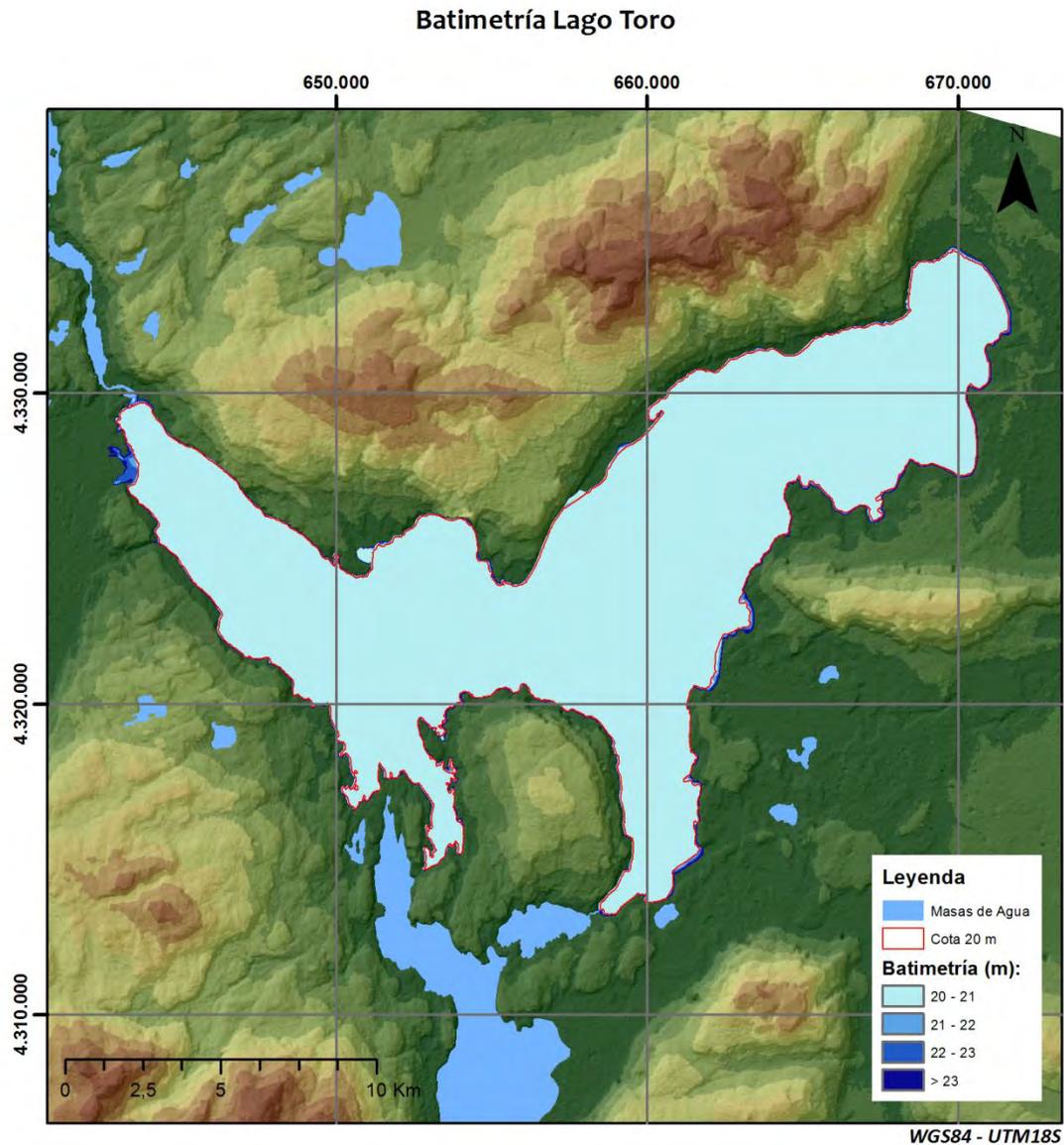


Figura 6.12. Modelo Batimétrico hasta Cota 20 del Lago Toro.
Fuente: *Elaboración propia.*

6.3.4 Cota del espejo de agua

En el marco de los trabajos batimétricos se midió la altura del espejo de agua en los tres lagos objeto de estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 6.3. Altura del espejo de agua para los lagos estudiados.

Nombre	Altura Elipsoidal (m)	Altura Ortométrica (m)	Ondulación EGM08 (m)	Error Altura (m)
Lamina Agua Toro	36,942	23,746	13,196	0,002
Lamina Agua Maravilla	36,974	24,279	12,694	0,016
Lamina Agua Porteño	43,782	30,835	12,947	0,024

Fuente: Elaboración propia.

Las profundidades medidas en los tres lagos fueron restadas a las respectivas cotas del espejo de agua para obtener de este modo un modelo batimétrico para cada lago.

6.4 Curvas de volumen vs elevación

El objetivo de estas curvas es determinar el volumen de agua disponible para la descarga del lago, es decir, el volumen de agua que se ubica por sobre la cota de descarga. De este modo, el levantamiento se realizó sólo en la orilla de lago, por sobre la cota de descarga, y se asume un volumen constante (pero desconocido) por debajo de esta cota.

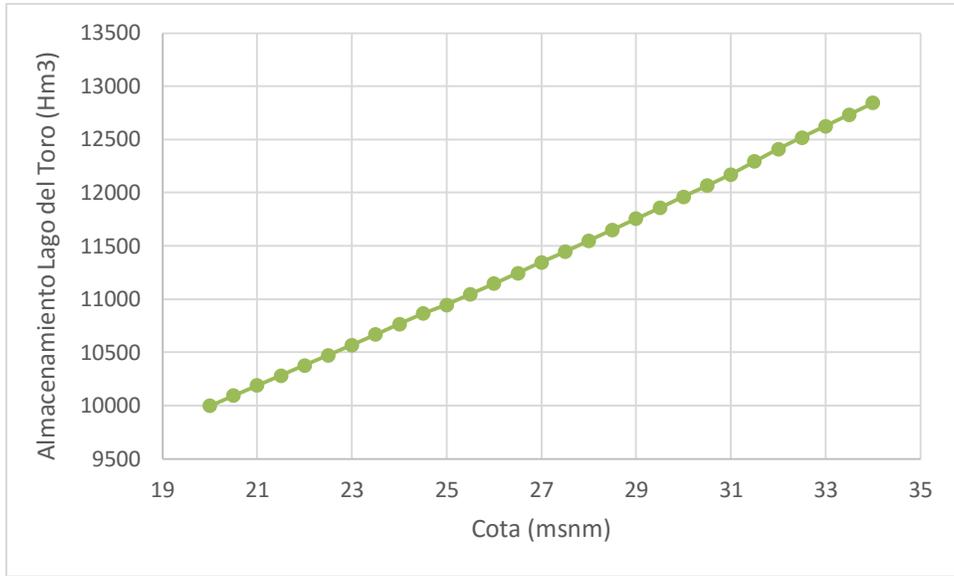
Para efectos de la modelación, sólo en los lagos del Toro y Porteño se agrega un volumen constante de manera referencial, con el fin de evitar que el almacenamiento pueda llegar a aparecer como negativo en algunos pasos de tiempo. A los valores obtenidos en el lago Porteño se le agregan 1.000 Hm³ y a los valores del lago del Toro, 10.000 Hm³. Al lago Maravilla no se le agrega ningún valor de referencia ya que como se explicó anteriormente, se le realizó su batimetría completa.

La Tabla 6.4 muestra los datos para construir las curvas de volumen vs elevación, los que son ingresados al modelo WEAP. Se asume que el volumen máximo de cada lago es el volumen en la cota 34 msnm.

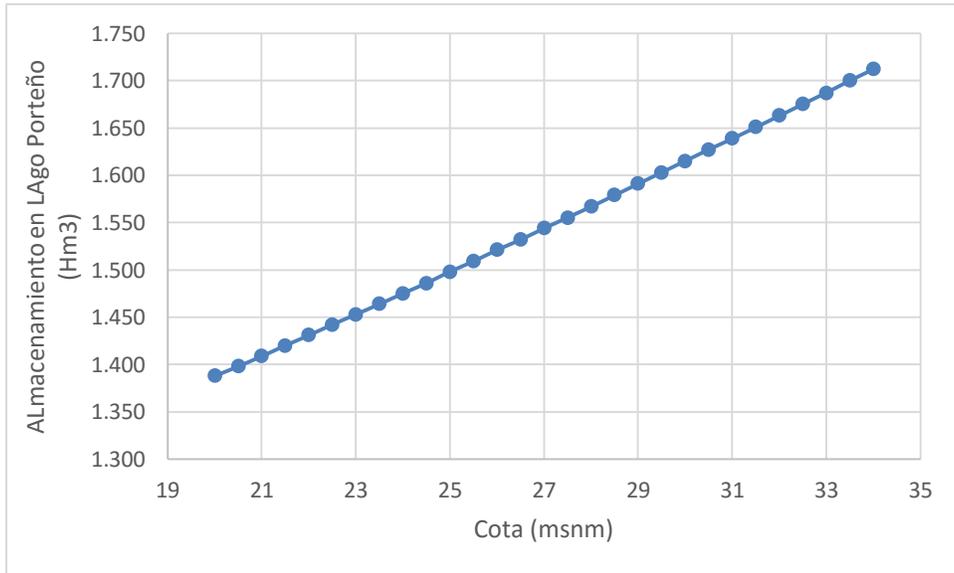
Tabla 6.4. Datos para la construcción de curvas volumen vs elevación de lagos (Hm3).

Elevación (msnm)	Volumen Lago del Toro	Volumen Lago Porteño	Volumen Lago Maravilla
20	10.000	1.388	80
20,5	10.094	1.398	82
21	10.189	1.409	83
21,5	10.284	1.420	84
22	10.379	1.431	86
22,5	10.475	1.442	87
23	10.571	1.453	89
23,5	10.668	1.464	90
24	10.767	1.475	92
24,5	10.865	1.486	93
25	10.946	1.498	95
25,5	11.048	1.509	96
26	11.147	1.521	98
26,5	11.245	1.532	100
27	11.346	1.544	101
27,5	11.446	1.555	103
28	11.549	1.567	104
28,5	11.652	1.579	106
29	11.755	1.591	107
29,5	11.858	1.603	109
30	11.961	1.615	111
30,5	12.067	1.627	112
31	12.171	1.639	114
31,5	12.293	1.651	116
32	12.410	1.663	117
32,5	12.517	1.675	119
33	12.627	1.687	121
33,5	12.735	1.700	122
34	12.845	1.712	124

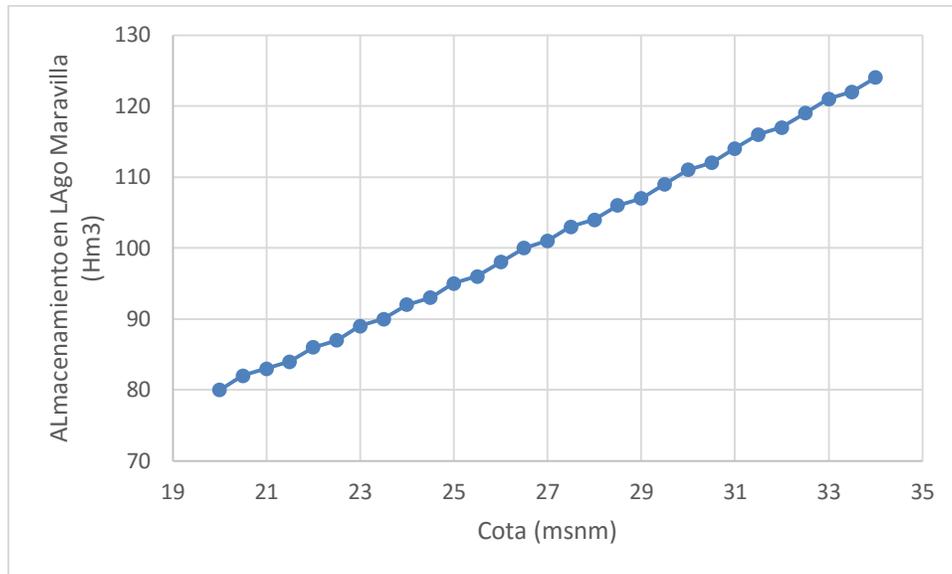
Fuente: Elaboración propia.



a)



b)



c)

Figura 6.13. Curvas de Almacenamiento de los Lagos: a) del Toro, b) Porteño y c) Maravilla.

Fuente: *Elaboración propia.*

6.5 Cota de desagüe del río Serrano

Según las mediciones realizadas, se estableció que la cota de desagüe del lago el Toro que da nacimiento al río Serrano se sitúa en 22,8 metros.

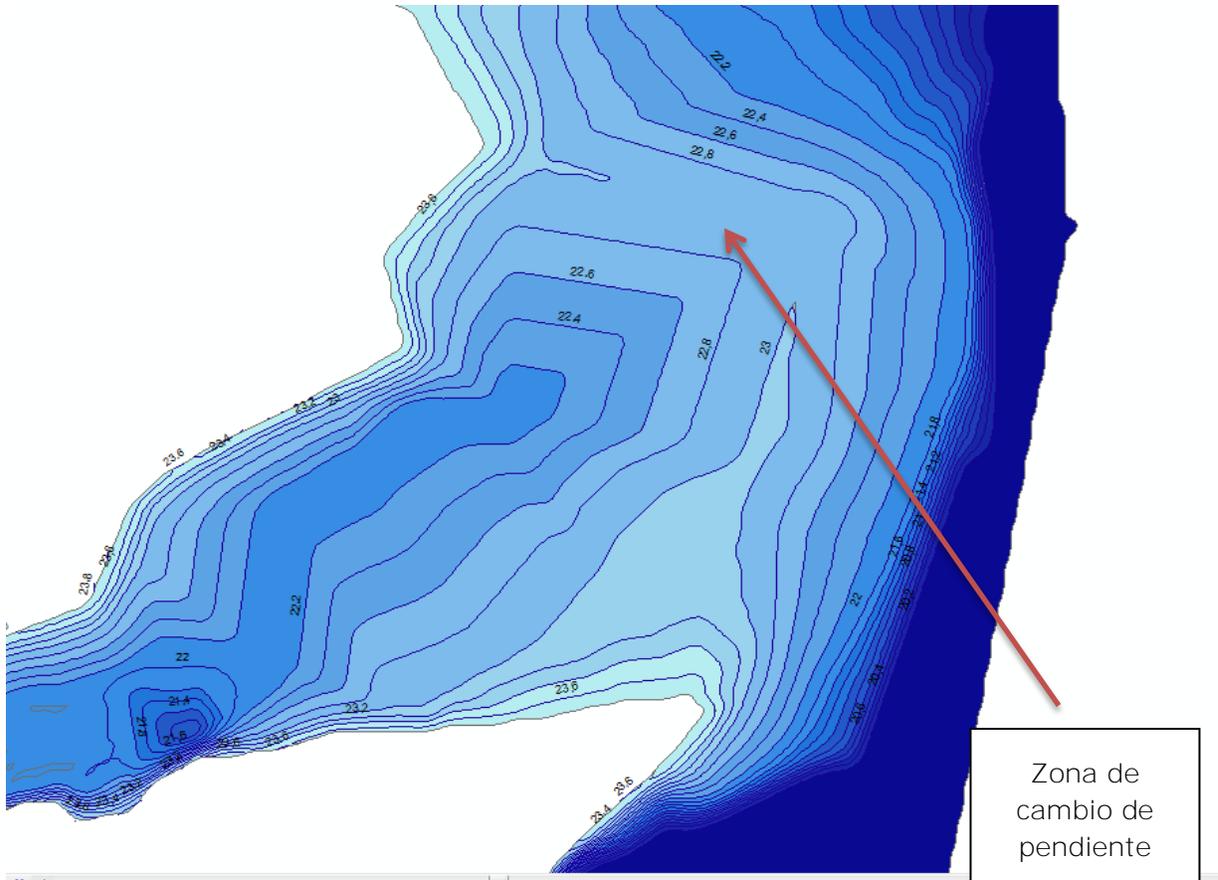


Figura 6.14. Batimetría en la zona de desagüe del Lago El Toro en el río Serrano.
 Fuente: Elaboración propia.

Este valor define la cota mínima bajo la cual el Lago Toro no seguiría vertiendo agua para alimentar el nacimiento del río Serrano.

De este modo los modelos batimétricos presentan el siguiente rango de elevaciones:

Tabla 6.5. Rango de los modelos batimétricos obtenidos.

	Batimetría	Z _{MIN} (m)	Z _{MAX} (m)
Lago Toro	Parcial	20	23,746
Lago Maravilla	Completa	-50,9	24,279
Lago Porteño	Parcial	0	30,835

Fuente: Elaboración propia.

7 MODELO PARA EL BALANCE HÍDRICO

El área de estudio está compuesta por una red de ríos y lagos conectados entre sí. Estos lagos son alimentados tanto por ríos aguas arriba como por afluentes propios de la cuenca, precipitación directa y en algunos casos glaciares. Las principales salidas de estos lagos son a través de sus ríos efluentes y de pérdidas por evaporación.

La Figura 7.1 muestra un esquema conceptual del balance hídrico en un cuerpo de agua, específicamente de un lago. En este caso, los cambios en el almacenamiento del lago en un período de tiempo determinado están influenciados tanto por las entradas como por las salidas de agua en ese período. Las extracciones de agua pueden ser naturales (desagüe del lago, evaporación, infiltración, etc.) como antrópicas (extracción de agua por medio de bombas u otros elementos).

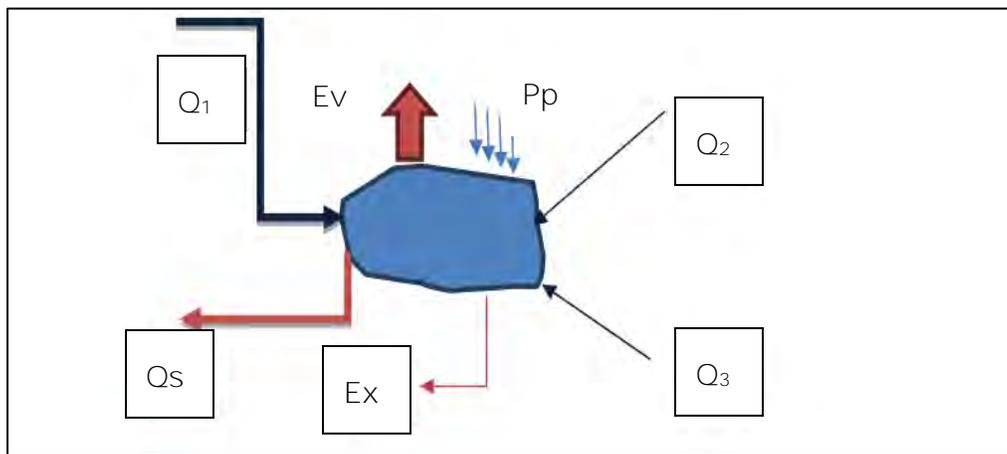


Figura 7.1. Esquema conceptual del comportamiento hidrológico asociado a un lago. Q_1 , Q_2 , Q_3 : Caudales de entrada al lago. Q_s : Caudal de desagüe del lago. Ex : Extracciones de agua. PP : Precipitación en el lago. Ev : Evaporación del lago.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este concepto, se elaboró el balance hídrico para el lago del Toro, el cual se esquematiza en la Figura 7.2. En él se incluyen los principales lagos, cauces y procesos de entrada y salida observables en el área de estudio. Por simplicidad, este diagrama no considera los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, los que sí están incluidos en el modelo final.

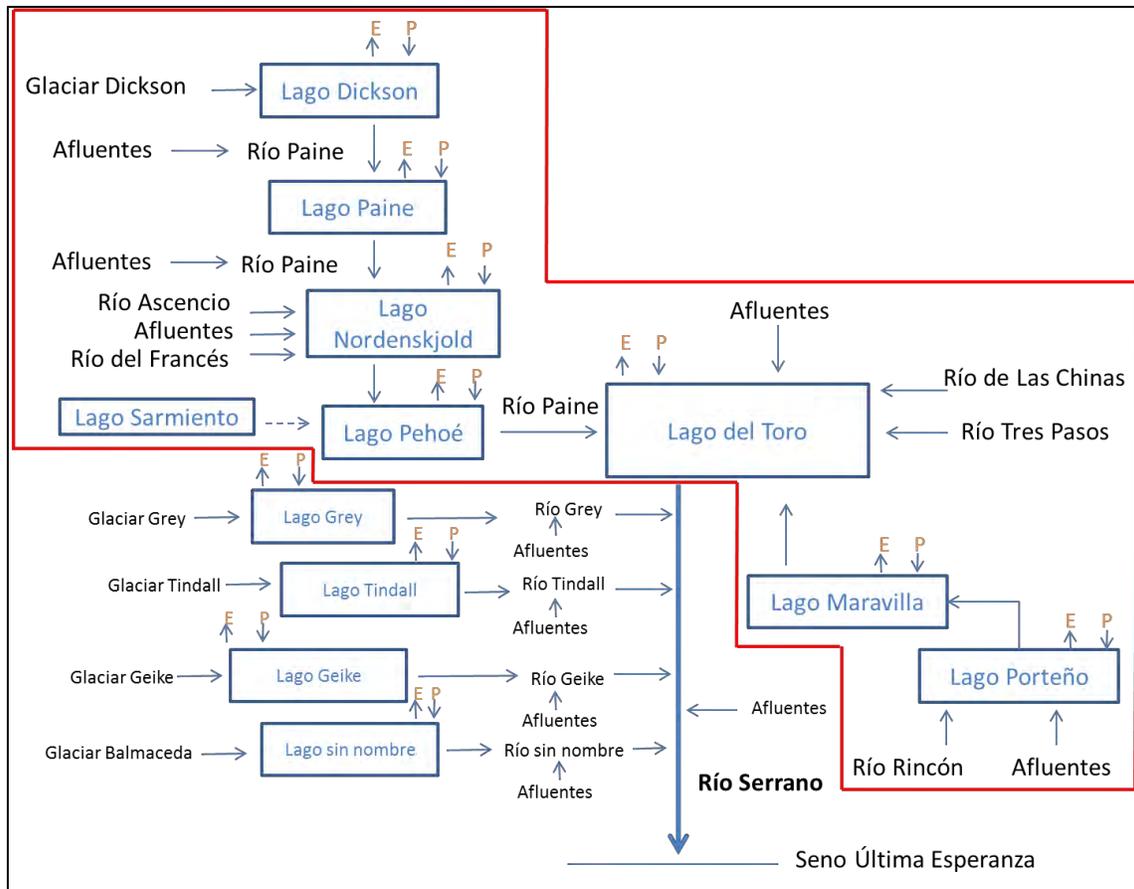


Figura 7.2. Diagrama del balance hídrico de la cuenca del río Serrano hasta su desembocadura al mar.

E: Evaporación. P: Precipitación. La Línea roja delimita la zona del presente estudio (hasta el Lago del Toro). Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe el modelo del balance hídrico en el Lago del Toro. En la Sección 7.1 se describe la metodología utilizada para generar series sintéticas de caudales. En la Sección 7.2 se describe el balance hídrico de cada una de las cuencas de entrada al lago del Toro; la Sección 7.3 muestra los escenarios considerados; la Sección 7.4 describe la metodología utilizada en la calibración de los resultados; en la Sección 7.6 se presentan los datos de entrada al modelo WEAP, el que se presenta en la Sección 7.5. Finalmente en la Sección 7.7 se presentan los resultados.

7.1 Metodología de generación de series sintéticas de caudales

La información disponible originalmente en la cuenca del Lago del Toro no es suficiente para desarrollar un balance hídrico del lago, ya que hay ríos o afluentes a los lagos que no tienen ninguna estación fluviométrica que mida sus caudales. Debido a esto, una de las actividades del estudio fue la de generar series sintéticas de caudal en varios puntos de interés y que sirven como dato de entrada al lago, de manera de completar los datos de caudales de toda la cuenca para que el balance esté completo.

Para generar series sintéticas de caudal en la zona de estudio, se utiliza el Método de Transposición de Cuencas. Este método fue utilizado también en el estudio "Análisis de Metodología y Determinación de Caudales de Reserva Turísticos" (DGA, 2010).

El método de transposición de cuencas consiste en generar series de caudales en una cuenca sin información fluviométrica a partir de datos observados en una cuenca similar. Para generar la serie de caudales en el punto sin información, se selecciona primero la estación fluviométrica que mejor represente el comportamiento hidrológico de la cuenca sin información, en base a sus características hidrológicas. Luego, se determina un Factor de Transposición (FT) de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$FT = \frac{A_1 \cdot P_1}{A_2 \cdot P_2}$$

Donde,

- A₁: Área de la cuenca sin información (km²)
- P₁: Precipitación anual de la cuenca sin información (mm)
- A₂: Área de la cuenca definida por el punto donde se ubica la estación fluviométrica representativa (km²)
- P₂: Precipitación anual de la cuenca definida por el punto donde se ubica la estación fluviométrica representativa (mm)

Finalmente, se generan las series sintéticas mediante la siguiente ecuación.

$$Q_1 = FT \cdot Q_2$$

Donde,

- Q₁: Serie de caudales sintéticos
- FT: Factor de transposición de cuencas
- Q₂: Serie de caudales observados en la estación fluviométrica representativa

7.2 Principales componentes del Balance Hídrico del Lago del Toro

El balance hídrico del Lago del Toro se define de la siguiente manera, de acuerdo al esquema de la Figura 7.2:

$$\Delta S = Q_{tp} + Q_{ch} + Q_p + Q_r + Q_a + P - E - Q_s$$

Ecuación 7.1. Ecuación del Balance Hídrico del Lago del Toro

Donde,

- ΔS : Almacenamiento del lago del Toro
- Q_{tp} : Caudal aportante del río Tres Pasos
- Q_{ch} : Caudal aportante del río de Las Chinas
- Q_p : Caudal aportante del río Paine
- Q_r : Caudal aportante del río Rincón
- Q_a : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago del Toro
- P : Precipitación en la superficie del lago del Toro
- E : Evaporación del lago del Toro
- Q_s : Caudal de salida en el río Serrano

En las siguientes secciones, se detalla el balance hídrico de los principales componentes de entrada al lago del Toro.

En el balance, no se incluye la cuenca de lago Sarmiento, ya que no tiene conexión superficial con el lago del Toro.

Además del balance hídrico, es necesario considerar el efecto regulador del lago del Toro. Para esto, se usa la información obtenida de la batimetría del lago de y su curva de volumen vs altura del lago. Además, con la información batimétrica y el registro de caudales en la estación fluviométrica, se realiza una modelación hidráulica utilizando el modelo unidimensional HEC-RAS (US. Army Corps of Engineers, 2010), con el cual se estima finalmente la curva de descarga del lago.

A continuación se describen en detalle las ecuaciones y relaciones que definen cada uno de los componentes de la Ecuación 7.1.

7.2.1 Caudal aportante por la cuenca del río Tres Pasos

El caudal aportante por la cuenca del río Tres Pasos (Q_{tp}) se determina mediante una serie sintética generada mediante transposición de cuencas a partir de la estación fluviométrica representativa "río Tres Pasos en ruta 9". La ecuación del caudal se define de la siguiente manera:

$$Q_{tp} = FT \cdot Q_{efr} - D$$

Con,

$$FT = \frac{A_{Qtp} \cdot P_{Qtp}}{A_{Qefr} \cdot P_{Qefr}}$$

En donde,

FT: Factor de transposición de cuencas

Qefr: Caudal en estación fluviométrica representativa

D: Derechos superficiales de agua, constituidos y en trámite

AQefr: Superficie de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa

PQefr: Precipitación media anual de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa

AQtp: Superficie de la cuenca del río Tres Pasos

PQtp: Precipitación media anual de la cuenca del río Tres Pasos

La estación fluviométrica "río Tres Pasos en desagüe lago del Toro" se ubica más cerca de la entrada al lago del Toro, pero tiene un registro de información muy corto para ser utilizada como estación representativa. Sin embargo, esta estación se utiliza para calibrar la ecuación de generación de series sintéticas en esta cuenca. La calibración se realiza sobre una serie generada en el mismo punto donde se ubica la estación fluviométrica, utilizando la metodología de transposición de cuencas a partir de la estación "río Tres Pasos en ruta 9". Los factores de calibración obtenidos se aplican en el primer término de la ecuación de generación de caudales a la entrada del lago.

La Figura 7.3 muestra las cuencas definidas por las estaciones fluviométricas utilizadas y la cuenca aportante por el río Tres Pasos al lago del Toro.

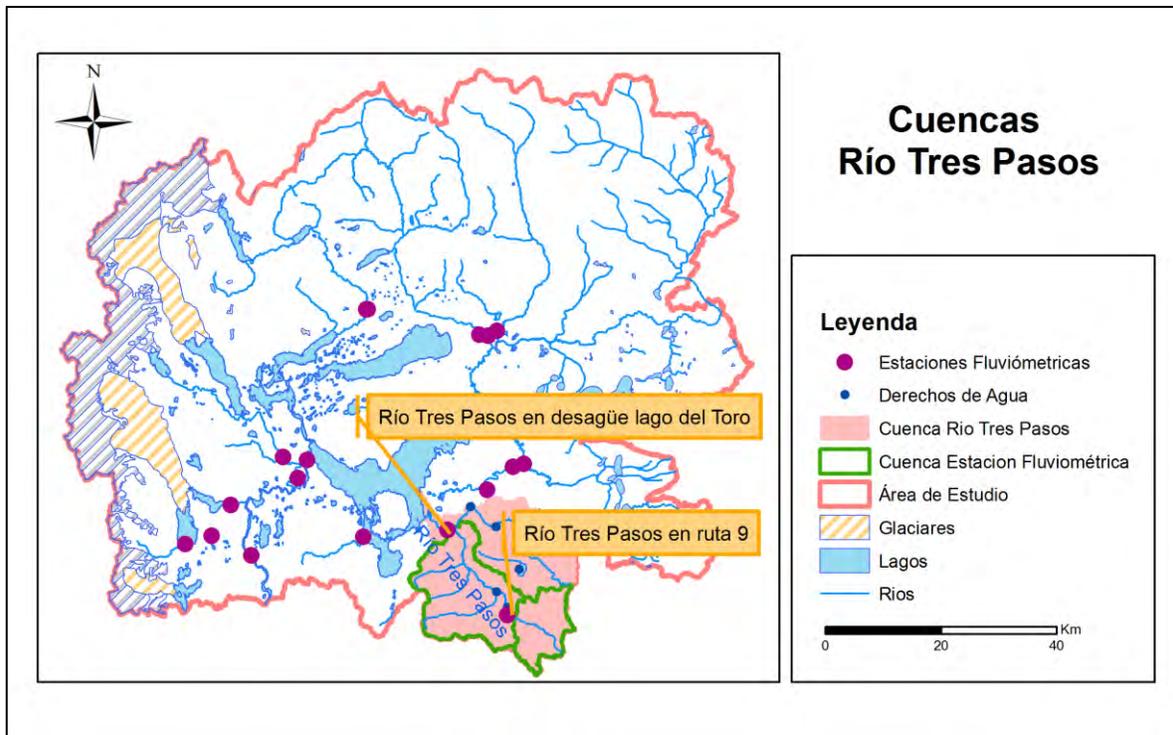


Figura 7.3. Cuencas de interés en río Tres Pasos.
Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Caudal aportante por la cuenca del río de Las Chinas

El caudal aportado por el río de Las Chinas Q_{ch} se obtiene directamente de la estación fluviométrica “río de Las Chinas antes del desagüe en lago del Toro”.

Adicionalmente, para entender mejor el comportamiento de la cuenca del río de Las Chinas, se obtiene el caudal aportado por cada una de las subcuencas que forman el río de Las Chinas, es decir, el río Vizcachas, Baguales, Zamora y Don Guillermo. Las ecuaciones que definen el caudal aportado por cada una de estas subcuencas son las siguientes:

Río Vizcachas

El caudal aportado por el río Vizcachas (Q_v) se obtiene directamente de la estación fluviométrica “río Vizcachas en cerro Guido”.

Río Baguales

El caudal aportado por el río Baguales (Q_b) se obtiene directamente de la estación fluviométrica "río Baguales en cerro Guido".

Río Zamora

El caudal aportado por el río Zamora (Q_z) se obtiene generando una serie sintética mediante el método de transposición de cuencas a partir de la estación fluviométrica representativa "río de Las Chinas en cerro Guido", la cual se selecciona debido a la similitud entre ambas cuencas. La ecuación que determina la generación de las series es la siguiente:

$$Q_z = FT \cdot Q_{efr} - D$$

$$FT = \frac{A_{Qz} \cdot P_{Qz}}{A_{Qefr} \cdot P_{Qefr}}$$

Donde,

- FT: Factor de transposición de cuencas
- Q_{efr} : Caudal en estación fluviométrica representativa
- D: Derechos superficiales de agua, constituidos y en trámite
- A_{Qefr} : Superficie de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa
- P_{Qefr} : Precipitación media anual de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa
- A_{Qz} : Superficie de la cuenca del río Zamora
- P_{Qz} : Precipitación media anual de la cuenca del río Zamora

Río Don Guillermo

El caudal aportado por el río Don Guillermo (Q_g) se obtiene directamente de la estación fluviométrica "río Don Guillermo en cerro Castillo".

Río de Las Chinas en cuenca intermedia

El caudal aportado por el río de Las Chinas en su cuenca intermedia ($Q_{ch_{int}}$) se obtiene de la resta entre el caudal observado en la estación "río de Las Chinas en desagüe al lago del Toro" y el caudal de los afluentes al río de Las Chinas, es decir, río Zamora, río Vizcachas y río Don Guillermo. La ecuación que define el caudal aportado por este tramo del río es el siguiente:

$$Qch_{int} = Qch - Qv - Qz - Qg - D$$

Donde,

- Qch: Caudal aportado por la cuenca completa del río de Las Chinas
- Qv: Caudal aportado por la cuenca del río Vizcachas
- Qz: Caudal aportado por la cuenca del río Zamora
- Qg: Caudal aportado por la cuenca del río Don Guillermo
- D: Derechos superficiales de agua, constituidos y en trámite

La Figura 7.4 presenta las cuencas definidas por la estaciones fluviométricas utilizadas, las cuencas de los ríos afluentes al río de Las Chinas y la cuenca aportante por el río de Las Chinas al lago del Toro.

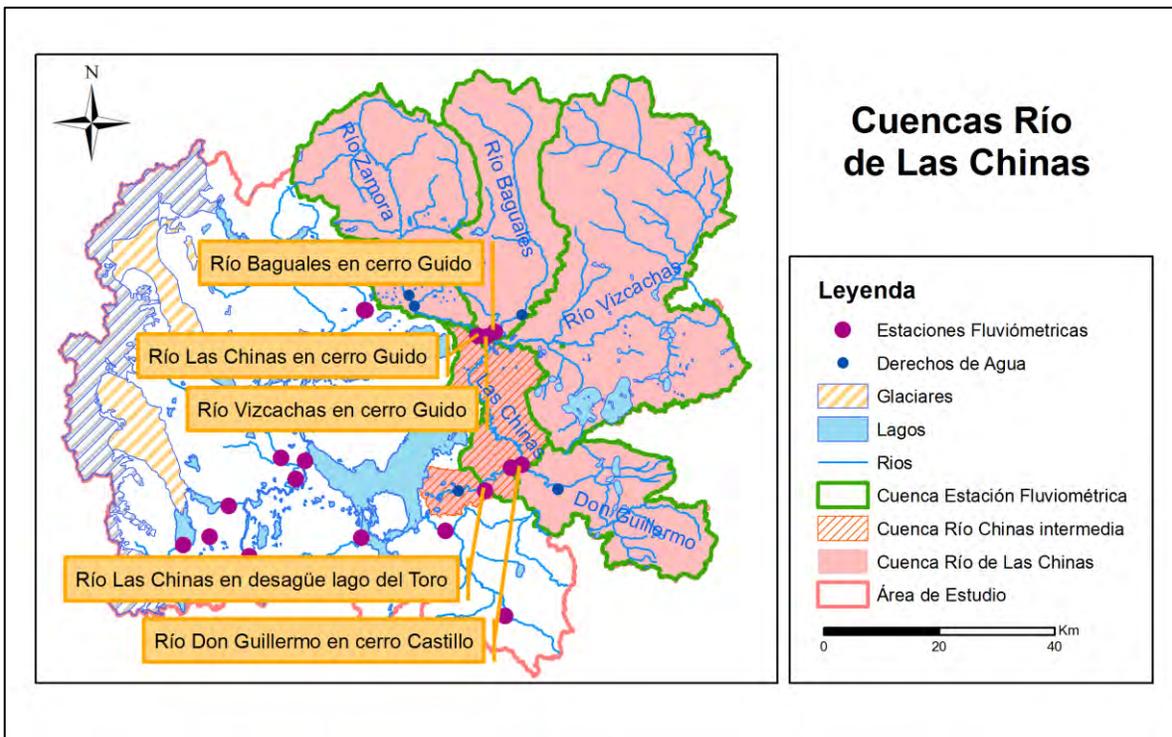


Figura 7.4. Cuencas de interés en río de Las Chinas.
Fuente: *Elaboración propia.*

7.2.3 Caudal aportante por la cuenca del río Paine

El caudal aportado por el río Paine se define utilizando la siguiente ecuación:

$$Qp = Qp_{ar} + Qp_{ab} + P - E - D$$

Donde,

- Q_p : Caudal del río Paine en lago del Toro
 Q_{par} : Caudal en estación fluviométrica río Paine en Parque Nacional, aguas arriba del lago Nordenskjöld
 Q_{pab} : Caudal sintético aportado por las cuencas que forman el macizo del Paine (río Ascencio, río del Francés y otros afluentes) y los afluentes aportantes al lago Pehoé, al lago Nordenskjöld y al río Paine en su tramo aguas abajo del Lago Pehoé. En esta serie de caudales debe considerarse un aporte glacial menor.
 D : derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
 P : Precipitación en la superficie de los lagos.
 E : Evaporación de los lagos.

El caudal sintético del macizo Paine Q_{pab} se obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_{pab} = FT \cdot Q_{efr}$$

$$FT = \frac{A_{Q_{pab}} \cdot P_{Q_{pab}}}{A_{Q_{efr}} \cdot P_{Q_{efr}}}$$

Donde,

- FT : Factor de transposición de cuencas
 Q_{efr} : Caudal en estación fluviométrica representativa del macizo Paine
 $A_{Q_{pab}}$: Superficie del macizo Paine más la superficie de los afluentes aportantes al lago Pehoé, al lago Nordenskjöld y al río Paine en su tramo aguas abajo del lago Pehoé
 $P_{Q_{pab}}$: Precipitación media anual de la cuenca aportante por el macizo Paine más los afluentes aportantes al lago Pehoé, al lago Nordenskjöld y al río Paine en su tramo aguas abajo del lago Pehoé
 $A_{Q_{efr}}$: Superficie de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa
 $P_{Q_{efr}}$: Precipitación media anual de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa

Para generar los caudales sintéticos Q_{pab} se considera la estación "río de Las Chinas en Cerro Guido" como estación representativa del macizo. La transposición con esta estación considera el aporte pluvial y nival de esta cuenca pero no considera un efecto regulador lacustre, ni tampoco el aporte glacial del macizo Paine. Para considerar este último aporte se utiliza el modelo Grados-Día, el que considera la siguiente ecuación de deshielo (Braithwaite y Zhang, 2000):

$$Q_{desh,j} = 3,86 \cdot 10^{-4} \cdot A_{desh} \cdot K \cdot \sum_{i=1}^n (T - T^*)^+$$

Donde,

- $Q_{desh,j}$: Caudal de deshielo del mes j (m³/s)
 A_{desh} : Superficie glacial (km²)

K: Factor grados-día (mm/(°C·día))
 T: Temperatura media diaria (°C)
 T*: Temperatura umbral de deshielo (°C)
 n: Números de días del mes j

La diferencia entre T y T^* debe ser positiva para ser considerada en la sumatoria mensual. Se considera una temperatura de 0°C como umbral de deshielo. La constante K se determina en base a valores propuestos en la literatura para una latitud de 51° S (Vergara et al., 2011), es decir, $K=7,2$ mm/(°C·día).

La Figura 7.5 presenta las cuencas definidas por la estaciones fluviométricas utilizadas y la cuenca aportante por el río Paine.

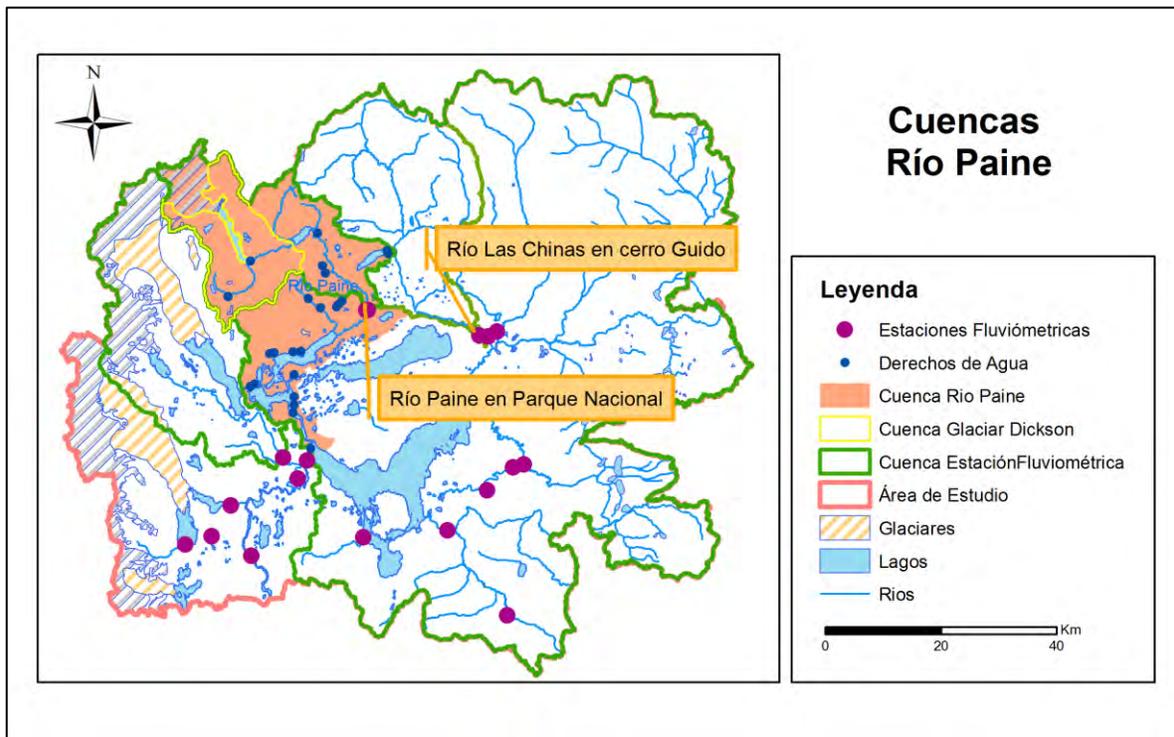


Figura 7.5. Cuencas de interés en río Paine.

Fuente: *Elaboración propia.*

7.2.4 Caudal aportante por la cuenca del río Rincón

El caudal aportado por el río Rincón (Q_r) se obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_r = Q_{r_0} + Q_a + P - E - D$$

Donde,

- D*: Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- P*: Precipitación en la superficie de los lagos Porteño y Maravilla
- E*: Evaporación de los lagos Porteño y Maravilla
- Q_{ro}*: Caudal observado y rellenado en la estación fluviométrica río Rincón
- Q_a*: Caudal sintético aportado por los afluentes adyacentes a los lagos Porteño y Maravilla

Los caudales sintéticos generados *Q_a* se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_a = FT \cdot Q_{efr} - D$$

$$FT = \frac{A_{Qa} \cdot P_{Qa}}{A_{Qefr} \cdot P_{Qefr}}$$

Donde,

- FT*: Factor de transposición de cuencas
- Q_{efr}*: Caudal en estación fluviométrica representativa
- D*: Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- A_{Qa}*: Superficie completa de los afluentes adyacentes a los lagos Porteño y Maravilla, sin considerar la cuenca definida por la estación río Rincón.
- P_{Qa}*: Superficie completa de los afluentes adyacentes a los lagos Porteño y Maravilla, sin considerar la cuenca definida por la estación río Rincón.
- A_{Qefr}*: Superficie de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa
- P_{Qefr}*: Precipitación media anual de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa

La Figura 7.6 presenta las cuencas definidas por la estaciones fluviométricas utilizadas y la cuenca aportante por el río Rincón.

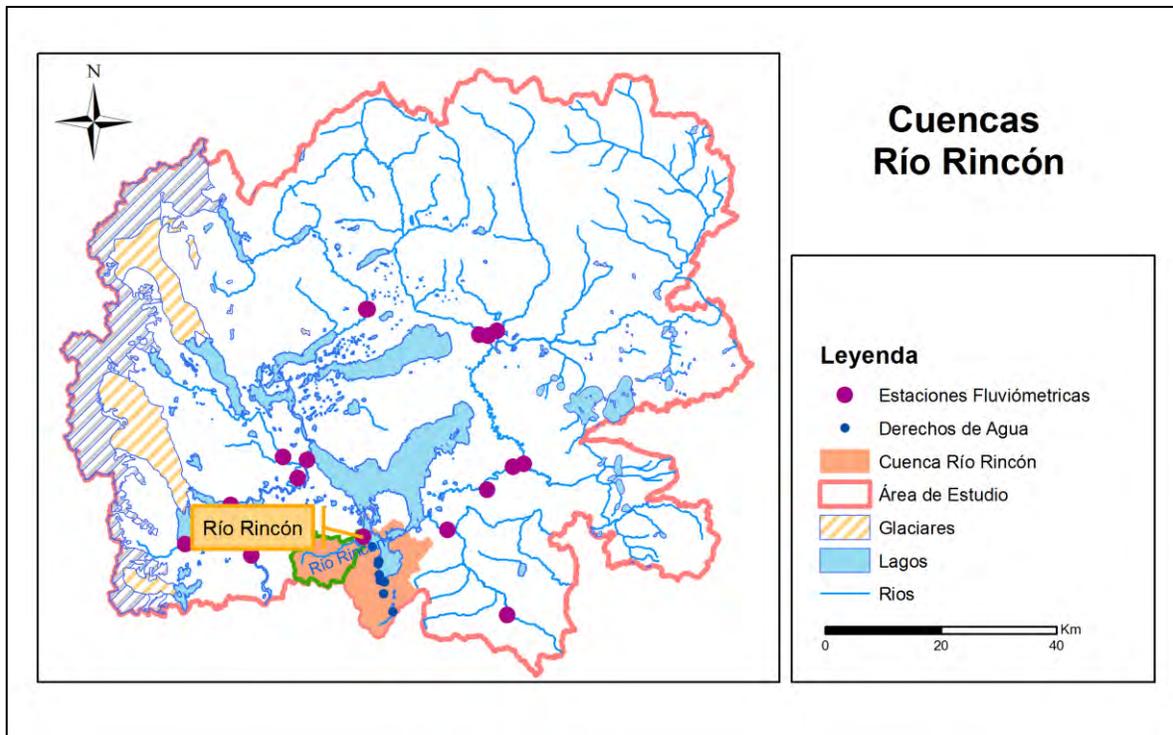


Figura 7.6. Cuencas de interés en río Rincón.
Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Caudal aportante por los afluentes al lago del Toro

El caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago del Toro (Q_a) se determina mediante una serie sintética generada mediante transposición de cuencas a partir de la estación fluviométrica representativa "río Tres Pasos en ruta 9", la cual se selecciona debido a la similitud entre ambas cuencas. Las ecuaciones que definen las series sintéticas generadas son las siguientes:

$$Q_a = FT \cdot Q_{efr} - D$$

$$FT = \frac{A_{Qa} \cdot P_{Qa}}{A_{Qefr} \cdot P_{Qefr}}$$

Donde,

- FT : Factor de transposición de cuencas
- Q_{efr} : Caudal en estación fluviométrica representativa
- D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- A_{Qa} : Superficie completa de afluentes adyacentes al lago del Toro
- P_{Qa} : Precipitación anual de la cuenca conformada por los afluentes adyacentes al lago del Toro
- A_{Qefr} : Superficie de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa
- P_{Qefr} : Precipitación media anual de la cuenca aportante en la estación fluviométrica representativa

Con el fin de ajustar de mejor manera las series sintéticas, se aplican factores de calibración en el primer término de la ecuación de generación de caudales en esta subcuenca. Estos factores son los mismos utilizados en la cuenca del río Tres Pasos, ya que se asume que el comportamiento hidrológico del caudal en el río Tres Pasos es similar al de la cuenca aportante por los afluentes al lago del Toro.

La Figura 7.7 presenta las cuencas definidas por la estaciones fluviométricas utilizadas y la cuenca aportante por los afluentes al lago del Toro.

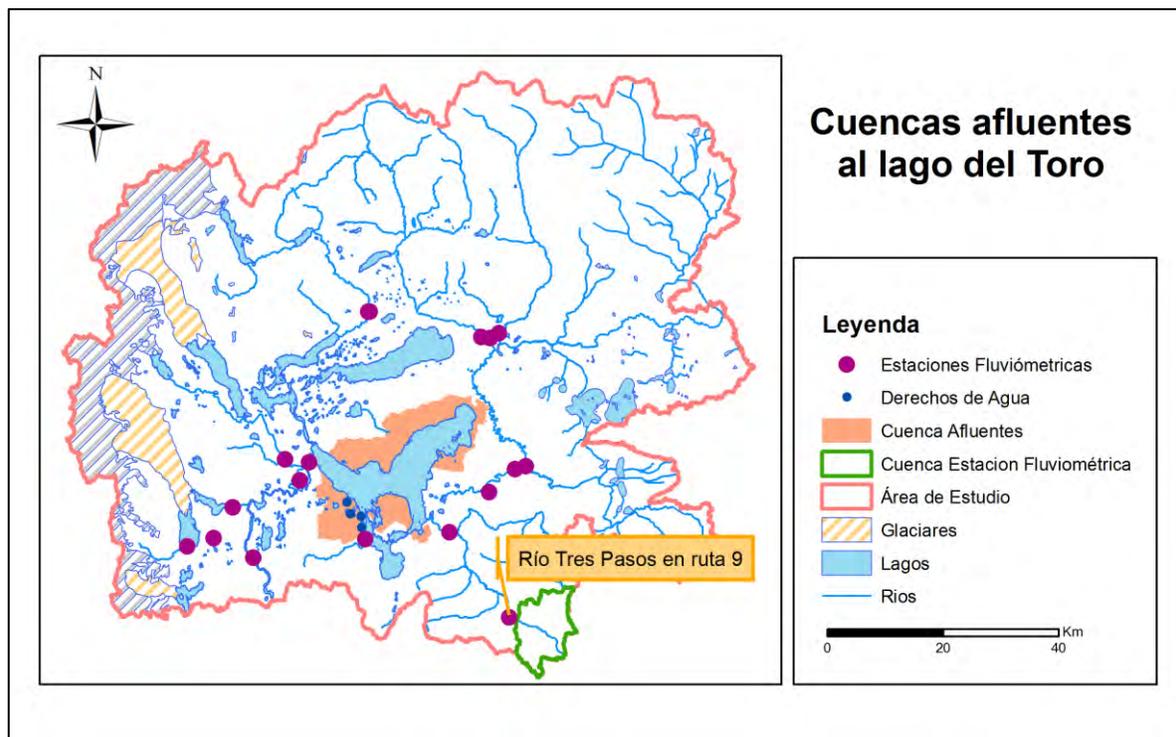


Figura 7.7. Cuencas de interés en afluentes al lago del Toro.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.6 Caudal de salida en el río Serrano

El caudal de salida del lago del Toro por el río Serrano (Q_s) se obtiene directamente de la estación fluviométrica "río Serrano en desagüe lago del Toro", la cual se ubica justo a la salida del lago del Toro. Esta estación se utiliza para comparar la serie sintética de salida del lago, la cual se define como la suma de las series sintéticas de entrada al lago, contemplando el efecto que produce el lago.

7.2.7 Almacenamiento en lagos

Además del lago del Toro, existen 6 lagos pertenecientes al sistema: Dickson, Paine, Nordenskjöld, Pehoé, Porteño y Maravilla. En cada lago se definen las ecuaciones de balance hídrico que relaciona las entradas, las salidas y su almacenamiento. También se estima la precipitación, se evalúa la evaporación y se determina el efecto regulador de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla. Esto último, a través de la curva volumen vs elevación determinada por el levantamiento topo-batimétrico (Sección 6) y la curva de descarga.

7.2.7.1 Ecuaciones de balance hídrico

Las ecuaciones que definen el balance de cada lago son las siguientes:

- Lago Dickson

$$\Delta S_D = Qg_D + Qa + P - E - D - Qs_D$$

Donde,

ΔS_D : Almacenamiento del lago Dickson
 Qa : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Dickson
 P : Precipitación en la superficie del lago Dickson
 E : Evaporación del lago Dickson
 D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
 Qs_D : Caudal de salida del lago Dickson

- Lago Paine

$$\Delta S_{PA} = Qs_D + Qa + P - E - D - Qs_{PA}$$

Donde,

ΔS_{PA} : Almacenamiento del lago Paine
 Qs_D : Caudal de salida del lago Dickson
 Qa : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Paine y al río Paine en el tramo entre el lago Dickson y el lago Paine
 P : Precipitación en la superficie del lago Paine
 E : Evaporación del lago Paine
 D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
 Qs_{PA} : Caudal de salida del lago Paine

- Lago Nordenskjöld

$$\Delta S_{PN} = Q_{SPA} + Qa + P - E - D - Q_{SPN}$$

Donde,

- ΔS_{PN} : Almacenamiento del lago Nordenskjöld
- Q_{SPA} : Caudal de salida del lago Paine
- Qa : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Nordenskjöld y al río Paine en el tramo entre el lago Paine y el lago Nordenskjöld
- P : Precipitación en la superficie del lago Nordenskjöld
- E : Evaporación del lago Nordenskjöld
- D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- Q_{SPN} : Caudal de salida del lago Nordenskjöld

- Lago Pehoé

$$\Delta S_{PE} = Q_{SPN} + Qa + P - E - D - Q_{SPE}$$

Donde,

- ΔS_{PE} : Almacenamiento del lago Pehoé
- Q_{SPN} : Caudal de salida del lago Nordenskjöld
- Qa : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Pehoé
- P : Precipitación en la superficie del lago Pehoé
- E : Evaporación del lago Pehoé
- D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- Q_{SPE} : Caudal de salida del lago Pehoé

- Lago Porteño

$$\Delta S_P = Qr_0 + Qa + P - E - D - Q_{SP}$$

Donde,

- ΔS_P : Almacenamiento del lago Porteño
- Qr_0 : Caudal aportado por el río Rincón
- Qa : Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Porteño
- P : Precipitación en la superficie del lago Porteño
- E : Evaporación del lago Porteño
- D : Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- Q_{SP} : Caudal de salida del lago Porteño

- Lago Maravilla

$$\Delta S_M = Q_{SP} + Qa + P - E - D - Qr$$

Donde,

- ΔS_M : Almacenamiento del lago Maravilla
- Q_{SP} : Caudal de salida del lago Porteño

- Qa: Caudal aportante por los afluentes adyacentes al lago Maravilla
- P: Precipitación en la superficie del lago Maravilla
- E: Evaporación del lago Maravilla
- D: Derechos de agua superficiales en trámite y otorgados
- Qr: Caudal de salida del lago Maravilla, igual al caudal aportante por el río Rincón en el balance hídrico del lago del Toro.

7.2.7.2 Evaporación

La evaporación de agua superficial en los lagos se obtiene mediante la ecuación de balance de energía (Chow et al., 1994):

$$E = 86,7 \cdot \frac{R_n}{l_v \cdot \rho_w}$$

Donde,

- E: Evaporación del lago (mm/día)
- R_n: Radiación neta (W/m²)
- l_v: Calor latente de vaporización (kJ/kg)
- ρ_w: Densidad del agua, igual a 997 (kg/m³)

El calor latente de vaporización (l_v) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$l_v = 2.501 - 2,37 \cdot T$$

Donde,

- T: Temperatura media del aire (°C)

El valor de la evaporación obtenida al aplicar ambas ecuaciones se compara con la evaporación observada en la estación meteorológica Torres de Paine, en el estudio Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987), y con la evaporación observada entre los años 2004 y 2012 en la estación Jorge Schythe ubicada en Punta Arenas (Anales Instituto Patagonia, 2004-2013). Los resultados se muestran en la sección 7.7, de Resultados.

7.2.7.3 Curva de volumen vs elevación

La curva de volumen vs elevación se estima a partir de la batimetría realizada en los lagos del Toro, Porteño y Maravilla para el presente estudio (Sección 6). Las curvas de los Lagos del Toro, Porteño y Maravilla se presentan en las siguientes secciones. Es recomendable obtener a futuro las curvas para los otros lagos existentes en la cuenca de manera de completar el modelo en sus componentes lacustres.

7.2.7.4 Curva de descarga

La curva de descarga de un lago representa el caudal de salida del lago en función de la cota del mismo lago con respecto a un nivel de referencia. En el presente informe, esta curva se estima mediante una modelación hidráulica en el desagüe de los lagos, determinando el eje hidráulico en el perfil de salida del lago para diferentes caudales. Esta curva determina el flujo máximo de salida de los lagos.

La modelación hidráulica consiste en modelar la propagación de un caudal a lo largo de un cauce. Para esto se utiliza el modelo unidimensional HEC-RAS, versión 4.1.0 del US. Army Corps of Engineers (2010) ⁵, el cual resuelve la ecuación de balance de energía utilizando el método directo por etapas para calcular las variables hidráulicas en cada perfil batimétrico, comenzando por un perfil cuya condición de flujo es conocida.

7.2.8 Estimación del caudal mediante el método de Turc

Con el objetivo de estimar el caudal en función de temperaturas y precipitaciones, para posteriormente realizar un análisis de cambio climático, se determina el caudal mediante la metodología de Turc (Turc, 1954). Este método asume un balance hídrico anual de la siguiente manera:

$$Q = A \cdot (P - ET) \cdot 3,17 \cdot 10^{-5}$$

Donde,

- Q: Caudal medio anual (m³/s)
- A: Superficie de la cuenca (km²)
- P: Precipitación anual (mm)
- ET: Evapotranspiración media anual (mm)

La evapotranspiración de Turc (E) se evalúa con las siguientes ecuaciones:

⁵ <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

$$ET = \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{ET_0}\right)^2}}$$

$$ET_0 = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3$$

Donde,

ET: Evapotranspiración media anual (mm)
P: Precipitación anual (mm)
ET₀: Evapotranspiración probable (mm)
T: Temperatura media del aire (°C)

Para obtener proyecciones de cambio climático en una serie de caudales se debe definir una serie adimensional, dividiendo la serie de caudales mensuales por el caudal medio anual del escenario actual. Posteriormente, esta serie adimensional puede ser multiplicada por proyecciones futuras del caudal medio anual, obteniendo una serie de caudales mensuales proyectados a futuro. El caudal medio anual proyectado se obtiene mediante la metodología de Turc, considerando estimaciones futuras de precipitación y temperatura.

La metodología de Turc no es válida para cuencas muy intervenidas ni para cuencas con influencia lacustre.

7.3 Escenarios

En el presente informe se consideran dos escenarios diferentes para caracterizar las cuencas de entrada al lago del Toro:

- Escenario 1: Situación Actual

Este escenario considera la generación de series mediante las metodologías descritas, considerando el efecto regulador de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla.

- Escenario 2: Cambio Climático y Demanda Futura

Este escenario considera tres proyecciones futuras del clima y, para cada una de ellas, tres proyecciones futuras de la demanda de recursos hídricos. En total son 9 combinaciones.

7.4 Calibración

Dado que se cuenta con datos observados dentro de la cuenca, es posible desarrollar una calibración de las series modeladas en cuencas con estaciones fluviométricas, es decir, comparando los valores observados tanto en caudales como en las cotas de los lagos.

Esta calibración se desarrolla tanto en la ecuación de generación de series sintéticas como en la curva de volumen vs elevación de los lagos. En la Tabla 7.1 se presentan los indicadores estadísticos utilizados para analizar la serie de errores entre los caudales modelados y observados.

Tabla 7.1. Indicadores estadísticos.

Indicador Estadístico	Ecuación	Observaciones
Bias o Sesgo	$Bias = \sum_{i=1}^n (Xo_i - Xm_i)$	Xo _i : serie observada Xm _i : serie modelada
Bias Porcentual (PBias)	$PBias = \frac{Bias}{\bar{Xo}} \cdot 100$	\bar{Xo} : promedio de la serie observada
Error Cuadrático Medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Xo_i - Xm_i)^2}$	-
Error Cuadrático Medio Porcentual (PRMSE)	$PRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Xo}} \cdot 100$	-
Nash-Sutcliffe (NSE)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Xo_i - Xm_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Xo_i - \bar{Xo})^2}$	NSE tiene valores entre $-\infty$ y 1. Entre más cercano a 1 es el valor, mejor es el ajuste.
Coefficiente de Determinación (R ²)	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Xm_i - \bar{Xo})^2}{\sum_{i=1}^n (Xo_i - \bar{Xo})^2}$	-

Fuente: Elaboración propia.

7.4.1 Series sintéticas

La mayoría de las series sintéticas no cuentan con datos observados para ser calibradas. La única serie sintética donde es posible realizar una calibración es en la serie de la cuenca definida por la estación fluviométrica río Tres Pasos en desagüe lago del Toro. Para calibrar esta serie, se grafica la correlación entre la serie observada y la serie sintética, encontrando la recta que mejor se ajuste a ésta mediante una regresión lineal, generando así una ecuación del tipo $y=ax+b$.

Esta ecuación es utilizada luego para corregir las series sintéticas de la siguiente forma:

$$X_{mc} = F_m * X_m + F_a$$

Ecuación 7.2. Modelo lineal para la generación de la serie sintética corregida

Donde X_{mc} es la serie sintética corregida; X_m es la serie sintética generada; y F_m y F_a son factores de calibración, multiplicativos y aditivos respectivamente.

La representación física del factor multiplicativo (F_m) responde a diferencias en la intensidad de los fenómenos reales en el punto de control con respecto a la estación representativa utilizada para generar los caudales sintéticos. La representación física del factor aditivo (F_a) responde a la presencia de entradas y salidas en el punto de control que no son representadas, por ejemplo afloramientos de agua a través de vertientes (Sivan et al., 2007).

De acuerdo al objetivo de este estudio, es necesario obtener una buena representación de los caudales más bajos. Es por esto que el factor F_a se ajusta manualmente, de modo que los caudales sintéticos bajos sean similares a los observados.

7.4.2 Curva de volumen vs elevación

Tal como se menciona en la Sección 6, la curva de volumen vs elevación de cada lago se realiza a partir de DEM de 5m generado. Considerando los errores asociados y que una mínima diferencia en la elevación puede significar un aumento importante en el volumen de un lago, se calibra la curva comparando las series observadas y modeladas en el "río Serrano en desagüe lago del Toro". Además, en base a los resultados de las cotas en los lagos Porteño y Maravilla, y del caudal que aporta el río Rincón al lago del Toro, se analiza la representación física de estos resultados y se evalúa una calibración de las curvas de estos lagos.

7.5 Desarrollo del modelo WEAP

El balance hídrico del lago del Toro se realiza en el modelo hidrológico WEAP, desarrollado por *Stockholm Environment Institute* (SEI), con el objetivo de obtener una herramienta que sea utilizada en la planificación de recursos hídricos. El modelo WEAP es capaz de simular un sistema hídrico ingresando las características de distribución hídrica del sistema (la oferta y demanda de agua) y la hidrología correspondiente. Este modelo es flexible a simular distintos escenarios, lo cual lo convierte en un modelo eficaz para la evaluación de impactos, por ejemplo, producto del cambio climático (Yates, 2005, a y b).

El desarrollo del modelo WEAP consiste en la creación de un esquema inicial de la cuenca en estudio, el cual considera la red principal de ríos que es necesario representar. Como referencia para el trazado de los ríos en la interfaz visual de WEAP, son utilizadas SIG procesadas en el software ArcGIS 10. Adicionalmente es importante definir los puntos de interés de cada uno de los ríos, definidos como aquellos en donde es necesario representar los caudales modelados. El modelo WEAP es un modelo semi-distribuido espacialmente, lo que implica que es necesario definir a priori aquellos puntos donde es necesario modelar los caudales. Estos puntos generalmente se asocian a la ubicación de estaciones fluviométricas, puntos de extracción de derechos, etc.

Para el caso particular de este estudio, y en base a la información disponible, se definió un paso de tiempo de modelación mensual, comprendiendo como periodo de calibración/validación, el periodo 1980-2015.

La Figura 7.8 muestra el módulo *Esquema* del modelo WEAP para el balance hídrico del lago del Toro. En el esquema ubicado en el centro-derecho de la figura se observan los ríos, cuencas, lagos, requerimientos de caudal (derechos de agua) y medidores de caudal (estaciones fluviométricas) incluidos en el modelo desarrollado. A la izquierda se observan los módulos del modelo: Esquema Inicial, Datos, Resultados, Explorador de Escenarios y Notas. Entre los módulos del modelo y el esquema se observan las capas generadas para la construcción del modelo. Las capas superiores corresponden a las capas generadas en WEAP, tales como ríos, embalses y requerimientos de caudal, medidores de caudal y su simbología, tal como aparecen en el esquema de la cuenca. Las capas inferiores corresponden a las capas agregadas al modelo, tales como ríos, cuencas y lagos del sistema, las cuales fueron generadas previamente en ArcGIS 10.

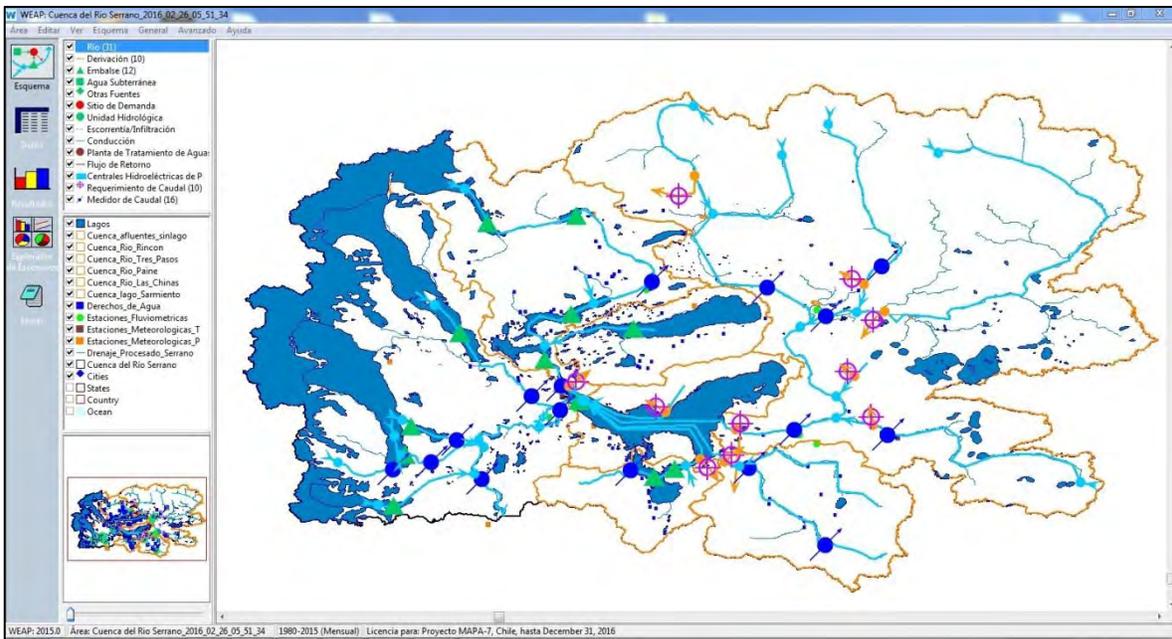
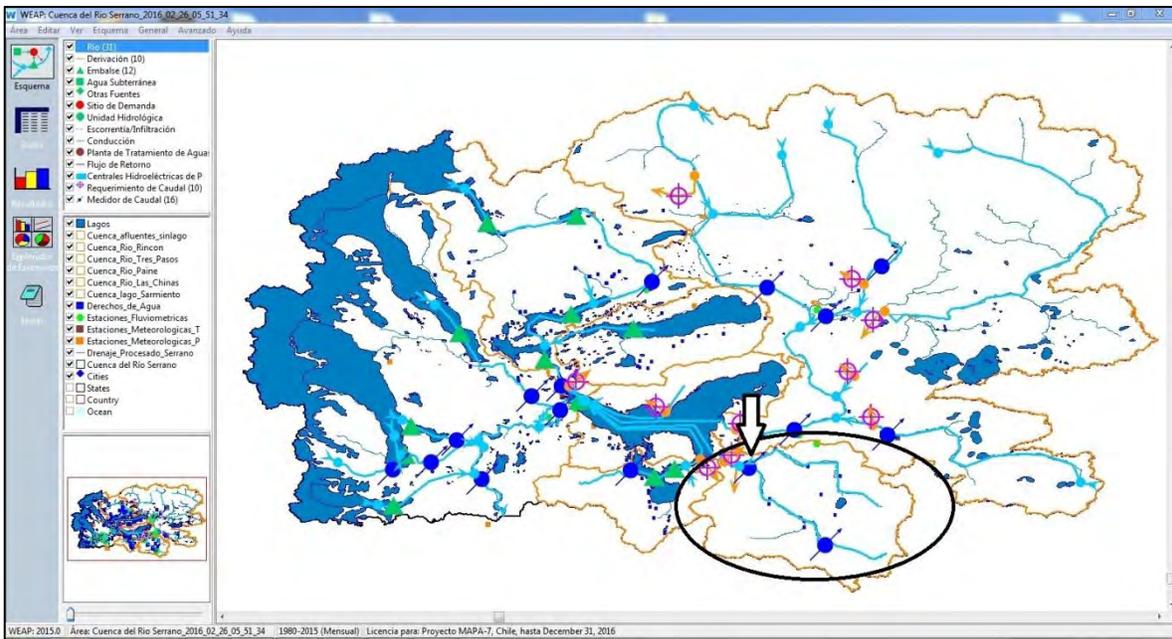


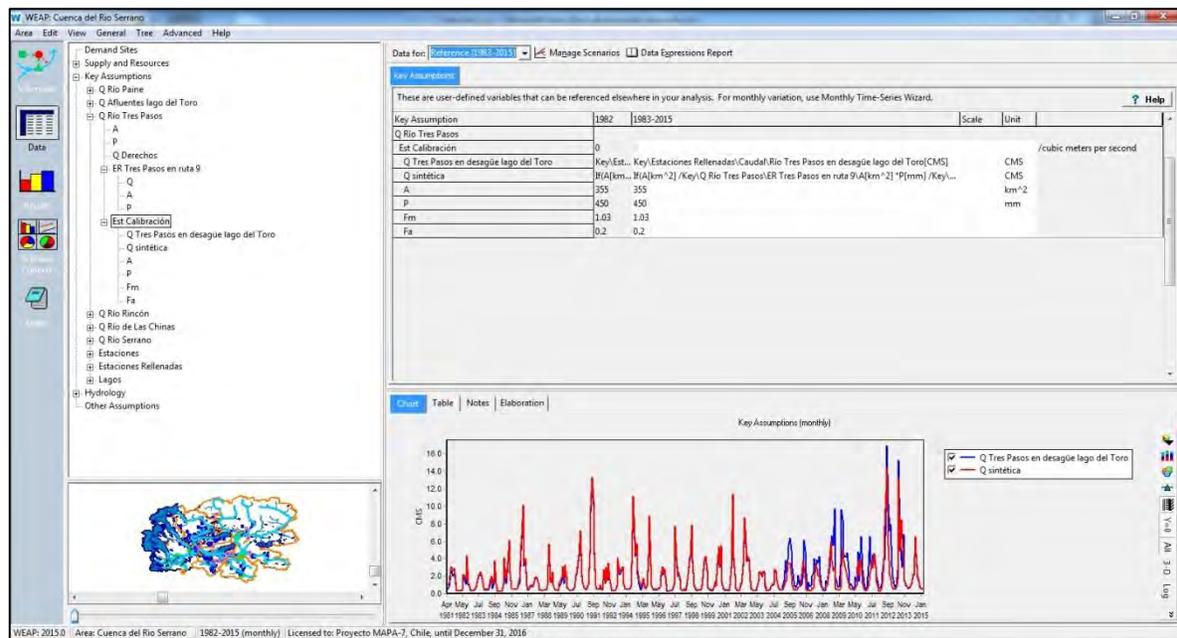
Figura 7.8. Esquema inicial del modelo WEAP.
Fuente: *Elaboración propia a partir del modelo WEAP.*

Luego, en el módulo *Datos*, se ingresan las ecuaciones descritas en los puntos de interés de cada río y los datos de entrada disponibles. En el presente estudio, se ingresan datos diarios de caudales, precipitaciones y temperaturas, los cuales son agrupados en resultados a nivel mensual en todos los puntos de interés.

La Figura 7.9 muestra un ejemplo del ingreso de datos y ecuaciones en el módulo *Datos* del modelo WEAP. La Figura 7.9 (a) muestra la cuenca del río Tres Pasos en el módulo *Esquema*, la cual se utiliza como ejemplo para mostrar el ingreso de los datos en WEAP. La flecha muestra el punto de control en la estación fluviométrica río Tres Pasos en desagüe lago del Toro. La Figura 7.9 (b) muestra, en el módulo *Datos*, la forma de ingreso de los datos de entradas al modelo. A la derecha de los módulos del modelo, se observa la estructura de los parámetros de entrada al modelo. En la derecha superior de la figura se observa el ingreso de las ecuaciones y los datos disponibles. A la derecha inferior se observan las curvas de las series generadas y observadas en el punto de control, es decir, en la estación río Tres Pasos en desagüe lago del Toro.



(a)



(b)

Figura 7.9. Ingreso de datos y ecuaciones en el modelo WEAP.
Fuente: Elaboración propia en base al modelo WEAP.

7.6 Datos de entrada

Entre los datos de entrada al modelo WEAP se encuentran los parámetros hidrológicos de las cuencas y lagos pertenecientes a la zona de estudio, además de los derechos superficiales de agua en cada cuenca. Además, se incluye una proyección futura de las variables climáticas y la demanda de recursos hídricos.

7.6.1 Parámetros hidrológicos

En esta sección se presentan los parámetros hidrológicos de cada cuenca, los datos utilizados para estimar el aporte glacial del macizo Paine y los datos de entrada para la modelación de los lagos.

7.6.1.1 Caracterización de las cuencas

Los parámetros hidrológicos que se utilizan para generar series sintéticas en las cuencas, mediante el método de Transposición, se determinan a partir de la información disponible y la metodología de Turc.

Dentro de la información disponible se encuentran las isoyetas generadas por el Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987) y las estaciones meteorológicas administradas por la DGA en la zona de estudio. En la Figura 7.10 se muestran estas estaciones y las isoyetas del Balance Hídrico Nacional. Para cada estación, se detalla su temperatura media anual y su precipitación acumulada media anual, información que fue obtenida en base a la agregación mensual de los registros DGA para meses con más de 24 registros diarios y luego, para años con más de 10 meses completos. Aquellas estaciones que no poseen información suficiente para generar un cálculo de media anual, aparecen como s/i. Se detalla además la altura sobre el nivel del mar a la que se ubica cada una de estas estaciones, información que fue extraída desde un modelo de elevación digital ASTER.

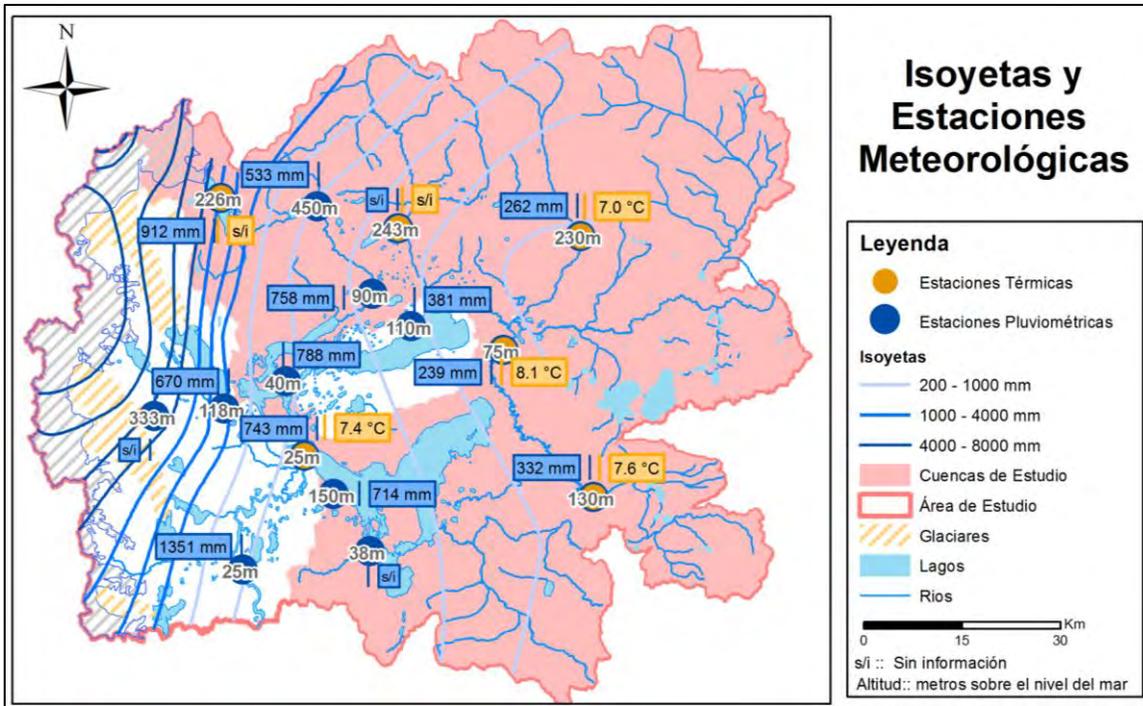


Figura 7.10: Isoyetas y estaciones meteorológicas en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Dado que la altitud media de las cuencas en estudio es superior a la altitud de las estaciones meteorológicas (Figura 7.10 y Tabla 7.3), se obtiene una regresión lineal entre la altitud y la precipitación media anual de las estaciones meteorológicas, de manera de estimar la precipitación en función de la altitud, y así encontrar la precipitación en la altitud media de cada cuenca. La Figura 7.11 muestra la regresión encontrada.

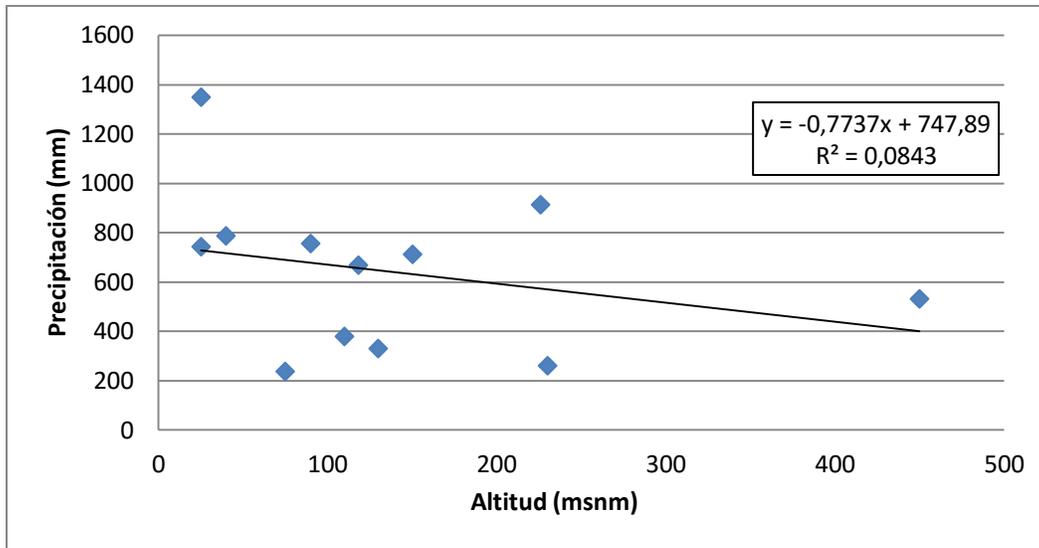


Figura 7.11. Regresión lineal de precipitación media anual vs altitud en las estaciones meteorológicas.

Fuente: *Elaboración propia.*

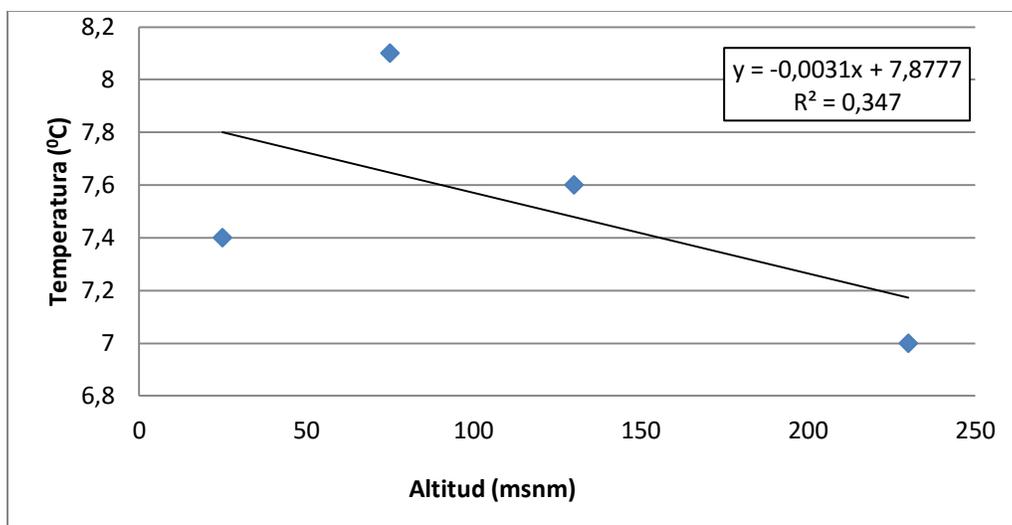
La ventaja de esta estimación es su simpleza y fácil implementación. Pero una de sus desventajas es que no toma en cuenta procesos físicos más complejos y asume que esta relación lineal se cumple siempre, lo cual en la realidad no es así.

Tal como se observa de la Figura 7.11, la correlación entre la precipitación y la altitud de las estaciones meteorológicas es muy baja, por lo que no es posible encontrar la precipitación de las cuencas a partir de su altitud. Si se usa una relación logarítmica, el R^2 sube a poco más de 20%, siendo aún insuficiente para ser usada en este estudio.

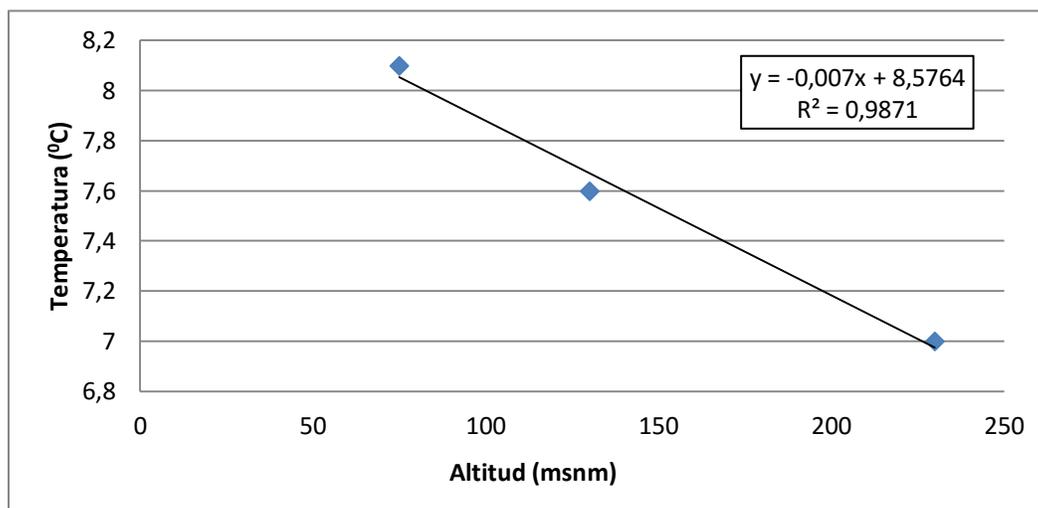
Otra alternativa para estimar la precipitación media anual de una cuenca es a través del método de Turc. Para encontrar esta precipitación, se compara el caudal medio anual observado en una estación fluviométrica con el caudal medio anual calculado a través del método de Turc en la misma cuenca. La precipitación utilizada para calcular el caudal de Turc debe tener un valor tal que ambos caudales sean iguales. Luego se verifica que este valor sea consecuente con las precipitaciones de la Figura 7.10.

Para encontrar la precipitación a través del método de Turc es necesario conocer la temperatura media anual de cada cuenca. Ésta se obtiene a través de una estimación lineal entre la altitud y la temperatura media anual observada en las estaciones meteorológicas "Cerro Guido", "Cerro Castillo" y "río de Las Chinas en cerro Guido" (Figura 7.12b). No se considera la estación "Torres del Paine"

ya que se aleja de la regresión lineal (Figura 7.12a). Con esto, se asume que la estimación lineal sólo es válida para el lado este del sector en estudio. Las precipitaciones del lado oeste del sector en estudio se extraen de la Figura 7.10, usando el Balance Hídrico Nacional. Por otro lado, las estaciones fluviométricas en los ríos Paine y Rincón están influenciadas por lagos, por lo que tampoco es posible utilizar la metodología de Turc para el cálculo del caudal. La Figura 7.12b muestra la ecuación utilizada para encontrar la temperatura media anual en función de la altitud de las cuencas.



(a)



(b)

Figura 7.12. Regresión lineal de temperatura media anual vs altitud en las estaciones meteorológicas. (a) Incluyendo la estación Torres del Paine. (b) Sin incluir la estación Torres del Paine.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de las precipitaciones, la relación lineal usada es una forma simplificada de estimación de temperaturas para el lado oriental de la cuenca. En este caso, sólo se usan tres estaciones para construir la relación lineal de temperaturas medias con respecto a la altitud, por lo que en el futuro sería aconsejable mejorar esta estimación usando otros métodos más complejos (pero que requieren más datos y mayores recursos), como por ejemplo modelos topoclimáticos, datos provenientes de satélites, relaciones usando bases de datos en grillas (de WorldClim, Reanalysis), etc.

La Tabla 7.2 muestra los resultados de la metodología de Turc en las cuencas de las estaciones fluviométricas ubicadas en el lado este del sector de estudio. Al igualar los caudales observados con el caudal obtenido con la metodología de Turc se obtienen precipitaciones bastante coherentes con las precipitaciones observadas en las estaciones meteorológicas y en las isoyetas, a excepción de la cuenca del río Tres Pasos, donde se obtiene precipitaciones superiores a las registradas. Esta cuenca tiene un alto grado de intervención humana, por lo que se considera más confiable la información extraída de la Figura 7.10. Con esto, sólo es posible representar la cuenca del río de Las Chinas con la metodología de Turc.

Tabla 7.2. Resultados de la metodología de Turc.

Estación fluviométrica	T (°C)	ET₀ (mm)	ET (mm)	P (mm)	Q Turc (m³/s)	Q observado (m³/s)
río Baguales en cerro Guido	3,1	379	286	435	3,06	3,08
río Vizcachas en cerro Guido	4,4	414	282	385	5,35	5,32
río Don Guillermo en cerro Castillo	5,5	446	231	270	0,62	0,61
río de Las Chinas en cerro Guido	3,2	382	330	655	8,25	8,25
río de Las Chinas en desagüe lago del Toro	4,3	411	290	410	14,78	14,77
río Tres Pasos en ruta 9	5,6	449	307	420	0,36	0,36
río Tres Pasos en desagüe lago del Toro	5,4	443	364	640	3,1	3,11

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros hidrológicos utilizados en la modelación de WEAP en las cuencas estudiadas se presentan en la Tabla 7.3. Con estos parámetros se calculan los factores de transposición utilizados para generar las series sintéticas de caudales.

Tabla 7.3. Parámetros hidrológicos en las cuencas del modelo.

Cuencas		Área (km ²)	Altitud media (msnm)	Precipitaciones (mm)
Cuencas de estaciones fluviométricas	río Tres Pasos en desagüe lago del Toro	355	460	450
	río Tres Pasos en ruta 9	101	425	330
	río Rincón	76	720	750
	río Paine en Parque Nacional	523	740	900
	río de Las Chinas en desagüe lago del Toro	3.898	610	410
	río de Las Chinas en cerro Guido	800	770	655
	río Vizcachas en cerro Guido	1.637	600	385
	río Baguales en cerro Guido	647	780	435
	río Don Guillermo en cerro Castillo	497	435	270
Cuencas de series sintéticas de interés	Afluentes al lago del Toro	253	380	600
	río Tres Pasos	595	410	450
	Afluentes al río Rincón	148	385	450
	Macizo Paine y afluentes	343	603	600
	río Zamora	421	910	800

**El área de las cuencas no incluye lagos ni glaciares.*

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7.4 presenta el Factor de Transposición utilizado para generar las series sintéticas, tanto en las cuencas definidas por las estaciones fluviométricas como en otras cuencas de interés.

Tabla 7.4. Factor de Transposición.

Cuencas		$FT = \frac{A_1}{A_2} * \frac{P_1}{P_2}$	Estación Fluviométrica Representativa
Cuencas de estaciones fluviométricas	río Tres Pasos en desagüe lago del Toro	4,8	río Tres Pasos en ruta 9
Cuencas de series sintéticas de interés	Afluentes al lago del Toro	4,5	río Tres Pasos en ruta 9
	río Tres Pasos	8	río Tres Pasos en ruta 9
	Afluentes al río Rincón	1,2	río Rincón
	Macizo Paine y afluentes	0,4	río de Las Chinas en cerro Guido
	río Zamora	0,6	río de Las Chinas en cerro Guido

Fuente: Elaboración propia.

7.6.1.2 Aporte glacial del macizo Paine

Para estimar los caudales de deshielo del macizo Paine, se utilizan las temperaturas medias diarias de la estación meteorológica "Lago Dickson", considerando un gradiente térmico de $-6,5^{\circ}\text{C}$ en 1000 m. La cota de la estación meteorológica "Lago Dickson" y del macizo Paine es 226 y 800 msnm, respectivamente. La superficie glacial se estima en 8 km^2 aproximadamente.

Dado que para el registro completo de estudio sólo se cuenta con valores rellenados mensuales en esta estación, se utilizan los datos diarios disponibles entre los años 2000 y 2004 para estimar una relación entre las temperaturas medias mensuales y los caudales mensuales de deshielo. Los días sin información son rellenados con la temperatura media de ese mes, obtenido de la serie de temperaturas mensuales rellenadas en esta estación.

La Figura 7.13 muestra la relación entre los caudales de deshielo mensuales y las temperaturas medias mensuales. La relación se obtiene del promedio de las temperaturas mensuales, entre 2000 y 2004, y el promedio de los caudales de deshielo obtenidos para cada año, entre 2000 y 2004.

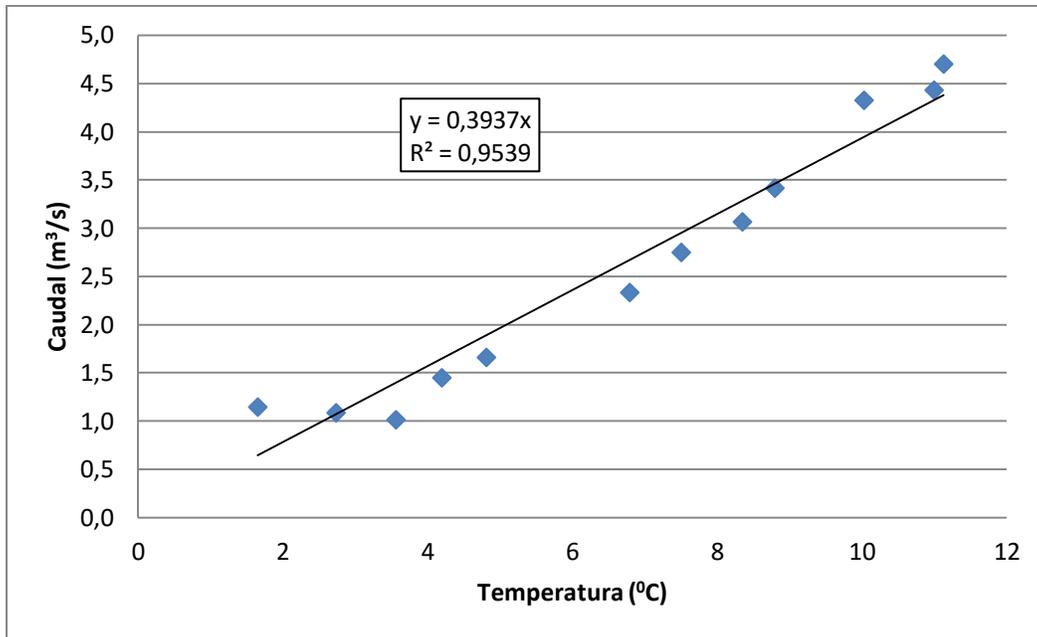


Figura 7.13. Relación caudal de deshielo vs temperatura media mensual.
Fuente: Elaboración propia.

7.6.1.3 Datos de entrada en los lagos

Entre los datos de entrada en los lagos al modelo WEAP se encuentran la evaporación, la curva de volumen vs elevación, la cota de descarga del lago y la curva de descarga.

Evaporación

La evaporación de los lagos se asume similar en todos los lagos en estudio, ya que la ubicación de éstos es muy cercana. Los datos utilizados para evaluar la evaporación son: radiación solar neta, temperatura media mensual y precipitación media mensual.

La radiación solar neta se obtiene de los datos observados el año 2008 en la estación meteorológica situada en la planta Posesión de ENAP, ubicada en la latitud **52° 15' 36.98" S y 68° 56' 7.41" W**, al oriente de Punta Arenas (Santana et al., 2010)). La Tabla 7.5 muestra la radiación solar neta mensual utilizada.

Tabla 7.5. Radiación solar neta, estación Posesión

Mes	Radiación Solar Neta (W/m ²)
Abril	2,3
Mayo	-18,3
Junio	-26,3
Julio	-19,4
Agosto	-1,5
Septiembre	37,1
Octubre	66,3
Noviembre	109,7
Diciembre	136,1
Enero	131,6
Febrero	87,6
Marzo	42,1

Fuente: Santana et al., 2010.

Tanto las precipitaciones medias mensuales como las temperaturas medias mensuales se obtienen de la estación meteorológica Torres del Paine, ubicada a 25 msnm.

Con esta información se calcula la evaporación mensual media en los lagos, la que se compara con la evaporación observada en la estación meteorológica "Torres de Paine", en el estudio Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987), y con la evaporación observada entre los años 2004 y 2012 en la estación "Jorge Schythe" ubicada en Punta Arenas (Anales Instituto Patagonia, 2004-2013).

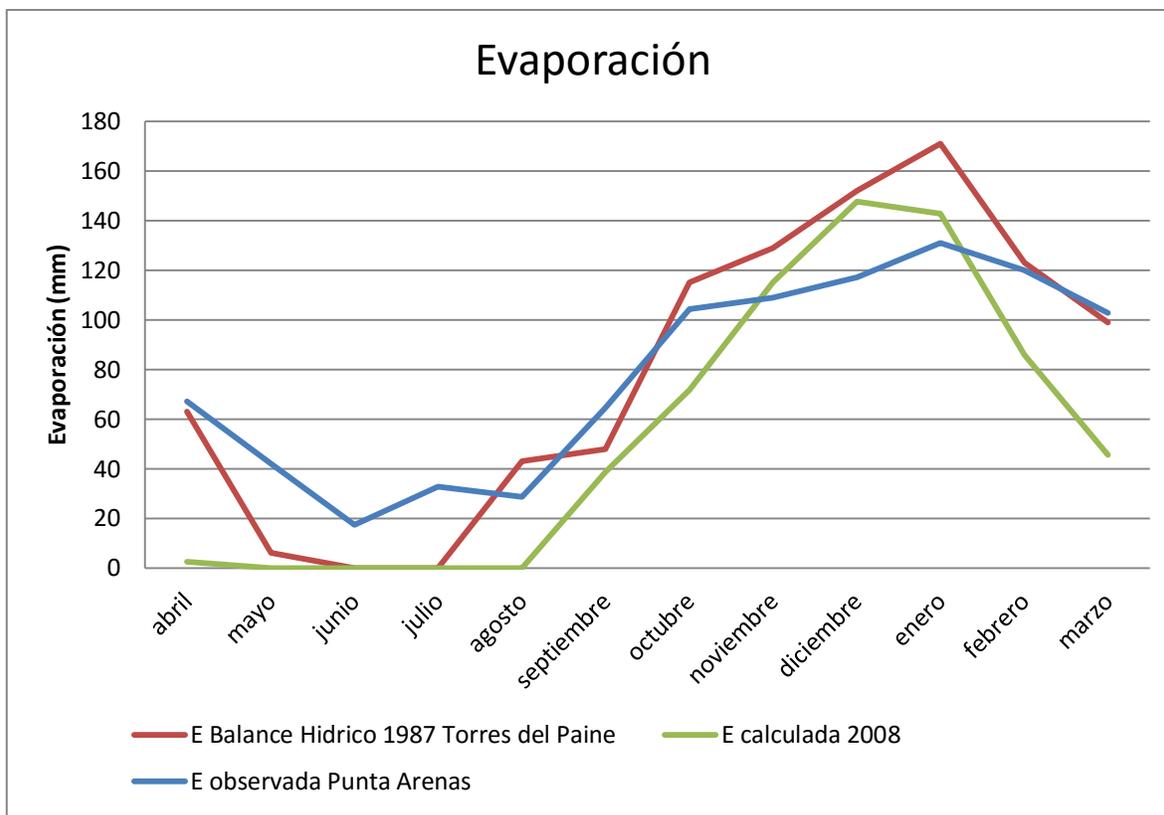


Figura 7.14. Evaporación observada y calculada en Magallanes.

Fuente: *Elaboración propia, DGA (1987), Anales Instituto Patagonia (2004-2013) y Santana et al. (2010).*

Curvas de volumen vs elevación

Las curvas de volumen vs elevación de cada lago se obtienen del levantamiento topo-batimétrico (Sección 6).

Cota de descarga de los lagos

Aunque en la Tabla 6.4 se presentan los volúmenes almacenados según las cotas de los lagos, la descarga de caudal desde los lagos hacia sus respectivos ríos o canales de desagüe no se inicia hasta que estos lagos alcancen cierta cota o nivel mínimo, que está dado por la geografía de la zona de descarga y las condiciones hidráulicas de los ríos de desagüe.

Las cotas en la cuales se inicia la descarga de cada lago se presenta en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6. Elevación de descarga de los lagos.

Lago	Cota de descarga (msnm)
Lago del Toro	22,8
Porteño	30,75
Maravilla	23,55

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el Lago Porteño comienza a alimentar al Lago Maravilla una vez que su nivel de agua supera los 30,75 m (siempre medidos sobre el nivel del mar). A su vez, el Maravilla desagua en el Lago del Toro cuando su cota supera los 23,55m. Por último, el Lago del Toro desagua sus aguas en el río Serrano siempre y cuando su nivel está sobre los 22,8m.

Curva de descarga de lagos

El caudal máximo de salida de los lagos se representa a través de la curva de descarga, la cual estima un caudal de salida en función de la altura de descarga. Esta curva se determina mediante una modelación hidráulica en el modelo HEC RAS. Las condiciones en las que se desarrolla la modelación hidráulica para cada uno de los lagos es la siguiente:

- Tramo modelado

El tramo modelado en el río Serrano, en el desagüe del lago del Toro, tiene un largo de 1.165 m. Se obtienen 12 perfiles transversales del levantamiento topo-batimétrico (Sección 6) en 535 m de largo, separados por aproximadamente 50 m, los que comienzan en la cota de descarga del lago. Además se agrega el perfil transversal de la estación fluviométrica "río Serrano en desagüe lago del Toro". Este perfil se obtiene del aforo realizado el 11 de marzo de 1998 por la DGA, ajustando la cota de la superficie del agua con el DEM obtenido del levantamiento topo-batimétrico (Sección 6) y la pendiente del tramo. La cota mínima de este perfil se estima en 22,1 msnm.

El tramo modelado en el desagüe del lago Porteño tiene un largo de 170 m. Se obtienen 15 perfiles transversales del levantamiento topo-batimétrico (Sección 6), separados por aproximadamente 10 y 20 m.

El tramo modelado en el desagüe del lago Maravilla tiene un largo de 270 m. Se obtienen 16 perfiles transversales del levantamiento topo-batimétrico (Sección 6), separados entre aproximadamente 10 y 50 m.

- Rugosidad del cauce

Para caracterizar la rugosidad del cauce, se adopta un coeficiente n de Manning de 0,03 en el lecho del río y 0,05 en las riberas cubiertas por pastos y arbustos (US Army Corps of Engineers, 2010). Estos valores son similares en los tres cauces.

- Condiciones de borde

Dado que el tramo de los tres cauces tiene un comportamiento de río, se requiere de una condición de borde aguas abajo. En el caso del lago del Toro, se ingresa una condición de borde de altura conocida para diferentes caudales. Esta información fue proporcionada por la DGA y corresponde a la curva de descarga de la estación "río Serrano en desagüe lago del Toro" (Figura 7.15). En los casos del lago Porteño y Maravilla, se ingresa una condición de borde de altura normal (derivada de la ecuación de Manning), la que se determina con la pendiente longitudinal del tramo entre el perfil inicial y final (0,0906 m/m en el lago Porteño y 0,0904 m/m en el lago Maravilla).

- Caudales modelados

Los caudales modelados para determinar la curva de descarga del lago del Toro corresponden a los caudales utilizados en la curva de descarga de la estación fluviométrica "río Serrano en desagüe lago del Toro". El caudal máximo de esta curva es de 350 m³/s, mientras el máximo observado en la serie mensual de esta estación es aproximadamente 200 m³/s.

Los caudales modelados para determinar la curva de descarga se definen en base a los caudales generados en la cuenca del río Rincón, sumando los caudales observados en la estación "río Rincón" y los caudales sintéticos aportados por los afluentes a los lagos Porteño y Maravilla. El caudal máximo de la serie de entrada al lago es aproximadamente 40 m³/s, por lo que se decide evaluar caudales entre 2 y 100 m³/s para generar la curva de descarga.

La curva de descarga obtenida en cada lago se presenta entre la Figura 7.15 y Figura 7.17.

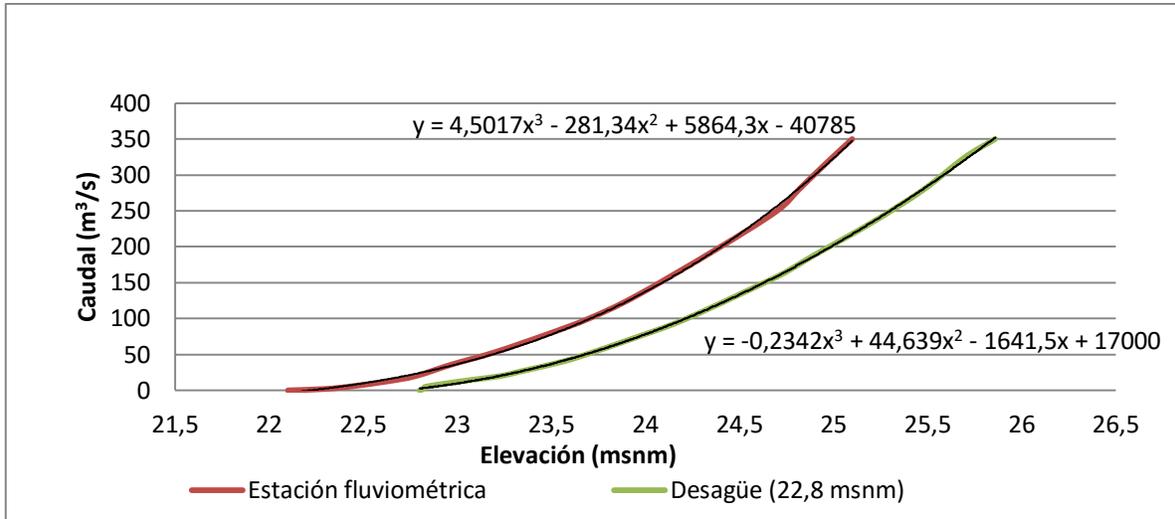


Figura 7.15. Curva de descarga lago del Toro.

Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la DGA.*

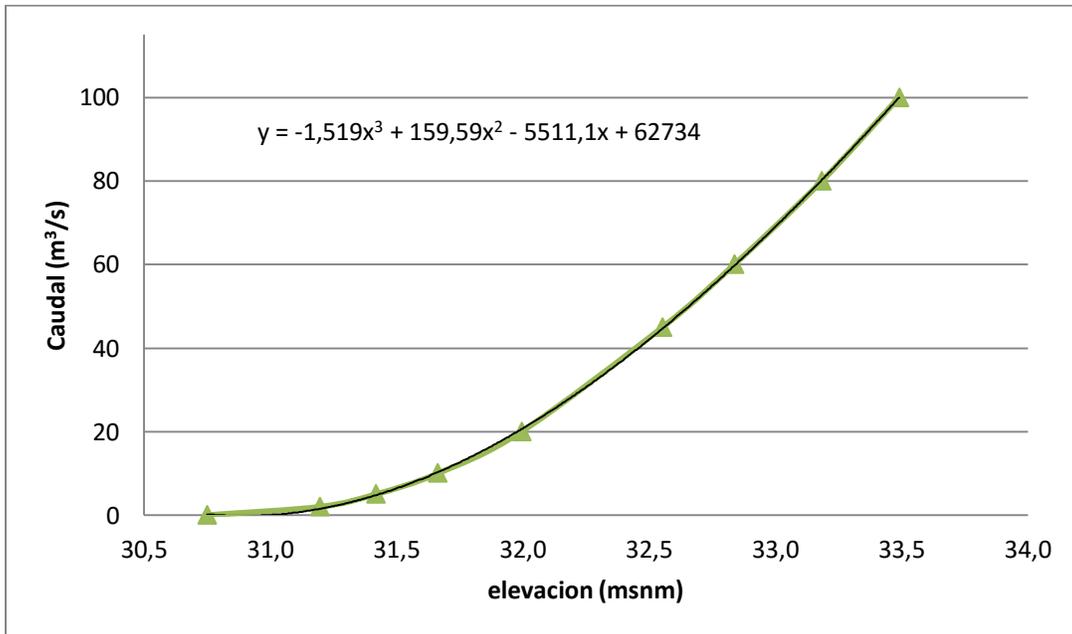


Figura 7.16. Curva de descarga lago Porteño.

Fuente: *Elaboración propia.*

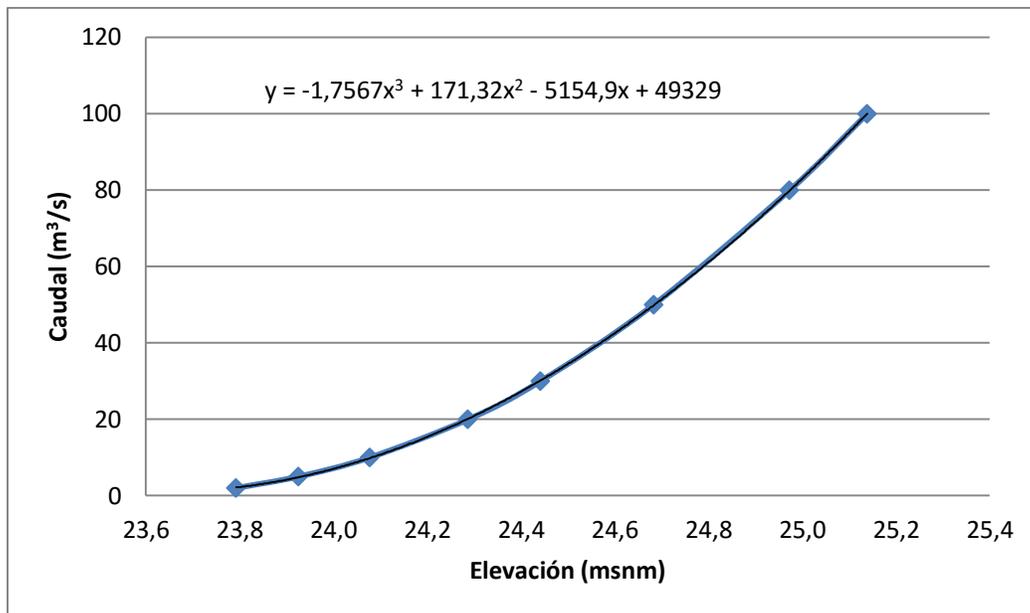


Figura 7.17. Curva de descarga lago Maravilla.
Fuente: Elaboración propia.

7.6.2 Requerimientos hídricos

En esta sección se presentan los requerimientos hídricos considerados en cada cuenca. Entre estos se encuentran los derechos superficiales de agua consuntivos permanentes y eventuales, los derechos superficiales de agua no consuntivos permanentes y eventuales, y el caudal ecológico de cada río.

Para efectos de la modelación en WEAP, el caudal ecológico tiene una prioridad 1, los derechos permanentes tienen una prioridad 2 y los derechos eventuales tienen una prioridad 3. Los caudales. Los derechos no consuntivos se ubican aguas arriba de los derechos consuntivos.

7.6.2.1 Derechos superficiales de agua

Los caudales de derechos de aguas superficiales descontados en las ecuaciones del balance hídrico de cada cuenca corresponden a los derechos constituidos del registro DGA para la zona de estudio. Los caudales de derechos se diferencian según el tipo y ejercicio de derecho, es decir, en consuntivos permanentes y eventuales y no consuntivos permanentes y eventuales. Debido a que la fecha de resolución de los derechos es reciente en comparación al registro de las estaciones, la modelación considera que los derechos son extraídos a partir del

año 2001. Entre la Tabla 7.7 y Tabla 7.10 se presentan los derechos superficiales de agua según el tipo y ejercicio de derecho.

Tabla 7.7. Caudales de derechos superficiales consuntivo permanente (m³/s).

	Afluentes	Río Baguales	Río de Las Chinas intermedia	Río Paine	Río Rincón	Río Tres Pasos	Río Vizcachas	Total general
Abr	0,03	-	3,60	0,48	0,25	0,09	-	4,54
May	0,05	-	4,32	0,46	0,31	0,10	-	5,31
Jun	0,09	-	1,76	0,40	0,27	0,09	-	2,68
Jul	0,14	-	2,27	0,36	0,47	0,11	-	3,50
Ago	0,20	-	2,58	0,36	0,40	0,10	-	3,76
Sept	0,19	-	5,44	0,40	0,38	0,10	-	6,73
Oct	0,17	-	18,50	0,47	1,04	0,19	-	20,51
Nov	0,07	0,33	18,50	0,48	1,18	0,14	0,25	20,99
Dic	0,04	-	9,02	0,48	0,50	0,25	-	10,22
Ene	0,03	-	4,73	0,48	0,23	0,26	-	5,63
Feb	0,03	-	2,89	0,48	0,12	0,11	-	3,68
Mar	0,03	-	3,09	0,48	0,21	0,10	-	3,97

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por DGA.

Tabla 7.8. Caudales de derechos superficiales consuntivo eventual (m³/s).

	Afluentes	Río Baguales	Río de Las Chinas en cerro Guido	Río de Las Chinas intermedia	Río Paine	Río Rincón	Río Tres Pasos	Río Vizcachas	Total general
Abr	0,14	0,39	0,03	14,90	0,03	0,55	0,17	0,95	17,14
May	0,20	-	-	10,45	0,04	0,41	0,16	-	11,26
Jun	0,35	-	-	8,85	0,10	0,56	0,17	-	10,04
Jul	0,30	-	-	8,36	0,14	0,87	0,15	-	9,74
Ago	0,24	-	0,30	11,84	0,13	0,92	0,16	-	13,56
Sept	0,26	0,70	0,03	13,06	0,11	1,18	0,16	0,21	15,55
Oct	0,27	1,24	0,33	-	0,04	1,20	0,07	1,80	4,88
Nov	0,23	0,91	0,33	-	0,03	1,13	0,12	1,55	4,33
Dic	0,10	1,24	0,33	9,48	0,03	2,00	0,01	1,80	15,13
Ene	0,06	-	0,30	8,51	0,03	0,85	-	-	9,91
Feb	0,07	-	-	9,80	0,03	0,55	0,15	-	10,61
Mar	0,11	-	0,30	9,91	0,03	0,70	0,15	-	11,22

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por DGA.

Tabla 7.9. Caudales de derechos superficiales no consuntivo permanente (m³/s).

	Río Baguales	Río Don Guillermo	Río Paine	Río Tres Pasos	Total general
Abr	0,09	0,04	0,30	1,21	1,64
May	0,09	0,04	0,30	1,13	1,56
Jun	0,09	0,06	0,16	1,48	1,79
Jul	0,09	0,08	0,13	1,87	2,17
Ago	0,09	0,08	0,15	1,71	2,03
Sept	0,09	0,08	0,18	1,99	2,35
Oct	0,09	0,08	0,30	2,33	2,80
Nov	0,09	0,08	0,30	1,69	2,16
Dic	0,09	0,04	0,30	1,62	2,05
Ene	0,09	0,04	0,30	1,38	1,81
Feb	0,09	0,04	0,30	1,17	1,60
Mar	0,09	0,04	0,30	1,10	1,53

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por DGA.

Tabla 7.10. Caudales de derechos superficiales no consuntivo eventual (m³/s).

	Río Don Guillermo	Río Tres Pasos	Total general
Abr	0,06	1,56	1,62
May	0,06	2,71	2,77
Jun	0,04	3,51	3,56
Jul	0,02	3,38	3,40
Ago	0,02	5,18	5,20
Sept	0,02	3,20	3,22
Oct	0,02	3,90	3,91
Nov	0,02	4,71	4,73
Dic	0,06	3,32	3,37
Ene	0,06	1,74	1,80
Feb	0,05	1,30	1,34
Mar	0,06	1,64	1,70

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por DGA.

7.6.2.2 Caudal ecológico

En lo que respecta a la inclusión de los caudales ecológicos definidos en cada una de las cuencas modeladas, se filtraron y removieron del análisis aquellos caudales ecológicos sobre derechos constituidos sobre lagos, dado que no se pudo definir la unidad y/o justificación de los montos reportados. Es posible que para una siguiente etapa se pueda avanzar en clarificar este punto con el objeto de incluir estos caudales ecológicos en el análisis.

Por otro lado, la representación de caudales ecológicos considera el valor máximo reportado en cada subcuenca de entre todos los caudales ecológicos asignados, a diferencia de los derechos de aprovechamiento en los cuales se considera la suma de éstos en cada unidad.

Este supuesto se usó de manera de que se respetara el caudal ecológico mayor por sección de río. Esto bajo el supuesto de que para cada unidad es el caudal ecológico máximo el que determina el caudal mínimo que debe escurrir por el río para cada sección para mantener el ecosistema del cauce y de las cuencas. En la Tabla 7.11 se presenta el caudal ecológico de cada cuenca.

Tabla 7.11. Caudal ecológico (m³/s).

Cuenca	Total
Afluentes	0,019
Río Baguales	0,28
Río Guillermo	0,019
Río las Chinas Cerro Guido	0,6
Río las Chinas intermedia	1,1
Río Paine	35,5
Río Rincón	0,103
Río Tres Pasos	0,6
Río Vizcachas	0,25

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por DGA.

7.6.3 Prioridades en el modelo WEAP

La modelación en WEAP se desarrolla mediante distintas prioridades en la entrega de agua a los distintos componentes del sistema. Es decir, los distintos nodos de demanda o de acumulación de agua tienen un parámetro de Prioridad dentro del modelo el cual es un número entero entre 1 y 99, siendo 1 el valor de mayor prioridad y 99, el de menor. De esta manera, si hay más de un elemento con demanda de agua, WEAP asignará el agua del sistema en orden de prioridades, partiendo por los nodos con mayor prioridad. Si hay más de un nodo con la misma prioridad, el agua se asigna de manera equitativa entre esos nodos y luego se asigna el agua a nodos con menor prioridad.

De este modo se respetan los procesos físicos y la normativa referente a la **distribución de derechos de agua establecida en el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" (DGA, 2008)**.

La Tabla 7.12 presenta la prioridad asignada a cada componente del sistema, según qué tipo de elemento eran y en qué posición se encontraba (aguas arriba o aguas abajo)

El lago del Toro aparece como el elemento con menor prioridad de uso (en este caso de llenado del lago) puesto el lago no le exige agua a ningún otro elemento, pero su desagüe depende de su curva de descarga. Por el contrario, los caudales ecológicos aparecen con alta prioridad, de manera de respetar ese caudal en cada una de las subcuencas de la zona de estudio.

Tabla 7.12. Prioridad de los componentes del sistema.

Componente	Prioridad
Curva de los lagos Porteño y Maravilla	1
Lagos Porteño y Maravilla	2
Caudal ecológico de un río aguas arriba	3
Caudal ecológico de un río aguas abajo	4
Derecho Permanente aguas arriba	5
Derecho Permanente aguas abajo	6
Derecho Eventual aguas arriba	7
Derecho Eventual aguas abajo	8
Curva de descarga lago del Toro	9
Lago del Toro	99

Fuente: Elaboración propia.

7.6.4 Proyecciones futuras

Para desarrollar un análisis de condiciones futuras, se estima una proyección climática y de demanda futura.

7.6.4.1 Cambio climático

Uno de los cambios más importantes que se pueden encontrar respecto de la información contenida en el cuarto y quinto informe del IPCC (2014) es el aumento en las evidencias respecto a cambios en distintas variables que ya estarían ocurriendo a distintas escalas (conocido como detección) y su conexión con el aumento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (conocido como atribución). Estas nuevas evidencias de detección y atribución existen ya no solo en términos de aumento en los niveles de temperatura, sino que en un número importante de variables que se relacionan de manera cada vez más clara con impactos en las actividades humanas o en las condiciones de ecosistemas. A modo de ejemplo de estos cambios se presenta en la síntesis del último informe del IPCC la Figura 7.18 que muestra los distintos impactos a

escala regional que pueden ya atribuirse a cambio climático y su nivel de confianza de sus estimaciones.

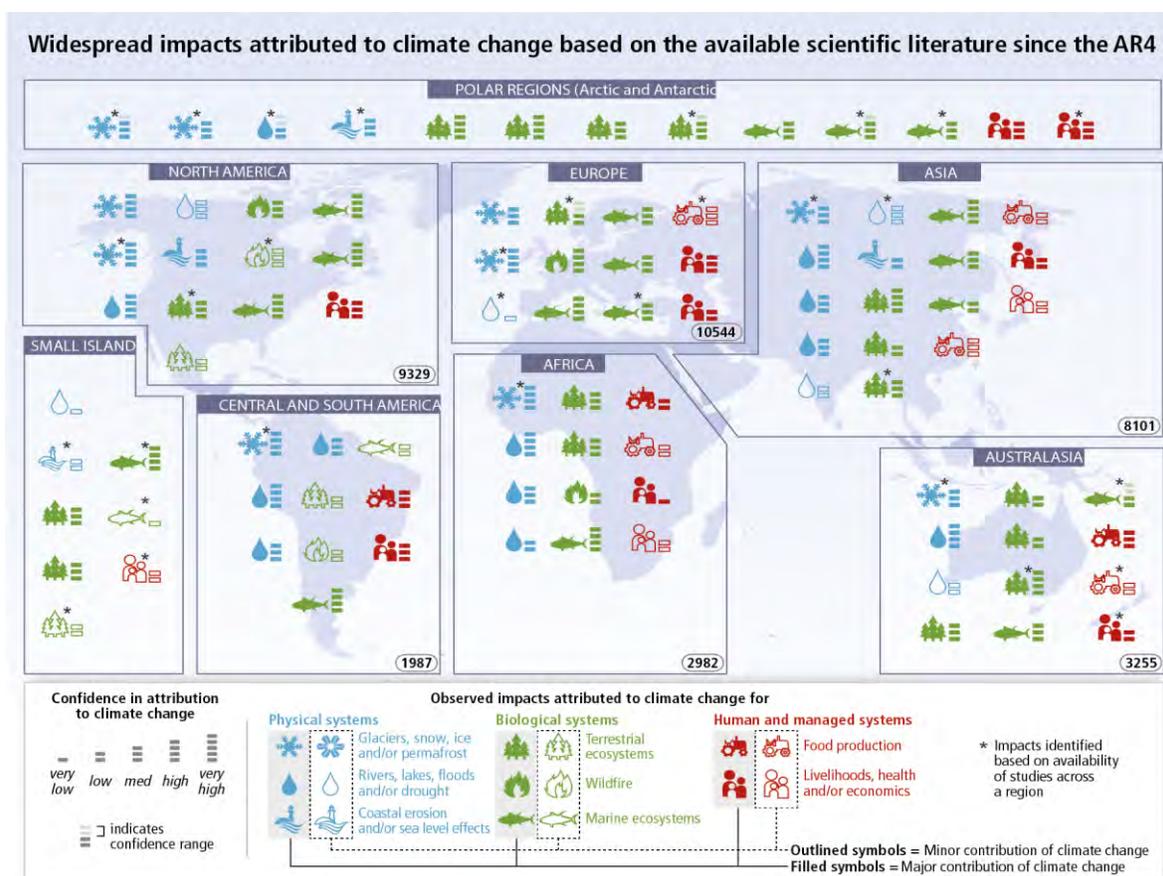


Figura 7.18. Impactos atribuidos a cambio climático en base a literatura disponible desde el AR4.

Fuente: Figure SPM.4 IPCC, 2014.

El nuevo informe del IPCC entrega un capítulo dedicado a recopilar esta información para cada una de las regiones del planeta. En el caso de Centro y Sudamérica la información se encuentra en Magrin et al. (2014). Es en este capítulo donde se entrega también información respecto a escenarios climáticos futuros y las posibles consecuencias.

La herramienta más avanzada en la actualidad para representar los procesos físicos que ocurren en la atmósfera, océanos, criósfera y superficie terrestre, y la forma en que estos se ven afectados por concentraciones crecientes de gases de efecto invernadero (GEI), son los modelos de circulación general o Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés). A través del uso de estas herramientas es que podemos generar proyecciones climáticas de largo plazo en distintos contextos geográficos, en particular en el caso chileno.

Los GCM simulan el sistema climático en base a las leyes y principios de la física que gobiernan los procesos que ocurren en cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí. Los modelos son capaces de simular con razonable confiabilidad la historia y la evolución futura del clima del planeta, forzados por diversos escenarios de emisiones de GEI, los cuales se asocian a posibles escenarios de desarrollo contruidos en base a criterios y supuestos socio-económicos.

La Figura 7.19 muestra una representación conceptual de este proceso. Los escenarios de emisión (a) son tomados como información de entrada por los GCM (b), los cuales entregan resultados de proyección respecto a variables climáticas, como la temperatura (c).

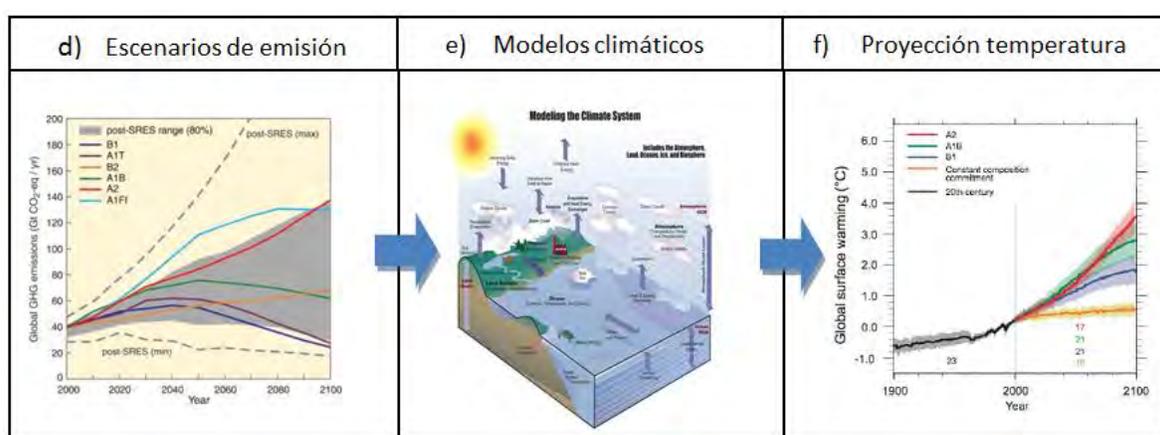


Figura 7.19. Representación conceptual de proceso de obtención de proyecciones climáticas.

Fuente: IPCC (2007)

La proyección de las variables climáticas futuras se determina a partir de varias simulaciones realizadas por los distintos GCM existentes en la actualidad. A su vez, los escenarios de cambio climático consideran distintas proyecciones, de manera que se proyecta un rango de posibilidades climáticas con ciertas probabilidades de ocurrencia (dada por la cantidad de modelos y simulaciones que entregan los valores futuros), más que un valor único de cambio climático, sin variabilidad ni incertidumbre.

Los RCP (o Rutas de Concentraciones Representativas por sus siglas en inglés) son cuatro trayectorias de concentraciones de gases de efecto invernadero adoptadas por el IPCC en su último reporte (Fifth Assessment Report (AR5)) en 2014 (Moss et al., 2008). Estas rutas son usadas para la modelación climática, en las que se describen cuatro posibles estados futuros, que consideran la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por la humanidad y de valores de energía acumuladas en el sistema tierra-océano-atmósfera al año 2100 sobre

el período pre-industrial. Estos cuatro escenarios son los RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 (+2.6, +4.5, +6.0 y+8.5 W/m², respectivamente).

En el análisis de cambio climático del presente estudio se consideran los escenarios RCP 2.6, RCP 6.0 y RCP 8.5. El escenario RCP 2.6 considera una detención en la emisión de gases, por lo que se usa un percentil bajo (P₂₅). El escenario RCP 6.0 considera medidas de mitigación futuras por lo que se usa un percentil medio (P₅₀). El escenario RCP 8.5 es más extremo ya que asume una proyección de emisión de contaminantes similar a la actual, por esto se usa un percentil alto (P₇₅). Dada la información disponible, sólo es posible realizar un análisis de cambio climático en la cuenca y subcuencas del río de Las Chinas, en los caudales de deshielos del macizo del Paine y en la precipitación y evaporación de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla (Sección 7.6.1). La Tabla 7.13 muestra las proyecciones de cambio climático de las temperaturas y precipitaciones en la cuenca y subcuencas del río de Las Chinas, en el macizo del Paine y en la precipitación y evaporación de los lagos (estación meteorológica Torres del Paine).

Las proyecciones se presentan como un valor de cambio entre el período actual y el año 2050: en las precipitaciones (P) corresponde a un factor multiplicativo adimensional sobre los promedios históricos de lluvia de cada cuenca y en las temperaturas (T) corresponde a un factor aditivo (en °C).

Tabla 7.13. Proyecciones futuras de variables meteorológicas.

	Escenario RCP 2.6 - P ₂₅		Escenario RCP 6.0 - P ₅₀		Escenario RCP 8.5 - P ₇₅	
	P	T (°C)	P	T (°C)	P	T (°C)
	Cuenca río de Las Chinas en desagüe lago del Toro	0,98	+0,70	1,00	+0,76	1,02
Cuenca río de Las Chinas en cerro Guido	0,98	+0,70	1,00	+0,76	1,02	+1,32
Cuenca río Baguales	0,98	+0,70	1,00	+0,76	1,02	+1,32
Cuenca río Vizcachas	0,98	+0,70	1,00	+0,76	1,02	+1,27
Cuenca río Don Guillermo	0,98	+0,70	1,00	+0,76	1,03	+1,20
Macizo Paine	0,99	+0,67	1,00	+0,74	1,02	+1,21
Estación Torres del Paine	0,99	+0,66	1,00	+0,74	1,02	+1,14

Fuente: Elaboración propia.

Es importante notar que tomando los rangos más extremos posibles de cambio climático, las precipitaciones no parecieran cambiar mucho (no más de un ±2% de variación con respecto a los valores actuales). Pero la temperatura si presenta un cambio importante, ya que incluso en el escenario más favorable, está podría aumentar en más de 0,7°C y llegando a aumentar hasta en 1,3°C en el escenario de mayor cambio.

Este cambio de las temperaturas podría afectar los procesos de derretimiento de hielo en el macizo del Paine, en la evapotranspiración de las subcuencas del río de Las Chinas y en la evaporación de los pagos.

7.6.4.2 Demanda futura

La proyección de la demanda futura se explica en la Sección 3.3.2 (Escenarios futuros para derechos de aprovechamiento de este documento).

La Tabla 7.14 muestra la tasa de proyección futura en la demanda de recursos hídricos para las diferentes cuencas en estudio, tanto para los derechos consuntivos como los no consuntivos. Se asume una proyección similar para los derechos permanentes y eventuales.

Tabla 7.14. Tasa de proyección futura en la demanda de recursos hídricos.

Consuntivo				
Cuencas	Escenarios BAU	Escenario Conservador (-30%)		Escenario Uso Intensivo (+30%)
		2015-2025	2025-2050	
Afluentes	1,50	1,05	2	1,95
río Baguales	3,80	2,66	2	4,94
río de Las Chinas en cerro Guido	3,80	2,66	2	4,94
río de Las Chinas intermedia	3,80	2,66	2	4,94
río Paine	6 (2015-2025) 2 (2025-2050)	4,20	2	7,8 (2015-2025) 2 (2025-2050)
río Rincón	3,80	2,66	2	4,94
río Tres Pasos	3,80	2,66	2	4,94
río Vizcachas	3,80	2,66	2	4,94
Promedio	3,79	2,65	2	4,92
No Consuntivo				
Cuencas	Escenarios BAU	Escenario Conservador (-30%)		Escenario Uso Intensivo (+30%)
		2015-2025	2025-2050	
río Baguales	6,00	4,20	2	7,80
río Guillermo	6,00	4,20	2	7,80
río Paine	6,00	4,20	2	7,80
río Tres Pasos	6,00	4,20	2	7,80
Promedio	6,00	4,20	2	7,80

Fuente: Elaboración propia.

7.7 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante el modelo WEAP, utilizando las series rellenadas de datos fluviométricos. Entre estos resultados se presenta la calibración de las series de caudales, el balance hídrico del lago del Toro y de la cuenca del río de Las Chinas, la disponibilidad de agua del sistema y las proyecciones futuras en distintos escenarios climáticos y de demanda de recursos hídricos.

7.7.1 Calibración

Para todo modelo desarrollado, es necesario realizar el proceso de calibración, de manera que el modelo pueda reproducir la realidad del sistema lo mejor posible. En este caso, se busca que los caudales modelados en ríos y los valores de cota y volumen de los lagos se asemejen a los valores observados, obtenidos en la etapa de recopilación de información.

En esta sección se presentan los resultados de las series donde es posible realizar una calibración, es decir, la serie sintética de caudales **de la estación "río Tres Pasos en desagüe lago del Toro"**, **el caudal modelado en la estación "río Serrano en desagüe del Lago del Toro"** y las curvas de volumen del lago del Toro, Porteño y Maravilla. En cada caso se presentan los valores comparativos, errores y otros indicadores de la bondad del ajuste.

7.7.1.1 Calibración serie sintética en río Tres Pasos

La serie del "río Tres Pasos en desagüe lago del Toro" se calibra de acuerdo a la metodología descrita en la Sección 7.4.1. Para comenzar se realiza un análisis de la serie de residuos (o errores entre las series generadas y las observadas) en los puntos donde se ubica la estación fluviométrica (Sección 7.4). En la Figura 7.20 se muestra la correlación entre las series observadas (X_o) y las series modeladas (X_m), la regresión lineal entre ambas series y el coeficiente de determinación. Para efectos del análisis de la serie de residuos y de la calibración se revisan las series sin considerar los años que fueron rellenados completamente, es decir, la serie entre 2005 y 2015.

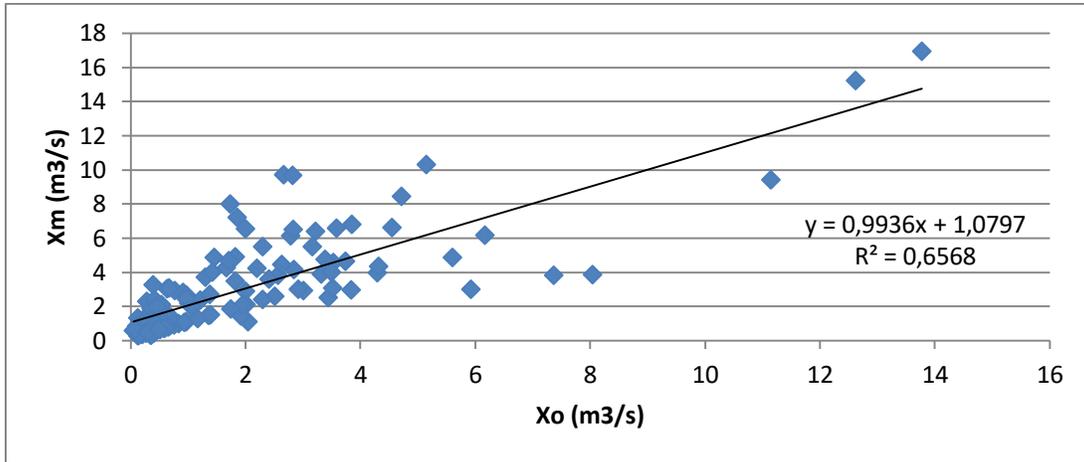


Figura 7.20. Correlación entre series en río Tres Pasos en desagüe lago del Toro.
Fuente: *Elaboración propia.*

En las figuras se puede observar que la serie sintética se ajusta a la serie observada en la cuenca de la estación fluviométrica río Tres Pasos en desagüe lago del Toro, obteniendo un R^2 igual a 0,65.

La Tabla 7.15 muestra el análisis realizado a la serie residual, tanto de la serie sintética como de la serie sintética corregida, y los factores F_a y F_m de la serie sintética corregida.

Tabla 7.15. Resultados de calibración en el río Tres Pasos.

	río Tres Pasos en desagüe lago del Toro	
	<i>Serie sintética</i>	<i>Serie sintética corregida</i>
$\overline{X_o}$ (m³/s)	2,9	
Número de datos	132	
Bias (m³/s)	141	71
PBias (%)	4,886	2,475
RMSE (m³/s)	1,96	1,78
PRMSE (%)	68	61,8
NSE	0,51	0,60
R^2	0,66	0,66
F_m	-	1,18
F_a	-	0,2

* $\overline{X_o}$: Promedio de la serie observada. PBias: Bias Porcentual. RMSE: Error Cuadrático Medio.
PRMSE: $RMSE/\overline{X_o}$. NSE: **Nash-Sutcliffe**. R^2 : Coeficiente de Determinación. F_m : Factor de
transposición multiplicativo. F_a : Factor de transposición aditivo.

Fuente: *Elaboración propia.*

De la Tabla 7.15 se observa una mejora en los valores de los indicadores estadísticos *RMSE* y *NSE* al corregir las series sintéticas de las cuencas. *Bias*, *PBias* disminuyen aproximadamente a la mitad, *RMSE* y *PRMSE* disminuyen levemente, *NSE* aumenta levemente y R^2 se mantiene.

No existe un criterio establecido para definir qué se entiende por un buen *RMSE*, ya que, al ser dimensional (en este caso m^3/s), éste depende de las magnitudes involucradas. En este sentido, un mejor indicador es el *NSE*, el cual tiene un rango entre $-\infty$ y **1**, siendo los valores más cercanos a 1 los que representan un mejor ajuste. Estudios realizados con WEAP obtienen valores de *NSE* entre 0,19 y 0,96 (Ingol-Blanco y McKinney (2009), Condom et al. (2011), Abrishamchi et al. (2007)). En el caso del río Tres Pasos se obtiene un *NSE* de la serie corregida igual a 0,6, el cual está en el rango de los valores encontrados en la literatura, por lo tanto se considera aceptable. Otra alternativa es utilizar un indicador adimensional del *RMSE*, como el *PRMSE*, que se obtiene dividiendo el *RMSE* por su promedio. En la literatura se encuentran valores de *PRMSE*, con series a nivel mensual, entre 39% y 131% (Ingol-Blanco y McKinney, 2009). En el caso del río Tres Pasos se obtiene un *PRMSE* de la serie corregida igual a 61,8%, el cual está en el rango de los valores encontrados en la literatura, por lo tanto se considera aceptable para este caso. De todas formas, si la corrección al modelo significa una mejora en los valores de los indicadores estadísticos, esta corrección se considera aceptable. En la Figura 7.21 se muestran las series observadas (X_o), sintéticas (X_m) y sintéticas corregidas (X_{mc}) del río Tres Pasos.

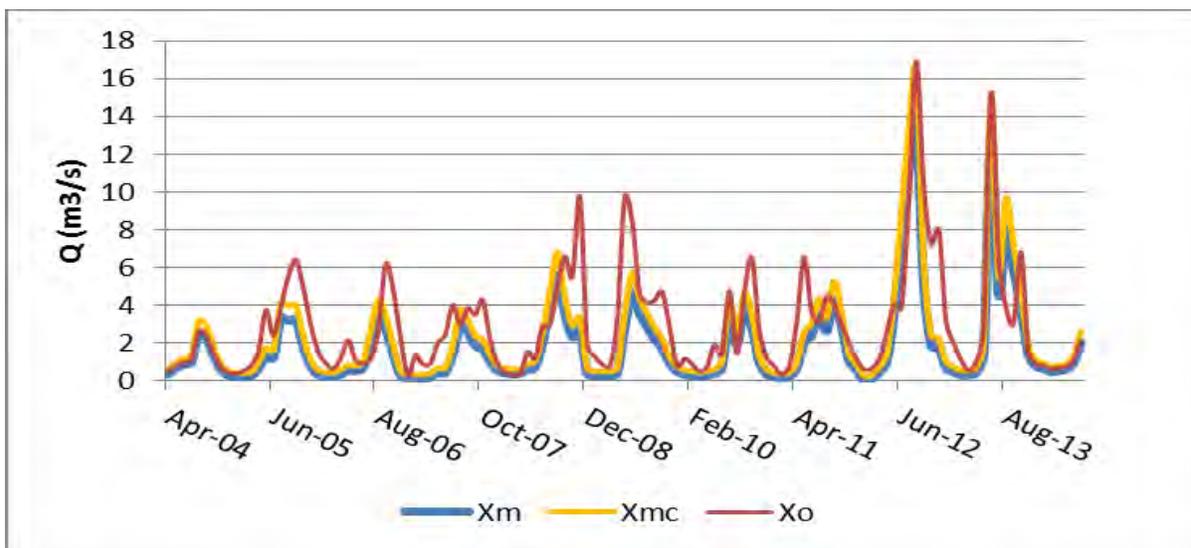


Figura 7.21. Series de caudales en río Tres Pasos en desagüe lago del Toro.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la estación del río Tres Pasos que los caudales sintéticos corregidos (X_{mc}) se ajustan levemente mejor a la serie observada (X_o) en los caudales más bajos.

7.7.1.2 Calibración curvas de volumen vs elevación

En esta sección se muestran los resultados de calibración para las curvas de volumen versus elevación de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla. Esta calibración se realiza de manera diferente en el lago del Toro que en el resto de los lagos, ya que se cuentan con datos medidos del nivel del lago a diferencia de los otros dos.

7.7.1.2.1 Lago del Toro y caudal en río Serrano

La serie del "río Serrano en desagüe lago del Toro" se calibra de acuerdo a la metodología descrita en la Sección 7.4.2, ya que depende casi exclusivamente del volumen almacenado en el Lago del Toro.

Al igual que en la serie del "río Tres Pasos en desagüe lago del Toro", se realiza un análisis de la serie de residuos (o errores entre las series generadas y las observadas) en los puntos donde se ubica la estación fluviométrica (Sección 7.4). En la Figura 7.22 se muestra la correlación entre las series observadas (X_o) y las series modeladas (X_m), la regresión lineal entre ambas series, y el coeficiente de determinación. Para efectos del análisis de la serie de residuos y de la calibración se revisan las series sin considerar los años que fueron rellenados completamente, es decir, la serie entre 1986 y 2015.

Los caudales modelados en el río Serrano dependen de la curva de descarga del lago del Toro, la cual entrega un valor de caudal de salida en función de la altura del lago del Toro del paso de tiempo anterior (en este caso, un mes). Es por esto, que para comparar los caudales modelados y observados hay que desfazar la serie modelada en un mes.

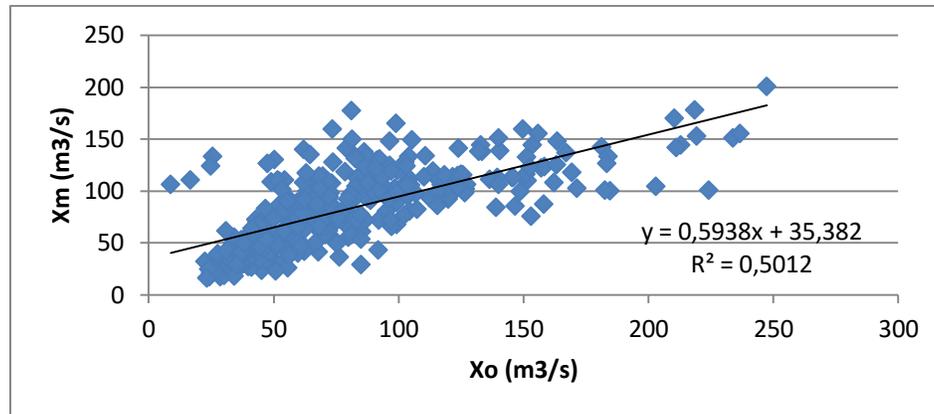


Figura 7.22. Correlación entre series de caudales en río Serrano en desagüe lago del Toro.
Fuente: *Elaboración propia.*

En la figura se puede observar que la serie sintética se ajusta a la serie observada en la cuenca de la estación fluviométrica "río Serrano en desagüe lago del Toro", obteniendo un R^2 igual a 0,5. En general, la serie modelada sobreestima los caudales bajos y subestima los caudales altos. Esto puede deberse a errores en las curvas de elevación versus cota y en la curva de descarga del lago al río.

La calibración de la serie modelada se realiza modificando levemente la curva de volumen versus elevación del lago del Toro. La modificación consiste en afinar la curva entre la cota 23 y 25 msnm, ya que en estos valores se mueve mayoritariamente el tamaño del lago (Figura 7.23). Aunque la curva fue obtenida originalmente a través de la batimetría del lago y del análisis del DEM proveniente de imágenes satelitales, el DEM construido no tiene una resolución tan fina de manera de obtener los valores del relieve sobre la cota del lago. De esta manera, este proceso de ajuste de la curva es necesario para el desarrollo del modelo de balance hídrico.

La Figura 7.23 y la Tabla 7.16 muestran la curva de volumen vs elevación modificada. Los cambios más importantes se realizan entre las cotas 23 y 25 msnm, aumentando levemente el volumen almacenable en el lago en no más de un 5% con respecto a sus valores originales.

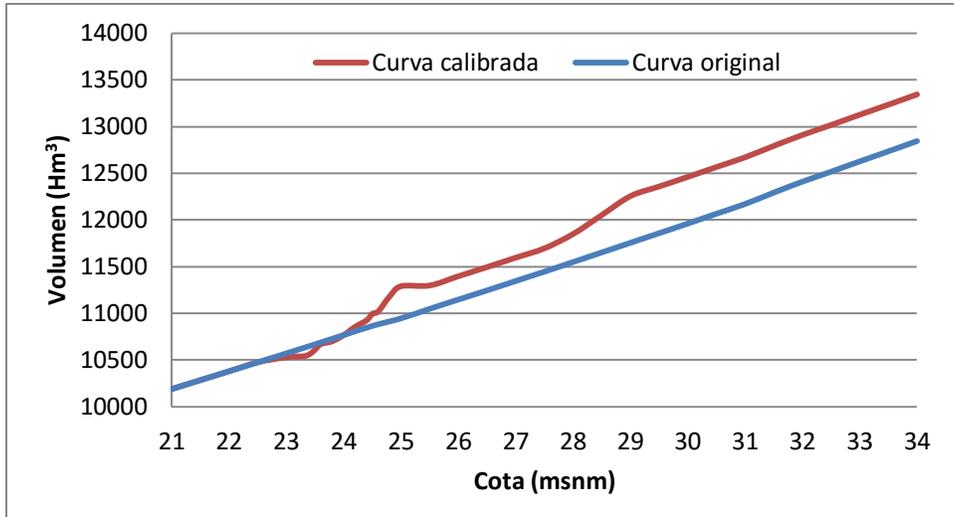


Figura 7.23. Curva volumen vs elevación modificada del lago del Toro.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.16. Datos para la construcción de curva de volumen vs elevación modificada del lago del Toro (Hm3).

Elevación (msnm)	Volumen Lago del Toro
20	10.000
20,5	10.094
21	10.189
21,5	10.284
22	10.379
22,5	10.475
23	10.530
23,3	10.540
23,4	10.560
23,5	10.610
23,6	10.670
23,8	10.700
24	10.767
24,2	10.856
24,4	10.925
24,5	10.995
24,6	11.018
24,8	11.180
25	11.290
25,5	11.298
26	11.397
26,5	11.495
27	11.596
27,5	11.696
28	11.849
28,5	12.052
29	12.255
29,5	12.358
30	12.461
30,5	12.567
31	12.671
31,5	12.793
32	12.910
32,5	13.017
33	13.127
33,5	13.235
34	13.345

Fuente: Elaboración propia.

El análisis realizado a la serie residual, tanto de la serie sintética como de la serie sintética corregida, se presenta en la Tabla 7.17.

Tabla 7.17. Resultados de calibración en el río Serrano.

	río Serrano en desagüe lago del Toro	
	<i>Serie modelada</i>	<i>Serie modelada corregida</i>
\bar{X}_o (m ³ /s)	83	
Número de datos	348	
Bias (m ³ /s)	1.013	496
PBias (%)	1.214	595
RMSE (m ³ /s)	31,78	17,5
PRMSE (%)	38,1	21
NSE	0,28	0,78
R ²	0,51	0,78

* \bar{X}_o : Promedio de la serie observada. PBias: Bias Porcentual. RMSE: Error Cuadrático Medio. PMRSE: RMSE/ \bar{X}_o . NSE: **Nash-Sutcliffe**. R²: Coeficiente de Determinación.

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 7.17 se observa una mejora en los valores de todos los indicadores estadísticos al corregir las series sintéticas de las cuencas. BIAS, PBIAS, RMSE y PRMSE se reducen aproximadamente a la mitad al corregir las series, mientras NSE aumenta de 0,28 a 0,78 y R² aumenta en un 35%.

Tal como se menciona en los resultados de la calibración del río Tres Pasos, estudios realizados con WEAP obtienen valores de PRMSE con series a nivel mensual entre 39% y 131% (Ingol-Blanco y McKinney, 2009). En el caso del río Serrano se obtiene un PRMSE de la serie corregida igual a 21%, el cual es menor a los valores encontrados en la literatura, por lo tanto se considera aceptable para este caso. Por otro lado, el valor de NSE es igual a 0,78 en la serie corregida, el cual está dentro del rango obtenido en otros estudios (0,19-0,96, (Ingol-Blanco y McKinney (2009), Condom et al. (2011), Abrishamchi et al. (2007)). En la Figura 7.24 se muestran las series observadas (X_o), modeladas (X_m) y modeladas corregidas (X_{mc}) del río Serrano.

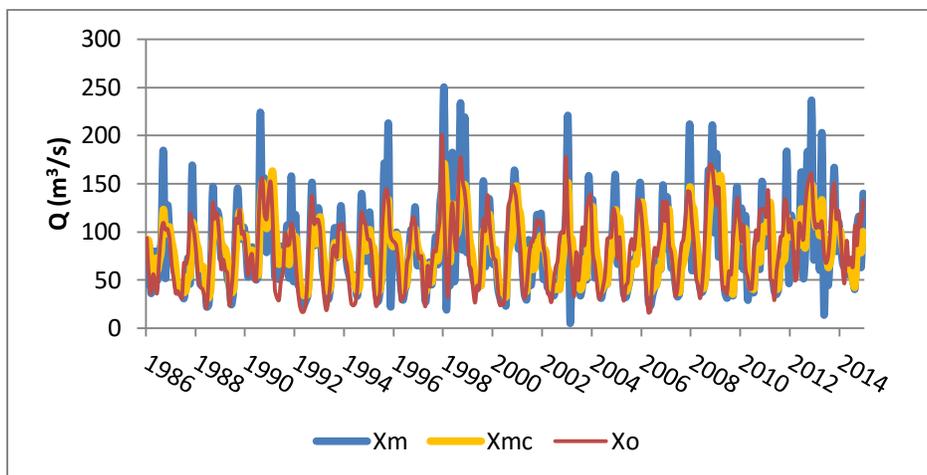


Figura 7.24. Series de caudales en río Serrano en desagüe lago del Toro.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la estación del río Serrano, los caudales sintéticos corregidos (X_{mc}) se ajustan mejor a la serie observada (X_o).

7.7.1.2.2 Lago Porteño y Maravilla

La calibración del aporte de los lagos Porteño y Maravilla al Lago del Toro está condicionada por varios factores: el aporte del río Rincón al Lago Porteño (donde existe una estación fluviométrica), otros aportes menores a los mismos lagos, las curvas de elevación versus volumen y las curvas de descarga de los lagos.

Al no existir caudales medidos a la salida del Lago Maravilla, la calibración como tal no es posible. Pero lo que se intentó en este caso fue lograr una curva que tuviera caudales mensuales con un hidrograma suave, teniendo en cuenta el poder de regulación de caudales de los lagos Porteño y Maravilla.

Para esto, se modificaron las curvas de elevación versus cota de ambos lagos de manera de obtener hidrogramas estables. La Figura 7.25 y Tabla 7.18 muestran la curva de volumen vs elevación del lago Porteño calibrada. Esta curva sólo es sensible entre las cotas 30 y 32 msnm.

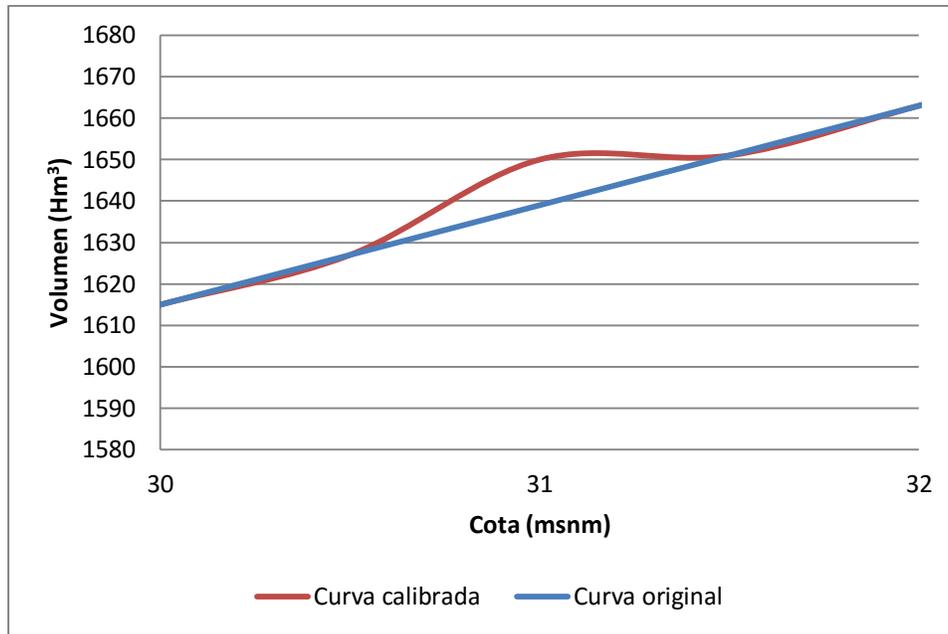


Figura 7.25. Curva volumen vs elevación modificada del lago Porteño.
Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 7.18. Datos para la construcción de la curva volumen vs elevación modificada del lago Porteño (Hm³).

Elevación (msnm)	Volumen Lago Porteño (Hm ³)
30	1.615
30,5	1.627
31	1.650
31,5	1.651
32	1.663
32,5	1.675
33	1.687
33,5	1.700
34	1.712

Fuente: *Elaboración propia.*

El resultado para los caudales en ambos casos no es el óptimo debido a la forma de sierra del hidrograma de salida, el cual no tiene sentido físico, ya que se esperaría que el caudal no oscile tanto entre mes y mes y fuera un hidrograma mucho más suave.

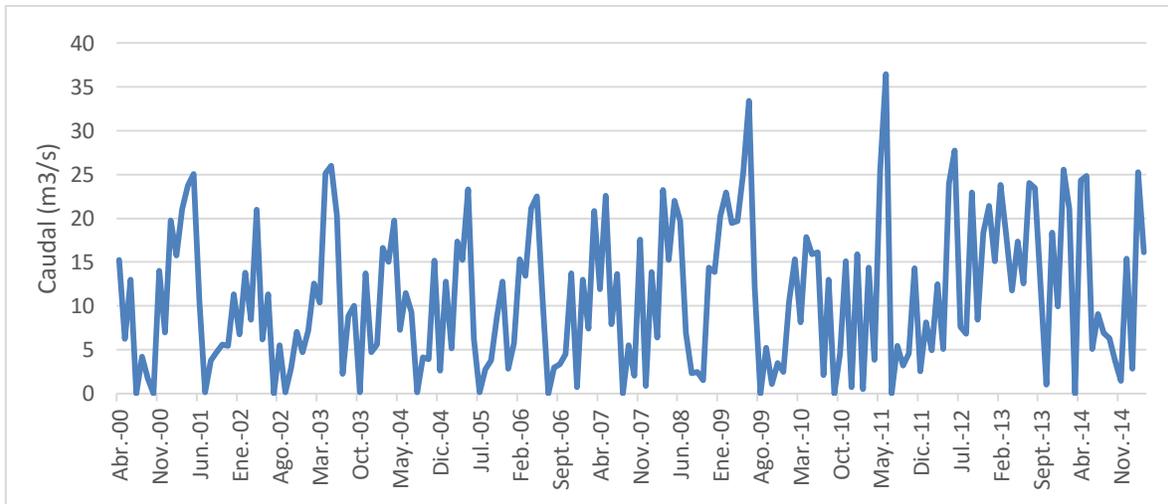


Figura 7.26. Caudales modelados en desagüe del Lago Maravilla hacia el Lago del Toro.

Fuente: Elaboración propia.

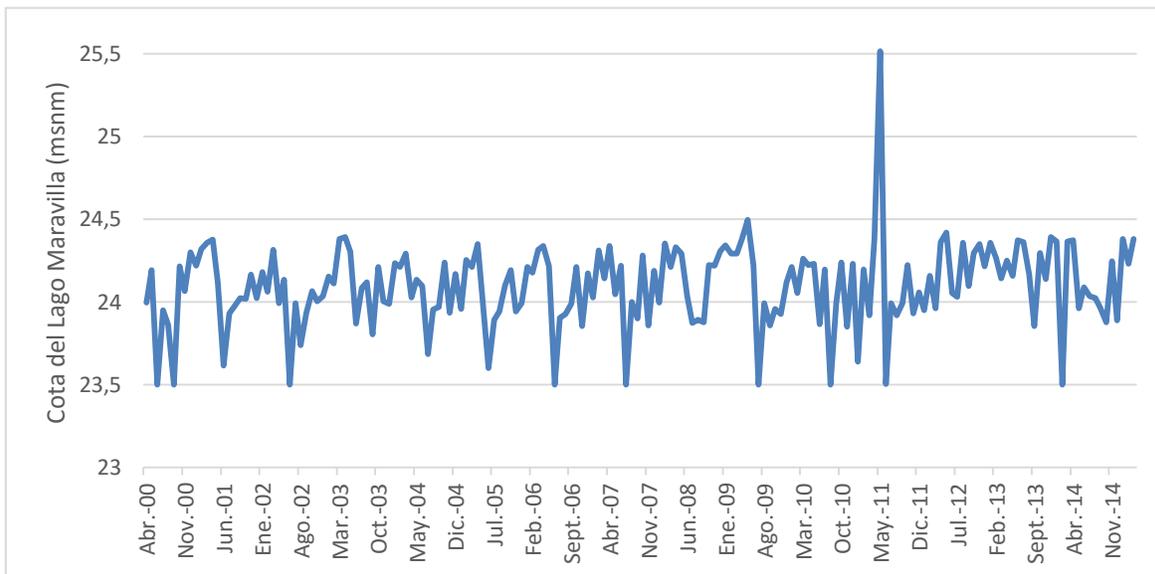


Figura 7.27. Alturas modeladas del Lago Maravilla.

Fuente: Elaboración propia.

Lo mismo ocurre con las alturas modeladas en el Lago Maravilla. Se ve que los valores suben y bajan de manera inestable, lo cual es indicio de problemas en la modelación y que no pudieron ser subsanados.

Existen diversas explicaciones para este comportamiento del caudal modelado a la salida del Lago Maravilla y de su altura de cota:

- Las curvas de descarga generadas a partir del DEM de 5m son muy gruesas y no toman en cuenta detalles importantes en la forma de las cuencas de los lagos.
- Podría existir un flujo subterráneo entre el sistema de lagos Porteño-Maravilla-del Toro que no está siendo tomado en cuenta en este balance. La falta de estos flujos hipotéticos en el modelo, podrían explicar el comportamiento errático de los caudales de salida.
- El paso de tiempo mensual del modelo es muy grueso tomando en cuenta los volúmenes de almacenamiento, sobre todo el del Lago Maravilla, el cual es menor con respecto a las variaciones de los caudales de entrada y salida a nivel mensual del sistema.
- Es posible que los caudales modelados en la cuenca aportante a los lagos sea mayor que lo que ocurre en la realidad, generando inestabilidad en el modelo.

Comprobar estas hipótesis está fuera del alcance de este proyecto, ya que requerirían mediciones y actividades no comprometidas en el proyecto, pero se plantean como posibilidades de mejora al modelo.

En todo caso, como aparece en los resultados en la siguiente sección, los montos aportados por el río Rincón al Lago del Toro en régimen natural, son menores en comparación al aporte del río Paine, por lo que los caudales provenientes de los lagos Porteño y Maravilla no suponen una proporción muy grande de los aportes al Lago del Toro.

7.7.2 Balance hídrico lago del Toro

Luego de determinar los caudales de entrada al lago del Toro y caracterizar la morfología del lago se presentan los resultados de cada uno de los procesos involucrados en el comportamiento hidrológico de un lago, entre los cuales están las entradas, la salida y el almacenamiento del lago. Los resultados del balance hídrico del lago del Toro muestran una buena representación de los procesos mencionados.

7.7.2.1 Entradas al lago del Toro

Actualmente no hay forma de saber si todos los derechos de aprovechamiento de la cuenca están siendo realmente usados o en qué épocas del año existe mayor consumo real de esos derechos.

Es posible que en la realidad se use una fracción de los derechos otorgados, aunque con los datos públicos existentes no es posible saber qué derechos están siendo efectivamente usados y cuáles no. Por esta razón se probaron dos opciones para calcular el balance hídrico en el Lago del Toro: considerando sólo régimen natural, es decir, sin tomar en cuenta los derechos existentes y otra, considerando el uso completo de los derechos de agua otorgados por la DGA.

A continuación se muestran los resultados para estos dos casos.

Las series generadas para cada una de las cuencas de entrada al lago, asumiendo el uso completo de los derechos de agua, se muestran entre la Figura 7.28 y la Figura 7.32.

En azul se observa el caudal de salida de la cuenca sin considerar la extracción de derechos de agua mientras que en rojo se observan los caudales que consideran esta extracción. Dado que se asume que los derechos comienzan a extraerse el año 2001, las figuras muestran el período 2001-2015 (la mayoría de estos derechos fueron constituidos después del año 2000).

La figura de la cuenca del río de Las Chinas (Figura 7.31) considera los derechos que se extraen en el último tramo del río, es decir, los derechos de la cuenca intermedia del río de Las Chinas, ya que los derechos de los afluentes aguas arriba son descontados en cada subcuenca afluente y están representados en el caudal del río.

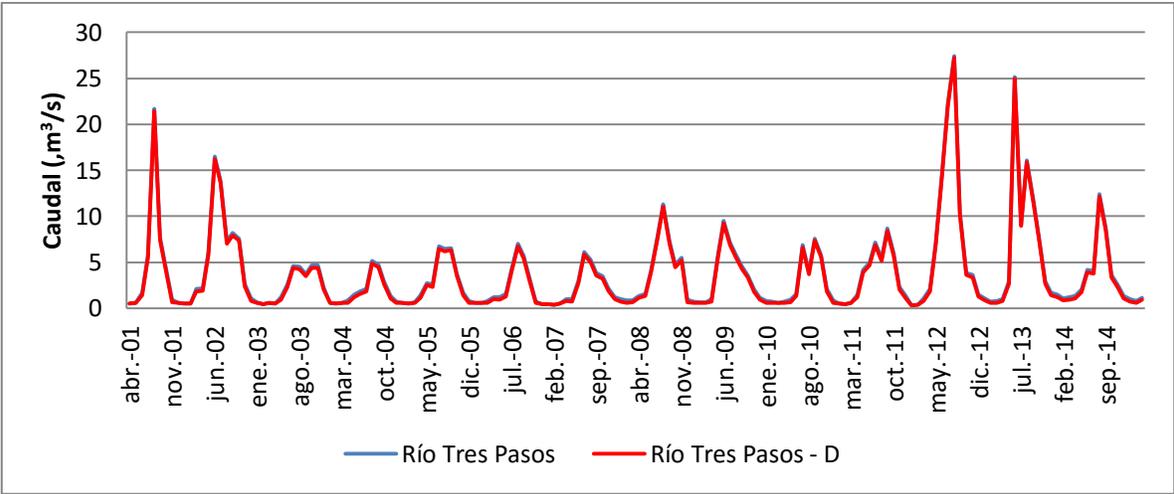


Figura 7.28. Caudales aportantes por la cuenca del río Tres Pasos (m³/s).
Fuente: Elaboración propia.

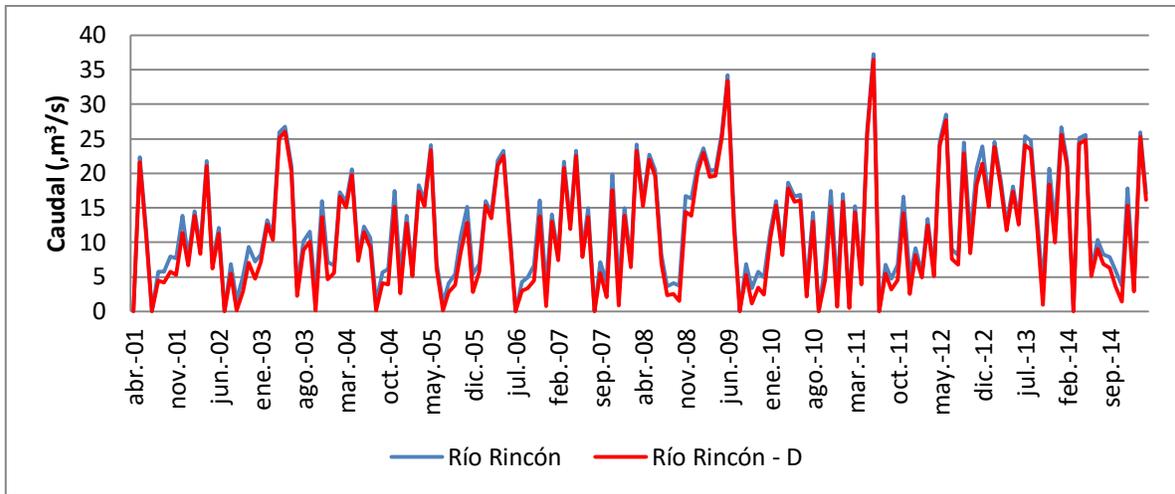


Figura 7.29. Caudales aportantes por la cuenca del río Rincón (m³/s).
Fuente: Elaboración propia.

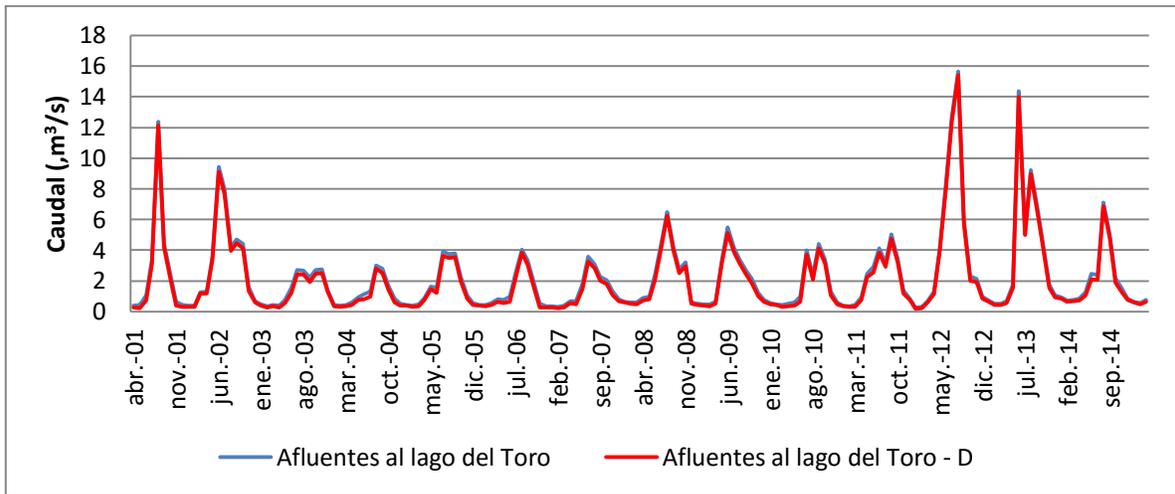


Figura 7.30. Caudales aportantes por la cuenca de los afluentes adyacentes al lago del Toro (m³/s).
Fuente: Elaboración propia.

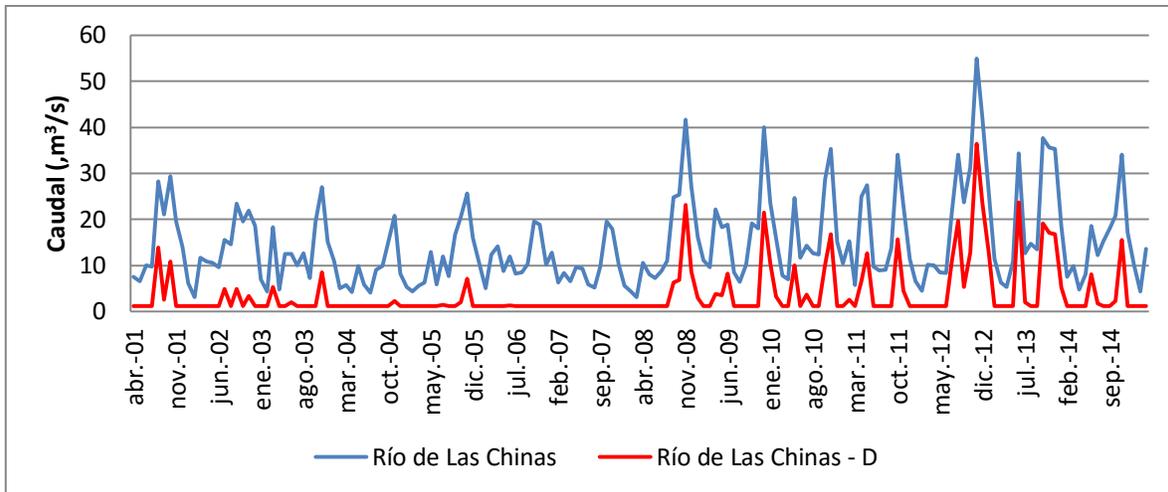


Figura 7.31. Caudales aportantes por la cuenca del río de Las Chinas (m^3/s).
Fuente: Elaboración propia.

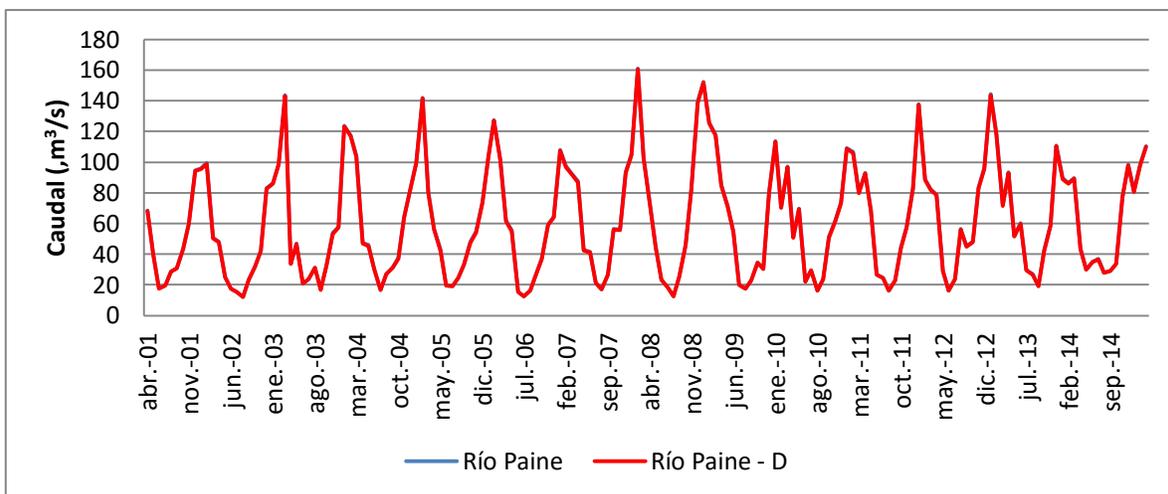


Figura 7.32. Caudales aportantes por la cuenca del río Paine (m^3/s).
Fuente: Elaboración propia.

En los caudales del río Rincón y del río de Las Chinas se observa una diferencia al extraer los derechos, siendo mayormente notoria en el río de Las Chinas, el cual llegaría hasta solo satisfacer el caudal ecológico en algunos meses del año. En los ríos Tres Pasos, Paine y en los afluentes al lago del Toro no se observarían grandes diferencias en los caudales al extraer los derechos de agua.

La Figura 7.33 muestra la proporción del caudal medio anual de aporte de cada río al Lago del Toro. Se puede apreciar el aporte relevante del río Paine a la hidrología del Lago del Toro, con un 59,3% con respecto a todas las entradas de

agua al lago a nivel anual. Luego, lo siguen el río de Las Chinas y el río Rincón. Por último el aporte de los ríos Tres Pasos y los afluentes menores al lago no suman más del 10% del total. En la Tabla 7.19 se muestra el detalle mensual para cada río y el caudal promedio de ingreso al Lago del Toro en m³/s.

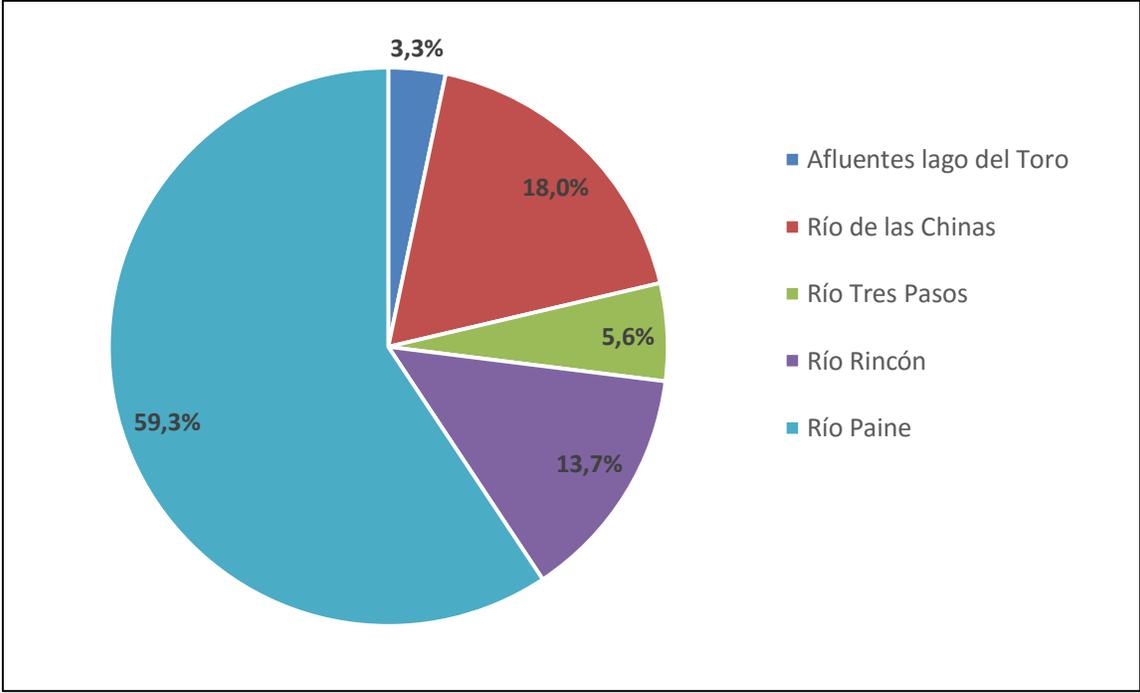


Figura 7.33. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al lago al nivel anual (%), sin considerar extracción de derechos de agua.
Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 7.19. Proporción de caudal aportado por cada cuenca de entrada al lago a nivel mensual.

	Afluentes al lago del Toro	Río de Las Chinas	Río Tres Pasos	Río Rincón	Río Paine	Caudal total de entrada al lago (m³/s)
Abril	0,8%	11,7%	1,3%	16,7%	69,5%	94,8
Mayo	1,9%	14,7%	3,3%	24,6%	55,5%	85,6
Junio	5,7%	18,0%	9,8%	24,9%	41,6%	68,9
Julio	8,5%	20,7%	14,7%	13,8%	42,2%	52,5
Agosto	9,6%	23,0%	16,7%	11,5%	39,3%	60,0
Septiembre	6,7%	26,3%	11,5%	12,2%	43,4%	61,9
Octubre	3,3%	32,6%	5,7%	7,3%	51,2%	82,1
Noviembre	1,4%	28,2%	2,3%	13,2%	54,9%	109,7
Diciembre	0,6%	18,7%	0,9%	7,6%	72,1%	122,1
Enero	0,4%	9,0%	0,5%	9,3%	80,8%	137,0
Febrero	0,3%	5,5%	0,5%	10,8%	82,9%	132,7
Marzo	0,5%	7,8%	0,7%	12,4%	78,6%	120,5
Anual	3,3%	18,0%	5,6%	13,7%	59,3%	93,98

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso en que sí se toman en cuenta los derechos de aprovechamiento de agua, la proporción original cambia, ya que el río de Las Chinas pierde mucha agua en consumo, suponiendo que todo ese consumo es usado y no existen retornos al sistema. En este caso, el porcentaje de aporte del río de Las Chinas baja de un 18% a un 5,2%, siendo incluso menor al aporte del río Tres Pasos. El río Paine aumenta considerablemente su aporte proporcional, ya que no existen tantos derechos constituidos en esa subcuenca. También se muestran estos resultados, en la Figura 7.34, en la Tabla 7.20 y en la Tabla 7.21.

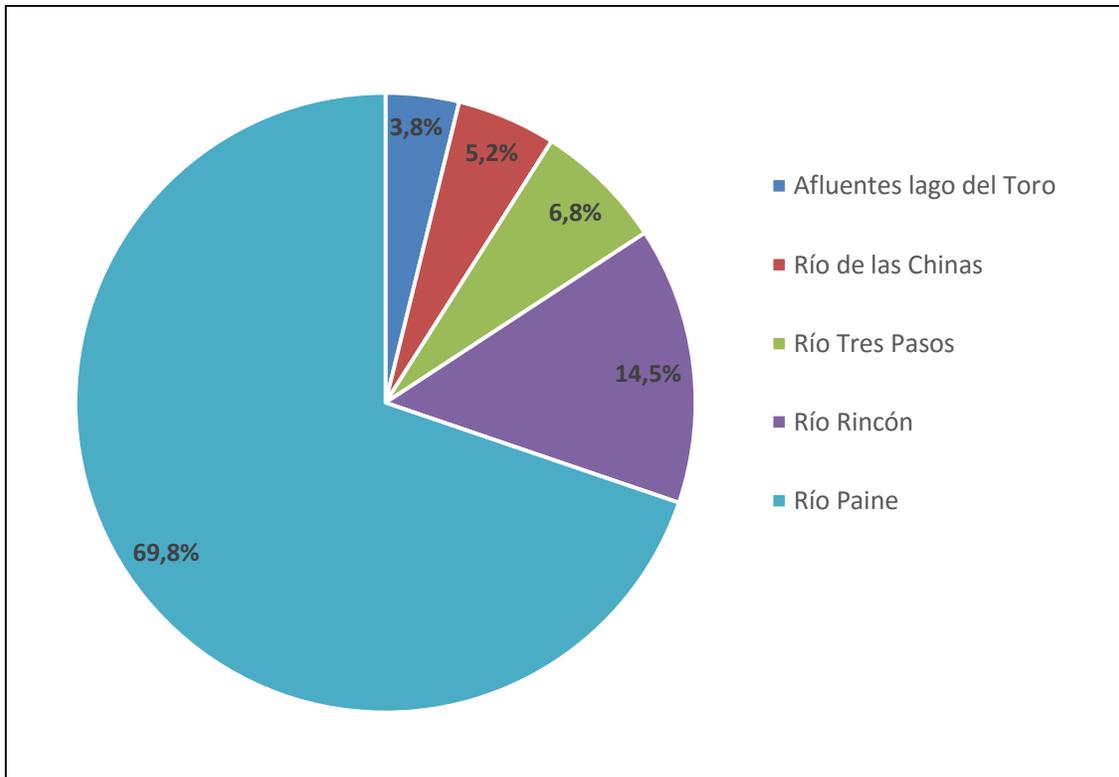


Figura 7.34. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al lago al nivel anual (%), considerando extracción de derechos de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.20. Proporción de caudal aportado por cada cuenca de entrada al lago a nivel mensual.

	Afluentes al lago del Toro	Río de Las Chinas	Río Tres Pasos	Río Rincón	Río Paine	Caudal total de entrada al lago (m³/s)
Abril	0,8%	2,0%	1,2%	18,1%	78,0%	83,8
Mayo	2,0%	3,7%	3,4%	27,4%	63,5%	74,1
Junio	6,0%	6,4%	11,0%	27,9%	48,6%	58,8
Julio	9,8%	5,6%	17,6%	14,7%	52,3%	42,4
Agosto	11,5%	7,0%	20,3%	12,3%	49,0%	48,0
Septiembre	8,5%	4,7%	15,0%	13,1%	58,8%	45,6
Octubre	4,2%	10,5%	7,5%	6,4%	71,3%	58,4
Noviembre	1,5%	11,6%	2,7%	14,3%	69,9%	85,5
Diciembre	0,6%	5,7%	0,9%	6,6%	86,1%	101,7
Enero	0,4%	2,4%	0,5%	9,3%	87,5%	125,9
Febrero	0,3%	1,1%	0,4%	10,9%	87,3%	125,4
Marzo	0,4%	1,3%	0,7%	12,7%	84,9%	110,9
Anual	3,8%	5,2%	6,8%	14,5%	69,8%	80,04

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que si se usaran todos los derechos de agua concedidos, el mayor aportante al río Serrano seguiría siendo el río Paine (Q_p). Los ríos Tres Pasos (Q_{tp}) y los afluentes al lago (Q_a) seguirían con aportes menores caudales al sistema, concentrados principalmente los meses de invierno. Los caudales aportados por el río Paine se concentran los meses de verano al ser una cuenca con importantes aportes glaciares, mientras el aporte del río de Las Chinas se concentraría en primavera como muchas cuencas pluviales.

La Tabla 7.21 muestra el caudal anual en las cuencas de entrada y salida del lago del Toro, sin y con considerar la extracción de derechos de agua. Se observa un cambio significativo en el caudal anual del río de Las Chinas, mientras en el resto de las cuencas, los cambios son menores.

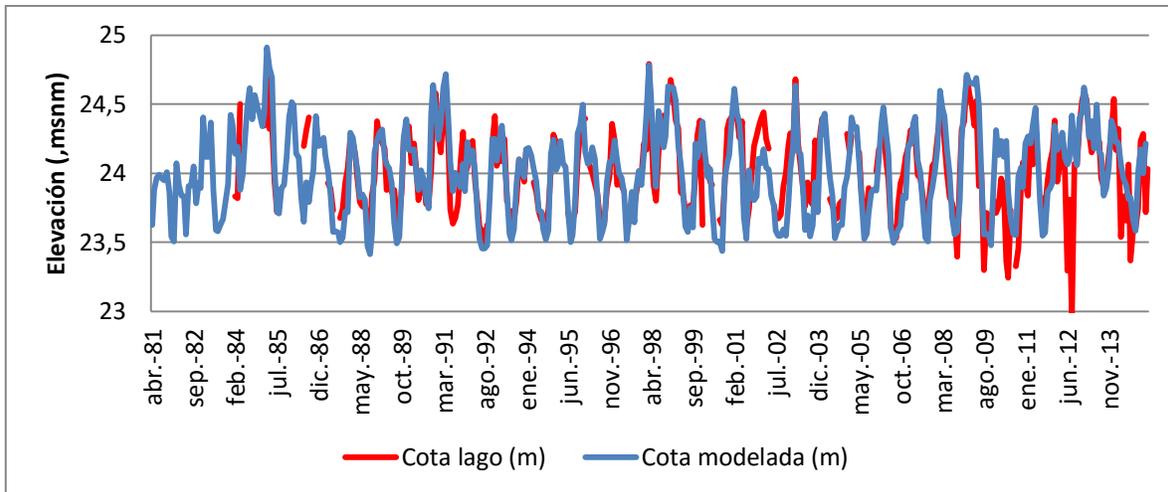
Tabla 7.21. Caudal anual en las cuencas de entrada y salida del lago del Toro (m^3/s), con y sin considerar derechos de agua.

	Caudal anual sin considerar derechos de agua (m^3/s)	Caudal anual considerando derechos de agua (m^3/s)
Afluentes lago del Toro	2,3	2,1
Río de las Chinas	15,6	3,6
Río Tres Pasos	3,8	3,6
Río Rincón	12,3	11,0
Río Paine	60,0	59,7
Río Serrano	94,0	80,0

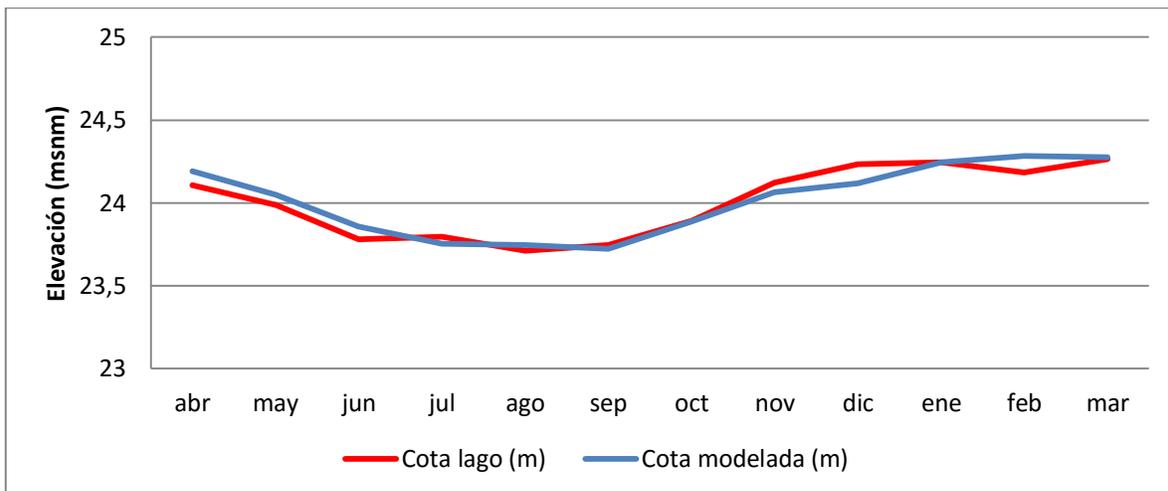
Fuente: Elaboración propia.

7.7.2.2 Almacenamiento al lago del Toro

El almacenamiento del lago del Toro refleja la elevación observada en el lago del Toro. La Figura 7.35 muestra la cota modelada y observada del lago del Toro entre los años 1981 y 2015. En general se observa una buena calibración para esta variable. Al igual que en la comparación de los caudales de salida del lago del Toro, la serie de elevación del lago modelada debe ser desfasada en un mes para ser comparada con la serie observada, ya que este valor depende del caudal de salida, el cual depende de la elevación del lago del mes anterior.



(a)



(b)

Figura 7.35. Elevación observada y modelada en el lago del Toro. (a) Serie mensual. (b) Serie media mensual.

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la DGA.

7.7.2.3 Salidas del lago del Toro

En el período 1981 y 2015, los caudales modelados en la salida del lago del Toro concuerdan con los datos observados en la estación fluviométrica río Serrano en desagüe lago del Toro. En la Figura 7.36 se observa el efecto amortiguador del lago del Toro en los caudales de entrada y salida al lago. También se observa

que los caudales modelados difieren de los observados en aproximadamente 10 y 20 m³/s entre junio y agosto (sobrestimándolos), y aproximadamente 10 y 15 m³/s en noviembre y diciembre (subestimándolos).

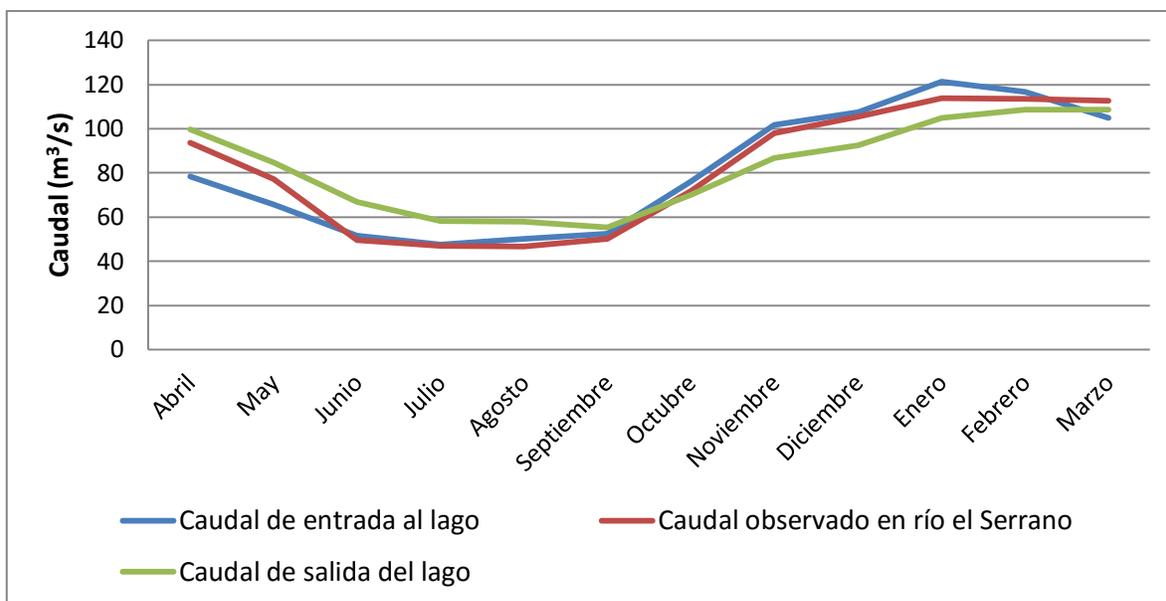


Figura 7.36. Entradas y salida del lago del Toro.
Fuente: Elaboración propia.

7.7.3 Balance hídrico río de Las Chinas

Con el fin de conocer mejor el comportamiento de la cuenca del río de Las Chinas, entre las Figura 7.37 y la Figura 7.40, se presentan las series generadas en cada una de las subcuencas de este río.

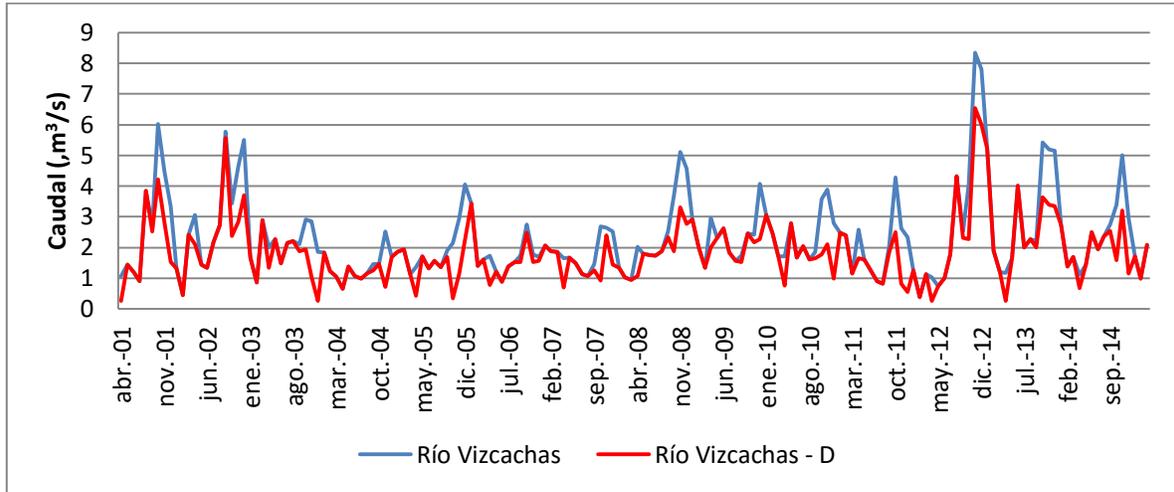


Figura 7.37. Caudales en el río Vizcachas (m³/s).
Fuente: Elaboración propia.

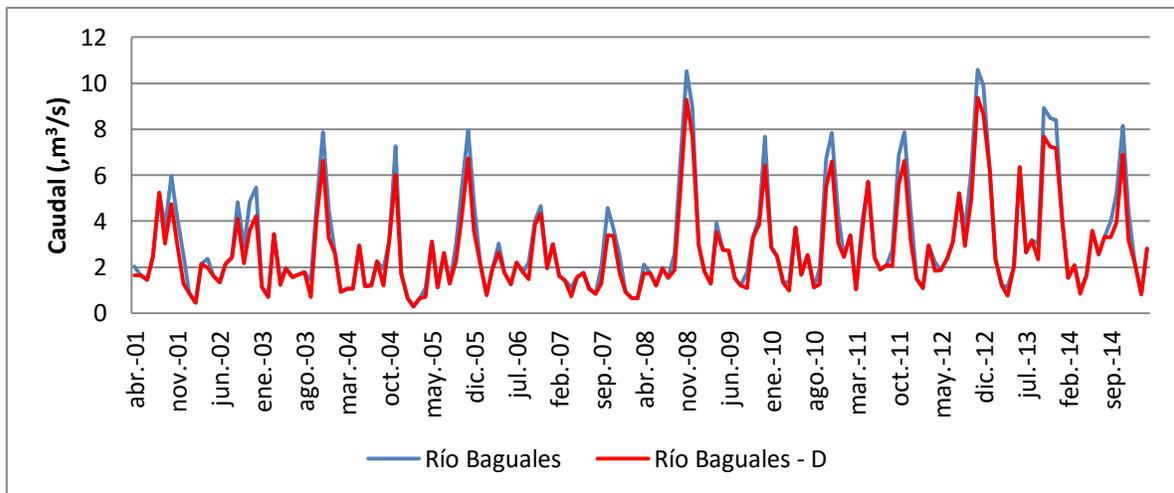


Figura 7.38. Caudales en el río Baguales (m³/s).
Fuente: Elaboración propia.

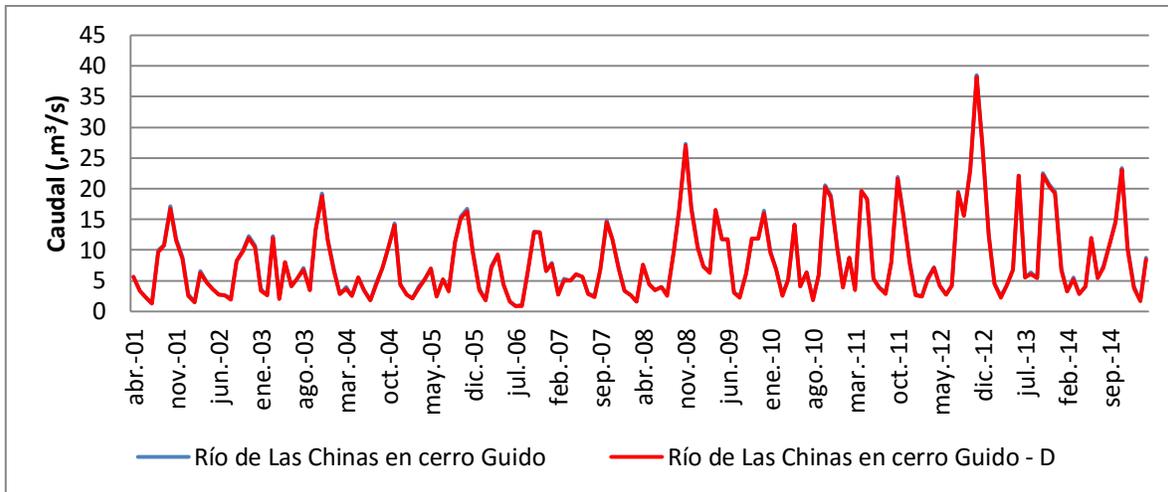


Figura 7.39. Caudales en el río de Las Chinas en cerro Guido (m^3/s).
 Fuente: Elaboración propia.

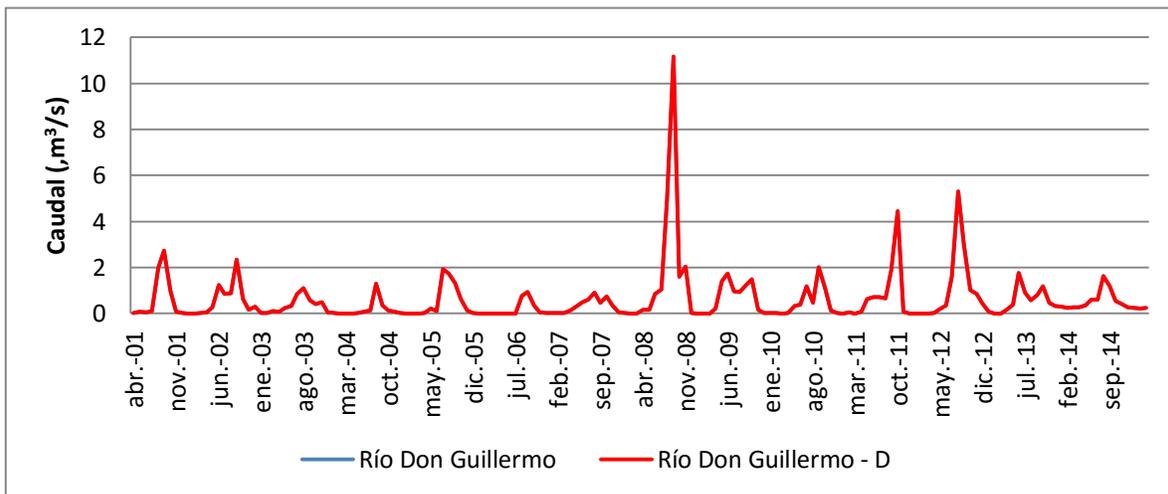


Figura 7.40. Caudales en el río Don Guillermo antes de la junta con el río de Las Chinas (m^3/s).
 Fuente: Elaboración propia.

Se observa de estas figuras que en el caso de los caudales del río de Las Chinas en cerro Guido y del río Don Guillermo, la extracción de derechos superficiales de agua es casi despreciable con respecto a la disponibilidad natural del río. En los ríos Vizcachas y Baguales se observa una disminución mayor en los caudales al extraer los derechos de agua. En el caso del *peak* observado en el río Don Guillermo, este valor corresponde a un caudal observado en septiembre de 2008 y el modelo lo reproduce desde los mismos datos observados.

Al igual que en el caso del Lago del Toro, en esta sección se muestra el aporte proporcional de cada río al caudal total del río de Las Chinas antes de su

desembocadura en el Lago del Toro. La Figura 7.41 y la Tabla 7.22 muestran el porcentaje aportado por cada una de las cuencas en relación al caudal total de entrada al lago sin considerar derechos de agua.

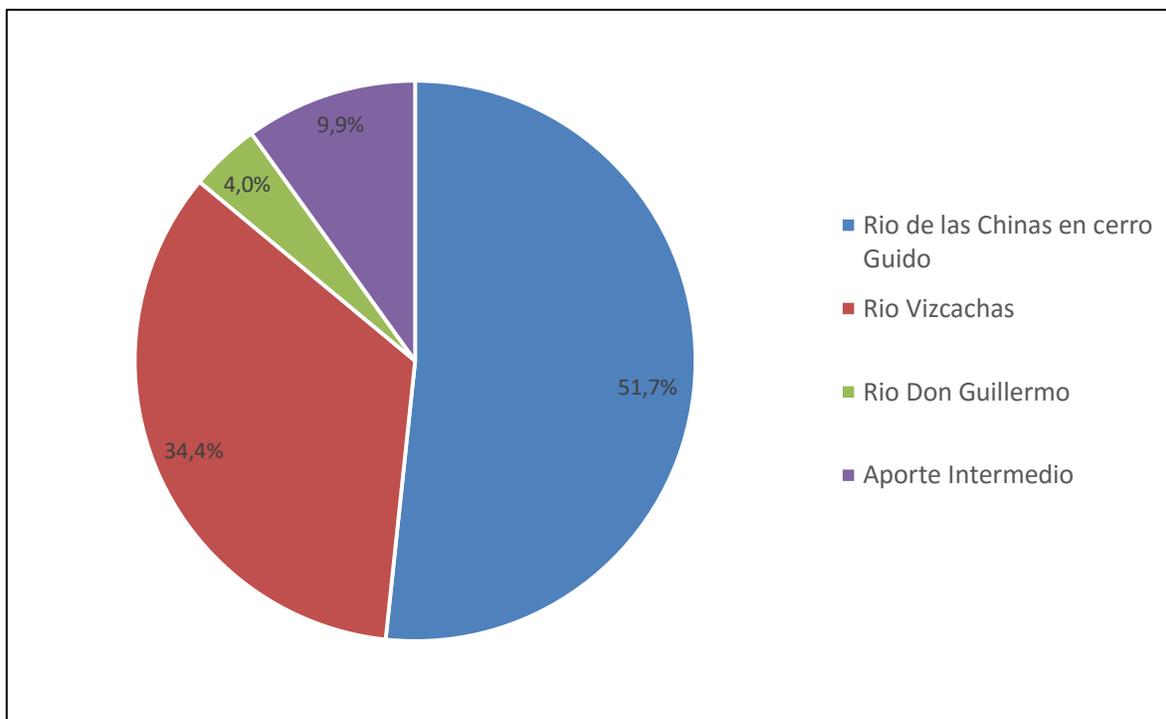


Figura 7.41. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas sin la extracción de derechos de agua

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.22. Porcentaje de caudal aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel mensual.

	Río de Las Chinas en cerro Guido	Río Vizcachas	Río Don Guillermo	Río de Las Chinas Intermedia	Caudal total Antes del lago (m3/s)
Abril	62,8%	33,5%	0,8%	2,8%	11,10
Mayo	57,6%	32,6%	2,6%	7,3%	12,62
Junio	48,1%	30,8%	5,0%	16,0%	12,42
Julio	34,3%	34,2%	7,5%	23,9%	10,88
Agosto	38,9%	32,1%	12,0%	17,0%	13,80
Septiembre	50,9%	31,4%	13,2%	4,5%	16,27
Octubre	60,3%	32,8%	4,1%	2,8%	26,76
Noviembre	59,1%	35,2%	1,3%	4,5%	30,92
Diciembre	52,8%	38,1%	0,5%	8,6%	22,82
Enero	47,5%	38,4%	0,4%	13,7%	12,35
Febrero	49,9%	38,2%	0,5%	11,4%	7,31
Marzo	58,0%	35,0%	0,5%	6,5%	9,43
Anual	51,7%	34,4%	4,0%	9,9%	15,56

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7.42 y la Tabla 7.23 muestran el porcentaje aportado por cada una de las cuencas en relación al caudal total del río de Las Chinas antes de la entrada al lago, considerando de derechos de agua.

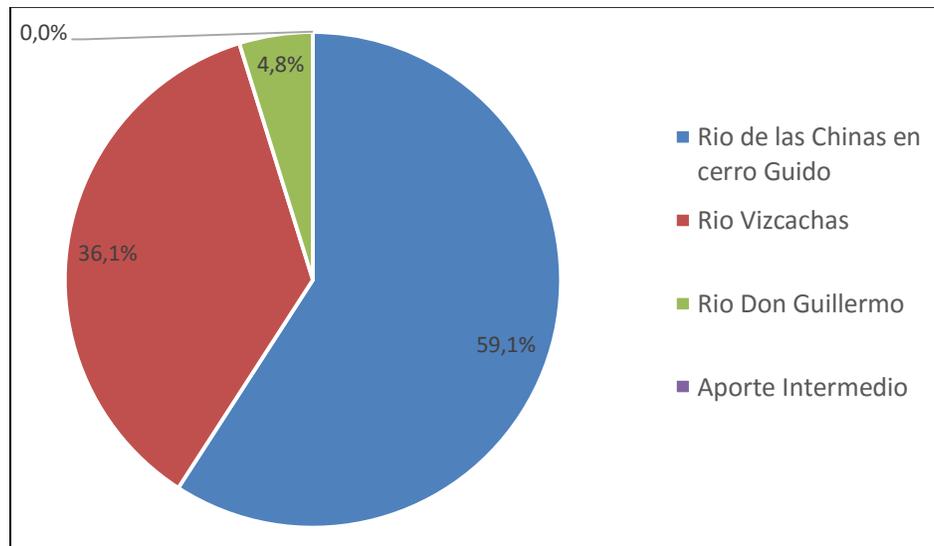


Figura 7.42. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas considerando extracción de derechos de agua

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.23. Porcentaje de caudal aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel mensual.

	Río de Las Chinas en cerro Guido	Río Vizcachas	Río Don Guillermo	Río de Las Chinas Intermedia	Caudal total Antes del lago (m3/s)
Abril	72,2%	26,8%	1,0%	0,0%	1,67
Mayo	62,1%	35,1%	2,8%	0,0%	2,73
Junio	57,3%	36,7%	6,0%	0,0%	3,79
Julio	45,2%	44,9%	9,9%	0,0%	2,39
Agosto	45,4%	39,7%	14,9%	0,0%	3,34
Septiembre	56,5%	28,8%	14,7%	0,0%	2,14
Octubre	67,6%	27,8%	4,6%	0,0%	6,15
Noviembre	67,2%	31,3%	1,5%	0,0%	9,96
Diciembre	65,1%	34,2%	0,6%	0,0%	5,83
Enero	53,9%	45,6%	0,5%	0,0%	3,02
Febrero	56,3%	43,1%	0,6%	0,0%	1,36
Marzo	60,8%	38,6%	0,6%	0,0%	1,41
Anual	59,1%	36,1%	4,8%	0,0%	3,65

Fuente: Elaboración propia.

De estas figuras se puede observar que los caudales del río de Las Chinas provienen principalmente de las subcuencas del río de Las Chinas en cerro Guido y del río Vizcachas (con aportes del río Baguales). El resto de los afluentes, es decir, la cuenca intermedia del río de Las Chinas y el río Don Guillermo, contribuye con aportes menores, siendo de mayor magnitud durante los meses de invierno, en el caso del río Don Guillermo, y durante los meses de invierno y verano, en el caso del río de Las Chinas.

En el caso de que se usen todos los derechos consuntivos en la cuenca del río de Las Chinas, las proporciones de aportes al río cambian producto de que la extracción de derechos en la cuenca intermedia del río de Las Chinas es superior al caudal aportado por esta misma. Esto significa que el caudal de entrada al lago del Toro proviene exclusivamente de las subcuencas de los ríos Vizcachas, Don Guillermo y Las Chinas antes de cerro Guido. El caudal total que llega al Lago del Toro, disminuye de un promedio anual de 15,56 m³/s a 3,65 m³/s, es decir, un 76,5%. Esta disminución explica los importantes cambios reflejados en la Figura 7.34, en la Tabla 7.20 y en la Tabla 7.21 de la sección anterior.

7.7.4 Capacidad del sistema para suplir la demanda

En esta sección se muestran los resultados sobre la demanda insatisfecha de agua sobre el sistema natural, en base a los requerimientos hídricos que fueron agregados al modelo con los datos recopilados y asumiendo la demanda total de todos los derechos constituidos hasta la fecha.

Entre los requerimientos hídricos están los derechos superficiales no consuntivos y consuntivos, y el caudal ecológico de cada río. Los resultados se muestran como un promedio mensual de una simulación entre los años 2001 y 2015 para la una nueva variable generada, llamada Demanda Insatisfecha, en unidades de m^3/s , para los puntos de demanda definidos de acuerdo a los derechos existentes y al caudal ecológico máximo de cada río. Esta Demanda Insatisfecha es la diferencia entre los caudales entregados en los puntos de demanda y los caudales concedido dependiendo del tipo derecho existente en los ríos.

La presente modelación en WEAP considera una mayor prioridad de entrega del caudal ecológico frente a los derechos superficiales de agua (Sección 7.6.3). Además, el caudal ecológico utilizado es el caudal ecológico mínimo que debe fluir en cada río, en base a los derechos constituidos.

7.7.4.1 Derechos No Consuntivos

El modelo arroja que en aproximadamente la mitad de los ríos estudiados la demanda de derechos no consuntivos es cubierta casi en su totalidad por el sistema natural, mientras en la otra mitad, y en muchos casos sólo en algunos meses, la demanda dada por los derechos supera la disponibilidad de agua en los ríos. En la Figura 7.43 y la Figura 7.44 se muestra la Demanda Insatisfecha de los derechos no consuntivos permanentes y eventuales, respectivamente.

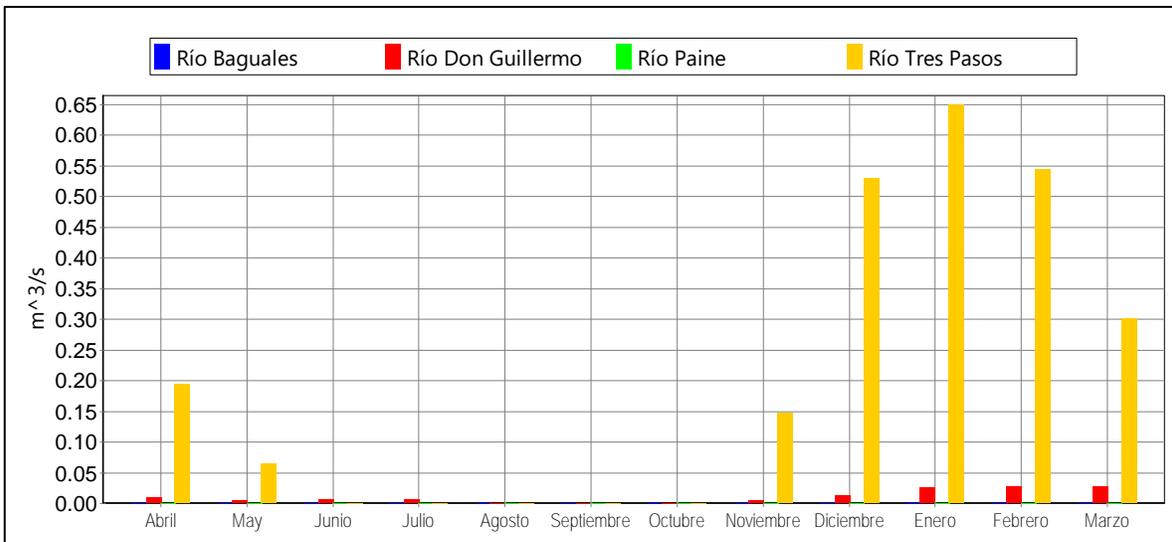


Figura 7.43. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos permanentes (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 7.43 se observa que los derechos no consuntivos permanentes son satisfechos en la mayoría de los ríos donde existe este tipo de derecho, sólo en los ríos Don Guillermo y Tres Pasos esta demanda no es satisfecha, siendo más significativa en éste último río entre los meses de noviembre y mayo, llegando a un déficit de $0,65 m^3/s$ en enero. En el río Don Guillermo existe una demanda insatisfecha menor a $0,03 m^3/s$.

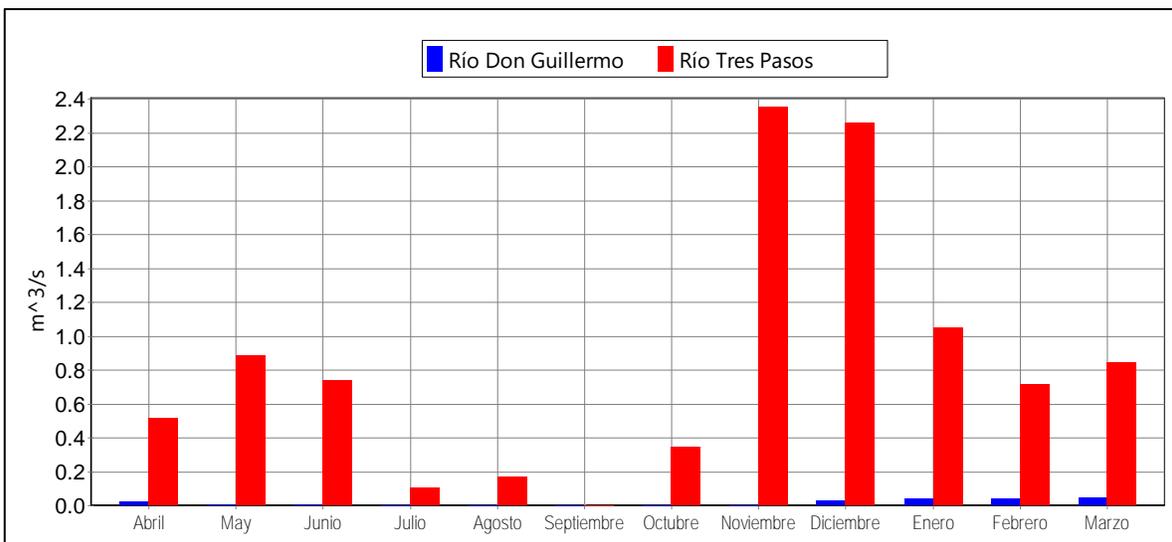


Figura 7.44. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos eventuales (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 7.44 se observa que los derechos no consuntivos eventuales no son satisfechos en su totalidad en ninguno de los dos ríos donde existe este tipo de derecho. En el río Tres Pasos existe una demanda insatisfecha todo el año, a excepción de septiembre, llegando a un déficit de 2,35 m³/s en noviembre. En el río Don Guillermo existe una demanda insatisfecha menor a 0,04 m³/s entre los meses de diciembre y mayo.

7.7.4.2 Derechos Consuntivos

El modelo arroja que la demanda de derechos consuntivos no se satisface en la mayoría de los ríos, sobre todo la demanda de derechos eventuales. En la Figura 7.45 y la Figura 7.46 se muestra la Demanda Insatisfecha de los derechos consuntivos permanentes y eventuales, respectivamente.

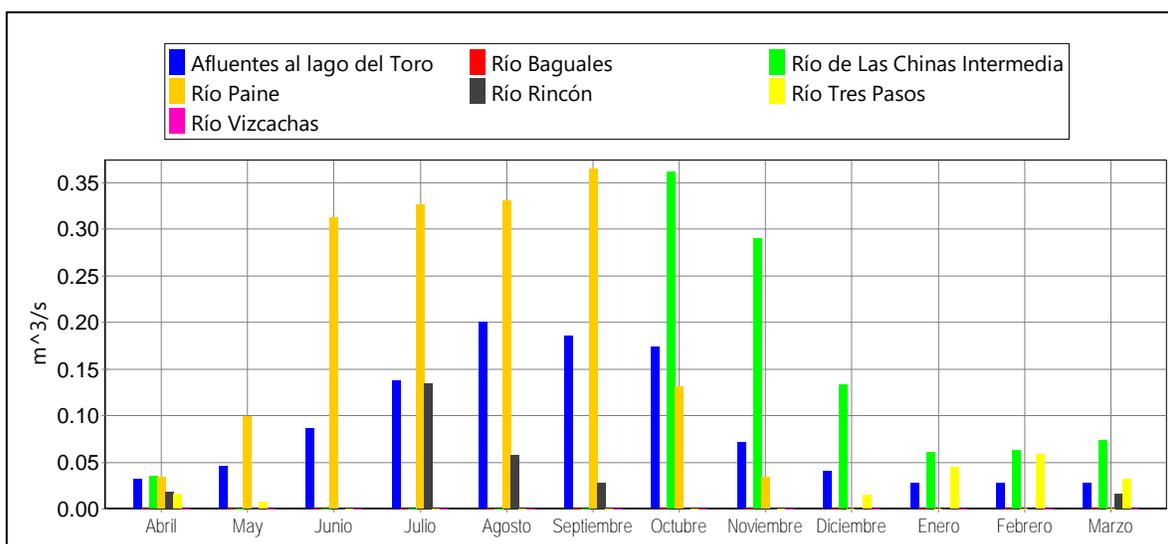


Figura 7.45. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos permanentes (m³/s).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7.45 se observa que los derechos consuntivos permanentes son satisfechos en su totalidad en la mitad de los ríos donde existe este tipo de derecho. En los ríos Baguales y Vizcachas la demanda se satisface la mayoría de los meses con los caudales disponibles. En los afluentes al lago del Toro existe una demanda insatisfecha todo el año, llegando a un déficit de 0,2 m³/s en agosto. En el río Tres Pasos existe una demanda insatisfecha entre los meses de diciembre y mayo, alcanzando un déficit de 0,06 m³/s en febrero. En el río Rincón existe una demanda insatisfecha los meses de marzo, abril, julio, agosto, septiembre, alcanzando un déficit de 0,13 m³/s en julio. En el río Paine existe

una demanda insatisfecha entre los meses de abril y noviembre, llegando a un déficit de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre. En la cuenca intermedia del río de Las Chinas existe una demanda insatisfecha entre los meses de octubre y abril, llegando a un déficit de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ en octubre.

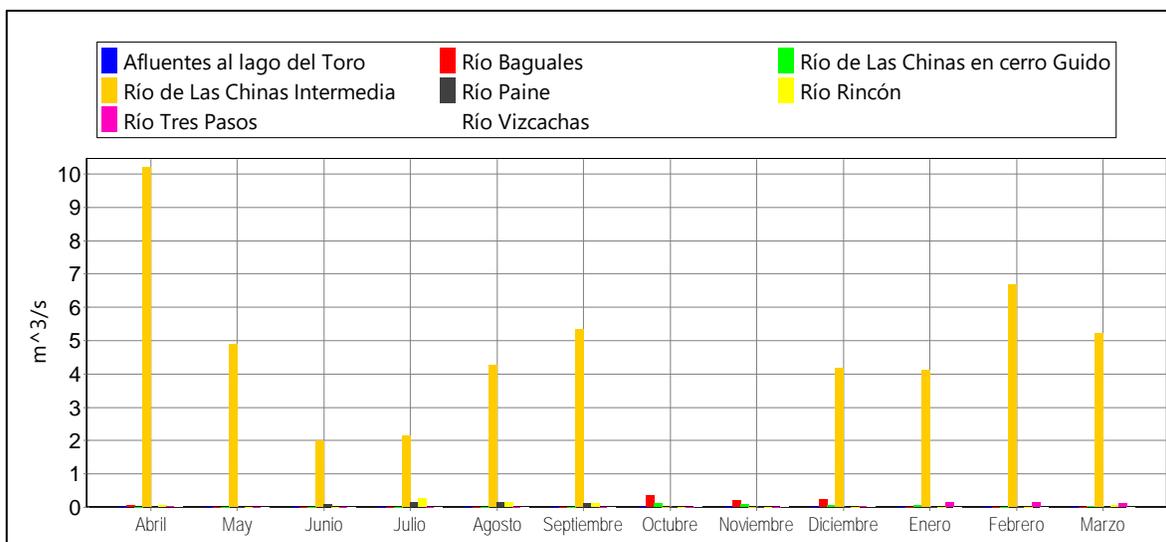


Figura 7.46. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos eventuales (m^3/s).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7.46 se observa que los derechos consuntivos eventuales no son satisfechos, en al menos un mes, en la mayoría de los ríos donde existe este tipo de derecho, la única excepción es la cuenca de los afluentes al lago del Toro. En el río de Las Chinas en cerro Guido no se satisface la demanda entre octubre y enero y en marzo, llegando a un déficit de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ en octubre. En el río Tres Pasos no se satisface la demanda entre noviembre y mayo, llegando a un déficit de $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ en febrero. En el río Vizcachas no se satisface la demanda entre octubre y diciembre y en abril, llegando a un déficit de $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$ en octubre. En el río Paine no se satisface la demanda entre mayo y octubre, llegando a un déficit de $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ en julio. En el río Baguales no se satisface la demanda entre octubre y diciembre y en abril, llegando a un déficit de $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ en octubre. En el río de Las Chinas intermedia sólo se satisface la demanda en octubre y noviembre, llegando a un déficit de $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ en abril.

7.7.4.3 Caudal Ecológico

En la Figura 7.47 se muestra la Demanda Insatisfecha del caudal ecológico de cada río.

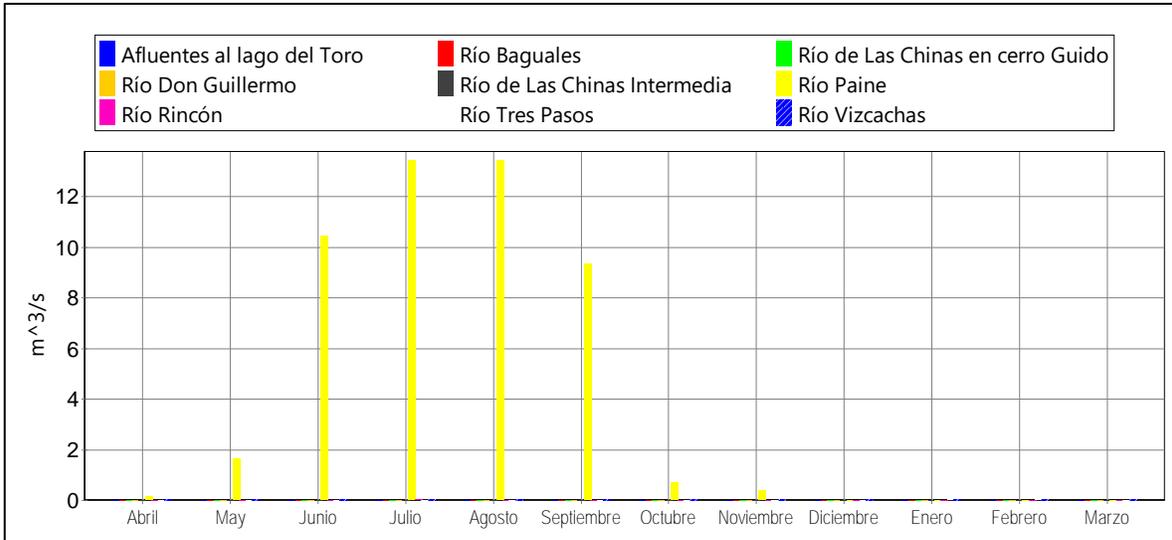


Figura 7.47. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según el caudal ecológico (m³/s).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7.47 se observa que el caudal ecológico es satisfecho en casi todos los ríos del sistema. Sólo en el río Paine se observa un déficit importante entre abril y noviembre, llegando a 13,44 m³/s en julio. El río Don Guillermo tiene un déficit menor, llegando a 0,01 m³/s entre enero y marzo. El río Tres Pasos también tiene un déficit menor entre diciembre y marzo, llegando a 0,07 m³/s en febrero. El río Rincón tiene un déficit menor entre julio y septiembre y en abril, alcanzando 0,03 m³/s en julio.

7.7.4.4 Resumen

La Tabla 7.24 muestra un resumen de la insatisfacción de demanda en las cuencas del sistema. Se agrega el valor máximo mensual que no es satisfecho en los casos en que no se satisface la demanda. El símbolo "v" significa que la demanda está satisfecha y el guion ("-"), que no hay ese tipo de derecho en la cuenca.

Tabla 7.24. Insatisfacción de la demanda por cuenca.

Cuenca	No consuntivos		Consuntivos		Caudal ecológico
	Permanentes	Eventuales	Permanentes	Eventuales	
Río Tres Pasos	< 0,65 m ³ /s	< 2,35 m ³ /s	< 0,06 m ³ /s	< 0,13 m ³ /s	< 0,07 m ³ /s
Afluentes al lago del Toro	-	-	< 0,2 m ³ /s	√	√
Río Rincón	-	-	< 0,13 m ³ /s	< 0,26 m ³ /s	< 0,03 m ³ /s
Río Paine	√	-	< 0,36 m ³ /s	< 0,13 m ³ /s	< 13,44 m ³ /s
Río de Las Chinas en cerro Guido	-	-	-	< 0,09 m ³ /s	√
Río Vizcachas	-	-	√	< 0,48 m ³ /s	√
Río Baguales	√	-	√	< 0,33 m ³ /s	√
Río Don Guillermo	< 0,03 m ³ /s	< 0,04 m ³ /s	-	-	< 0,01 m ³ /s
Río de Las Chinas intermedia	-	-	< 0,36 m ³ /s	< 10,2 m ³ /s	√

Fuente: Elaboración propia.

7.7.5 Proyecciones futuras

En esta sección se presentan los resultados de caudales simulados bajo una proyección futura del clima y de la demanda de recursos hídricos. A continuación se resumen los escenarios futuros climáticos y de demanda, los cuales son descritos en la Sección 7.6.4 y Sección 3.3.2, respectivamente.

Proyecciones climáticas

- Optimista: Considera una detención en la emisión de gases de efecto invernadero. Se utiliza el escenario RCP 2.6, con percentil 25.
- Intermedia: Considera medidas de mitigación futuras. Se utiliza el escenario RCP 6.0, con percentil 50.

Pesimista: Considera una emisión de contaminantes similar a la actual. Se utiliza el escenario RCP 8.5, con percentil 75.

Proyecciones de demanda

- BAU: Considera una tasa de crecimiento futuro similar a la actual, sin responder a alguna política de restricción o fomento al uso del recurso.
- Conservador: Disminución de un 30% a la tasa de cambio respecto al Escenario BAU aplicable para el periodo 2015 – 2025. Luego se restringe la evolución del derecho a un 2% anual.

- Intensivo: Aumento en un 30% a la tasa de cambio respecto al Escenario BAU, sin restricciones a este crecimiento futuro.

Dada la información disponible, la proyección climática sólo se evalúa en la cuenca del río de Las Chinas, en el aporte de los glaciares del macizo del Paine y en la evaporación y precipitación de los lagos del Toro, Maravilla y Porteño (Sección 7.6.4). La proyección en la demanda de recursos hídricos se evalúa en todas las cuencas.

Los resultados de las proyecciones futuras se muestran para el período entre 2036 y 2050, de modo que el escenario de referencia sea similar al periodo actual (2002-2015). En cada resultado se muestra el escenario de referencia y los escenarios de mayor y menor cambio con respecto a este escenario, a excepción de los resultados de demanda insatisfecha donde sólo se muestra el escenario de mayor cambio con respecto al escenario de referencia. El mayor o menor cambio futuro se determina a mediante el caudal medio anual del registro completo en cada caso (2002-2050).

7.7.5.1 Entradas al lago del Toro

En las cuencas del río Paine y en la cuenca del río de Las Chinas se evalúa una proyección climática y en la demanda de recursos hídricos, mientras en el resto de las cuencas sólo se evalúa una proyección de demanda.

La cuenca del río Paine sólo considera un cambio climático en el aporte glacial del macizo Paine, en el resto de la cuenca sólo considera un cambio en la demanda de recursos hídricos. La Figura 7.48 muestra los distintos resultados para el caudal modelado de deshielo del Macizo Paine para los distintos escenarios de cambio climático.

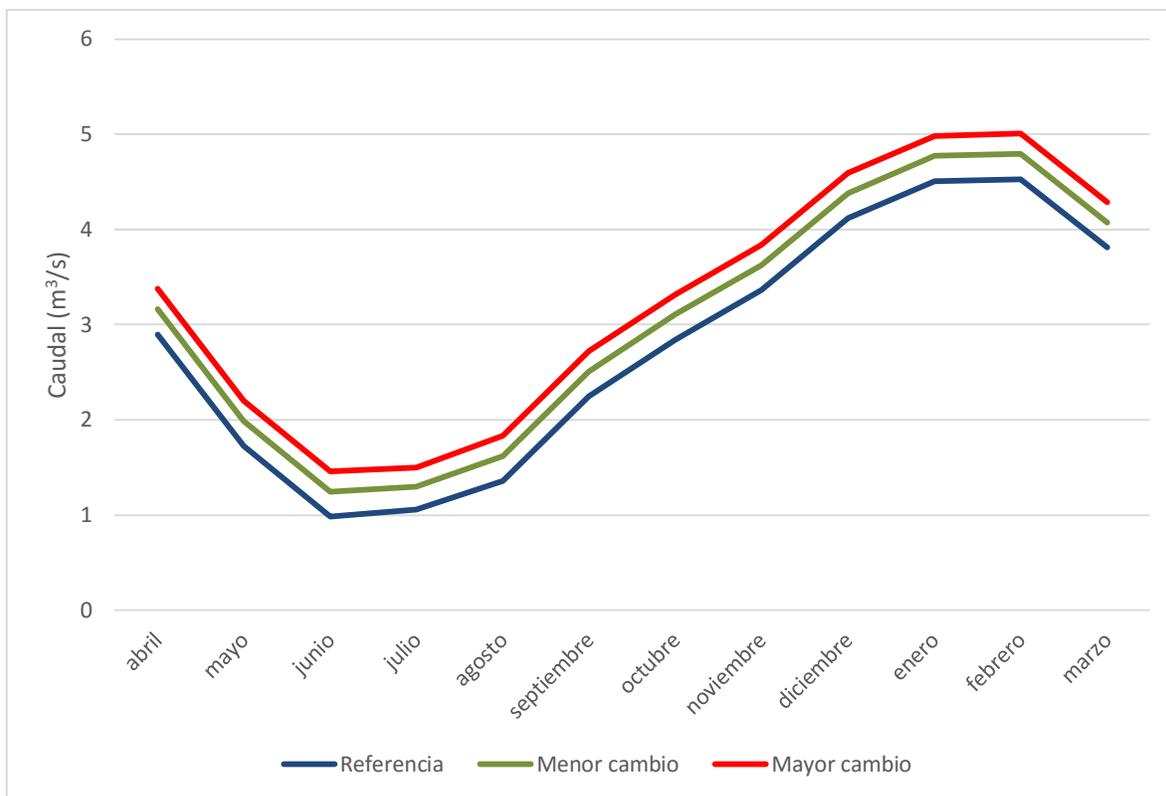


Figura 7.48. Caudales medios mensuales aportados por el deshielo del macizo Paine, para el escenario de Referencia y para el escenario de mayor y menor Cambio Climático (m³/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

La línea azul muestra el caudal promedio actual, según las estimaciones hechas usando el clima histórico y el balance hídrico. El escenario de mayor cambio es el escenario climático pesimista, mientras el de menor cambio es el optimista. Las dos líneas de proyecciones muestran un mayor aporte de caudal dadas las mayores temperaturas, aunque en este caso se supuso que el área glaciar aportante no cambiaría, supuesto que es discutible, pero para el que se necesitarían más antecedentes y quizás estudios científicos más acabados con respecto al comportamiento de los glaciares del Macizo Paine y de otros glaciares de la cuenca suponiendo incrementos en las temperaturas. Tampoco se realizaron supuestos de cambio climático sobre el glaciar Dickson, siendo éste el mayor aporte de agua al río Paine y de los principales al sistema del Lago del Toro.

La Figura 7.49 muestra la proyección futura de recursos hídricos en la cuenca del río Paine. La proyección futura de esta cuenca presenta cambios leves en su disponibilidad hídrica. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática intermedia y una proyección de demanda intensiva. El escenario de

menor cambio considera una proyección climática pesimista (mayor caudal por aumento de temperaturas y caudales de deshielo) y una proyección de demanda conservadora.

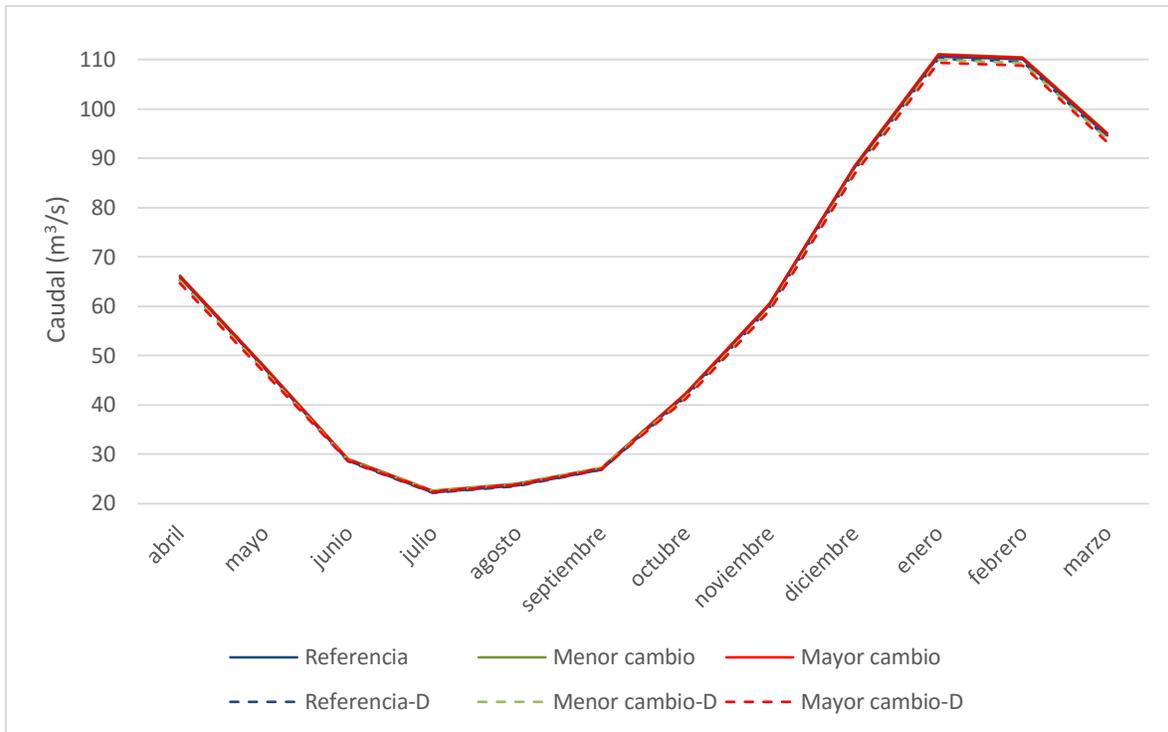


Figura 7.49. Caudales aportados por la cuenca del río Paine, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m^3/s).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la cuenca del río de Las Chinas se evalúa una proyección de cambio climático mediante la representación de los caudales con el método de Turc (Sección 7.6.1.1), por lo que un aumento en las temperaturas implicaría un aumento en la evapotranspiración, por ende una posible disminución en los caudales. El análisis se desarrolla para cada una de las subcuencas de este río. Además se evalúa una proyección en la demanda de recursos hídricos en todas las subcuencas. Entre la Figura 7.50 y Figura 7.54 se muestra la proyección de los caudales de estas subcuencas.

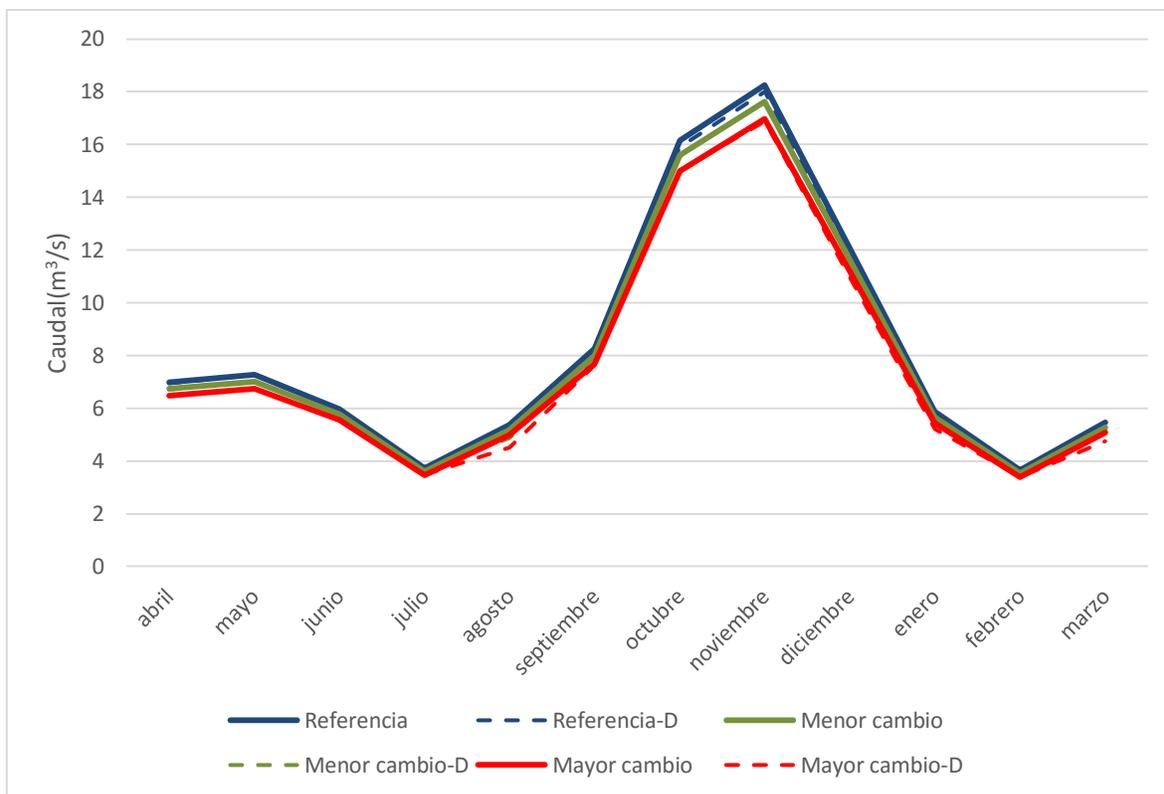


Figura 7.50. Caudales aportados por la cuenca del río de Las Chinas en cerro Guido, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río de Las Chinas en cerro Guido proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios, producto del aumento en las temperaturas y con esto un aumento en la evapotranspiración. El escenario de menor cambio considera una proyección climática pesimista y una proyección de demanda intensiva. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista y una proyección de demanda conservadora. Esta combinación se da por un aumento en las temperaturas en ambos escenarios (por ende una disminución de los caudales) con un aumento de las precipitaciones en un escenario pesimista (donde aumenta el caudal) y una disminución de las precipitaciones en un escenario optimista (donde disminuye el caudal).

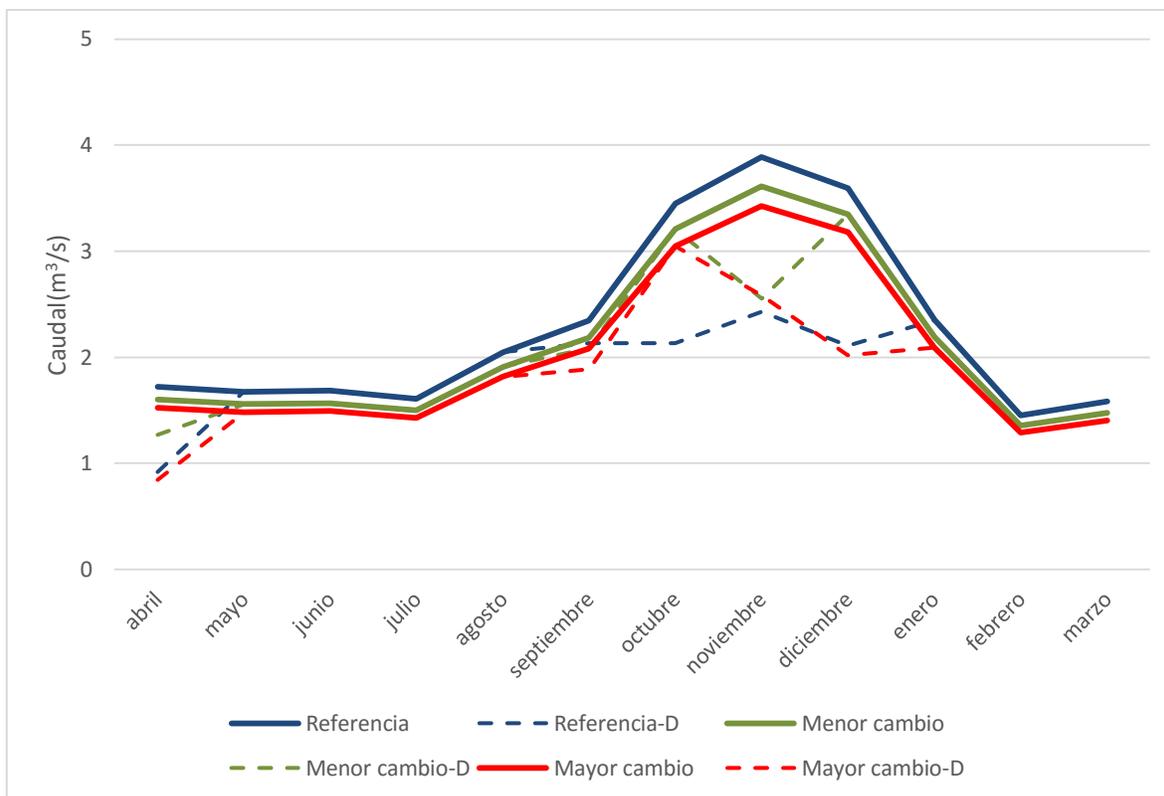


Figura 7.51. Caudales aportados por la cuenca del río Vizcachas, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m^3/s).

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Vizcachas proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios, producto del aumento en las temperaturas y con esto un aumento en la evapotranspiración. El escenario de menor cambio considera una proyección climática pesimista y una proyección de demanda intensiva. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista y una proyección de demanda conservadora. Esta combinación se da por un aumento en las temperaturas en ambos escenarios con un aumento de las precipitaciones en un escenario pesimista y una disminución de las precipitaciones en un escenario optimista.

Se observa que la disponibilidad de agua luego de extraídos los derechos de agua es menor en el escenario de referencia que en los escenarios futuros, a pesar del aumento en la proyección de demanda. Esto se debe a la insatisfacción de la demanda de caudal ecológico aguas abajo en el río de Las Chinas en los escenarios futuros (Figura 7.54).

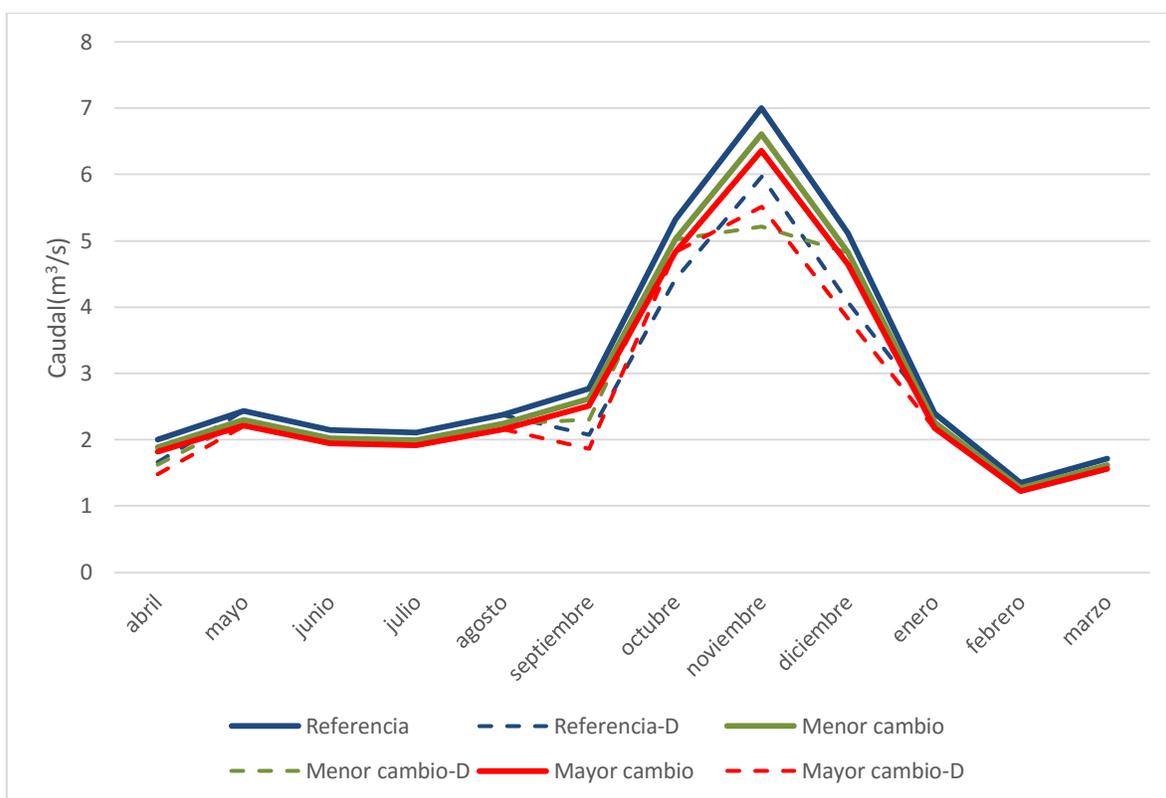


Figura 7.52. Caudales aportados por la cuenca del río Baguales, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río Baguales proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios, producto del aumento en las temperaturas y con esto un aumento en la evapotranspiración. El escenario de menor cambio considera una proyección climática intermedia y una proyección de demanda intensiva. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista y una proyección de demanda conservadora.

Esta combinación se da por un aumento en las temperaturas en ambos escenarios con una mantención de las precipitaciones en un escenario intermedio y una disminución de las precipitaciones en un escenario optimista.

Se observa que la disponibilidad de los caudales luego de extraídos los derechos de agua es mayor en el escenario de mayor cambio frente al escenario de menor cambio. Esto podría deberse a un mayor cambio en la proyección de demanda en el escenario de menor cambio anual de los caudales. También podría ser

motivo de la demanda de caudal ecológico aguas abajo en el río de Las Chinas (Figura 7.54).

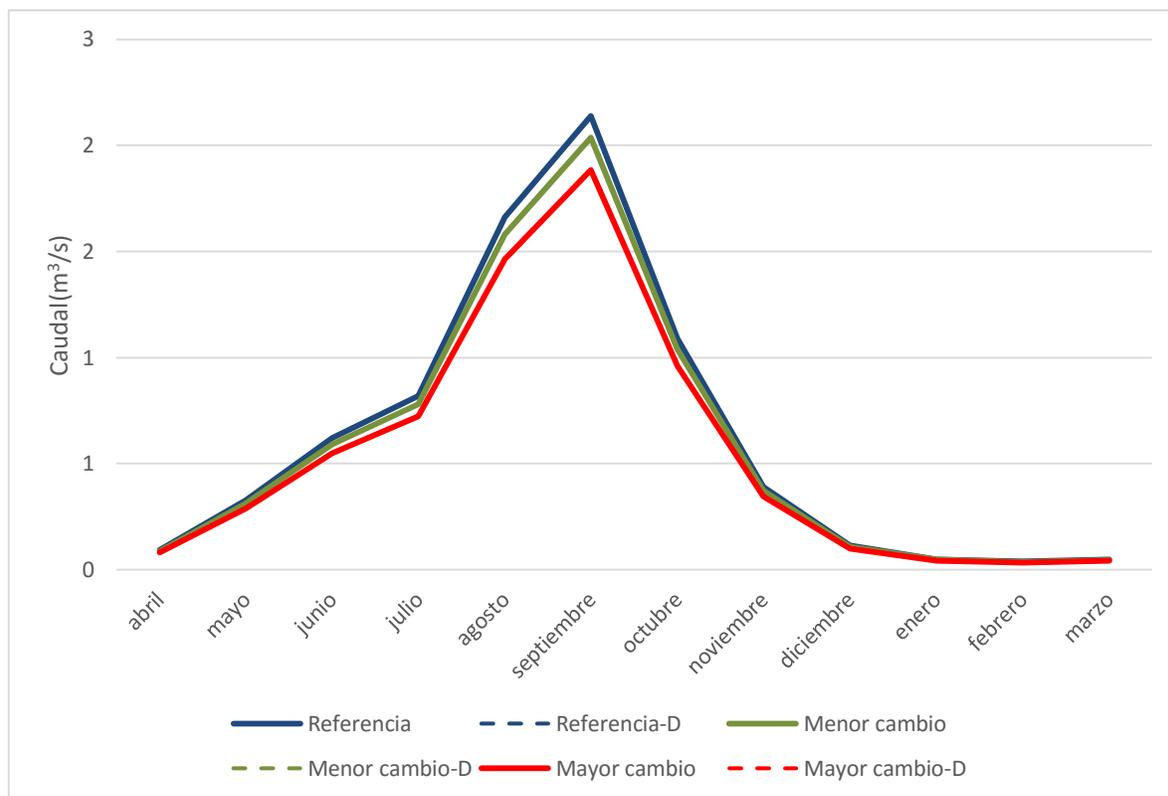


Figura 7.53. Caudales aportados por la cuenca del río Don Guillermo, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río Don Guillermo proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios, producto del aumento en las temperaturas y con esto un aumento en la evapotranspiración. En esta cuenca no se proyectan cambios en la disponibilidad hídrica ya que sólo tiene derechos no consuntivos. El escenario de menor cambio considera una proyección climática pesimista, mientras el escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista.

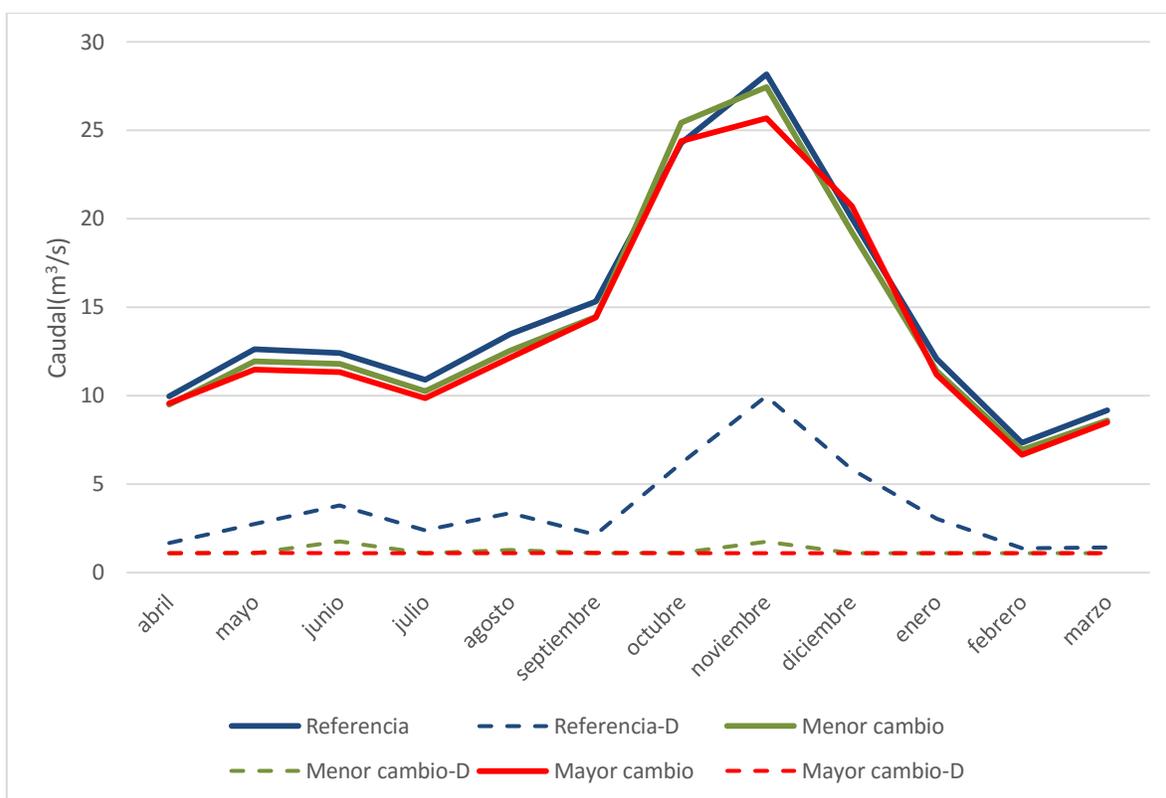


Figura 7.54. Caudales aportados por la cuenca del río de Las Chinas en desagüe lago del Toro, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático (m³/s).
 Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río de Las Chinas en desagüe lago del Toro proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios, producto del aumento en las temperaturas y con esto un aumento en la evapotranspiración. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista y una proyección de demanda intensiva. El escenario de menor cambio considera una proyección climática pesimista y una proyección de demanda conservadora. Esta combinación se da por un aumento en las temperaturas en ambos escenarios con un aumento de las precipitaciones en un escenario pesimista y una disminución de las precipitaciones en un escenario optimista.

Se observa que el caudal disponible luego de extraídos los derechos de agua, es similar al caudal ecológico en el escenario de mayor cambios y alcanza el caudal ecológico en la mayoría de los meses en el escenario de menor cambio. Esto explica que en los escenarios futuros exista una mayor disponibilidad de agua luego de extraídos los derechos en el río Vizcachas (Figura 7.51) y posiblemente en el río Baguales (Figura 7.52).

En las cuencas del río Rincón, Tres Pasos y de los afluentes al lago del Toro sólo se evalúa una proyección en la demanda de recursos hídricos. Entre la Figura 7.55 y Figura 7.57 se muestra la proyección de los caudales de estas cuencas.

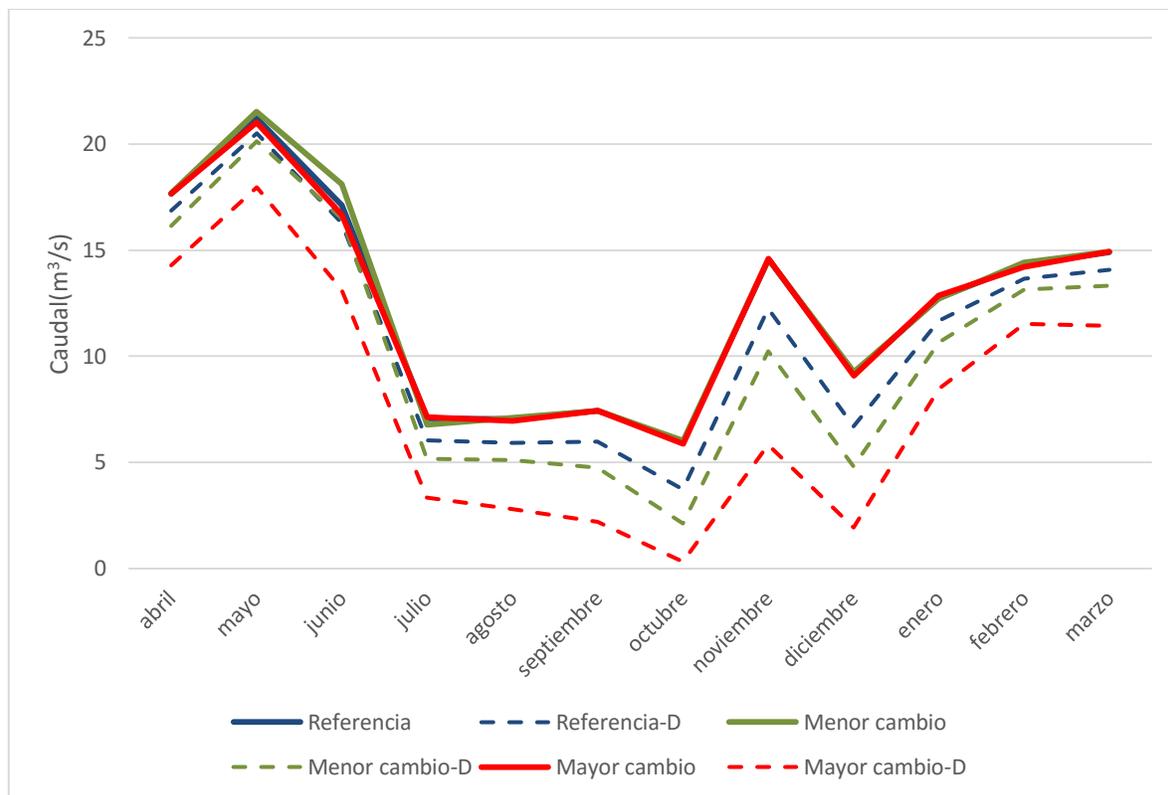


Figura 7.55. Caudales aportados por la cuenca del río Rincón, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m^3/s).
Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río Rincón proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios. El escenario de menor cambio considera una proyección de demanda conservadora, mientras el escenario de mayor cambio considera una proyección de demanda intensiva.

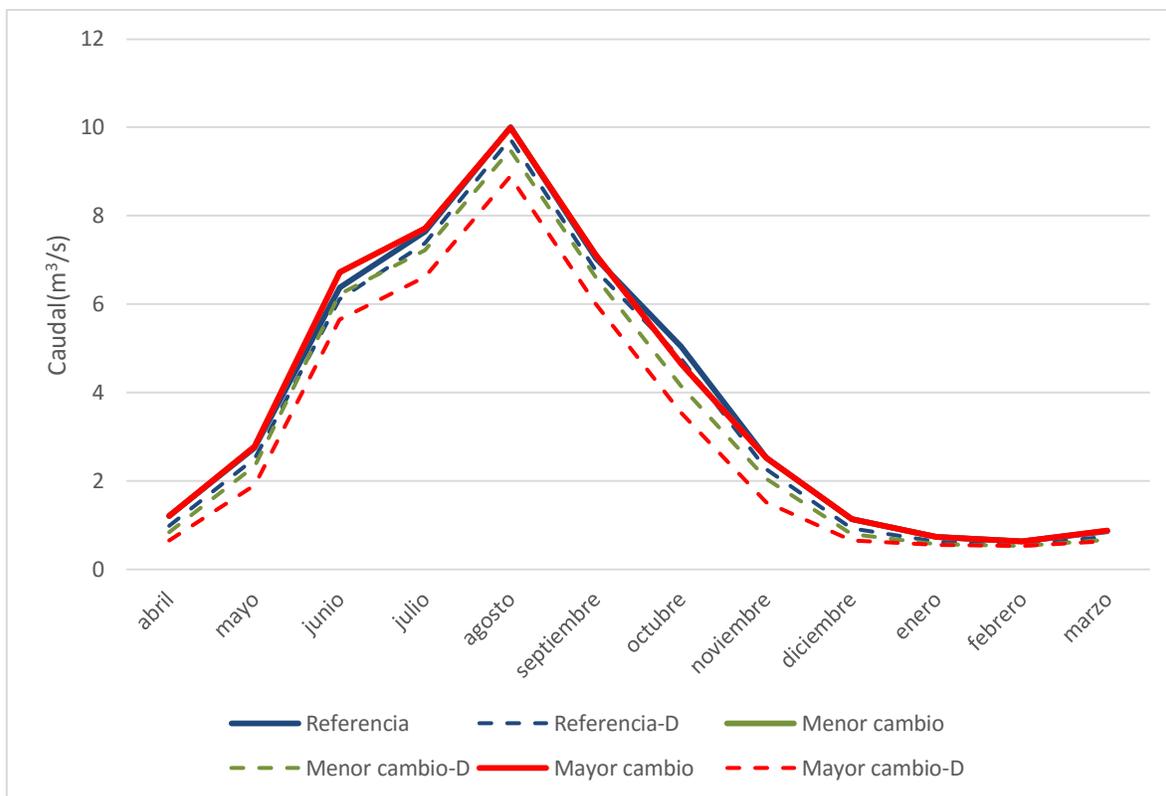


Figura 7.56. Caudales aportados por la cuenca del río Tres Pasos, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m^3/s).

Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca del río Tres Pasos proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios. El escenario de menor cambio considera una proyección de demanda conservadora, mientras el escenario de mayor cambio considera una proyección de demanda intensiva.

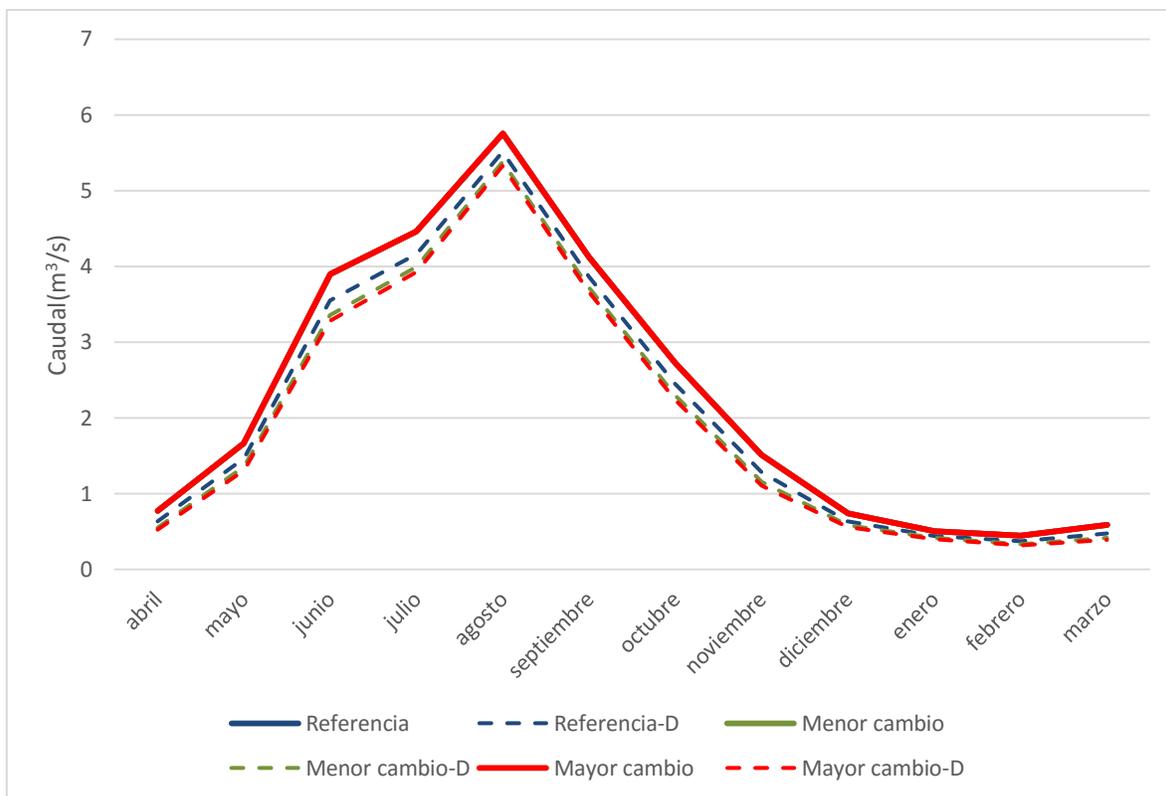
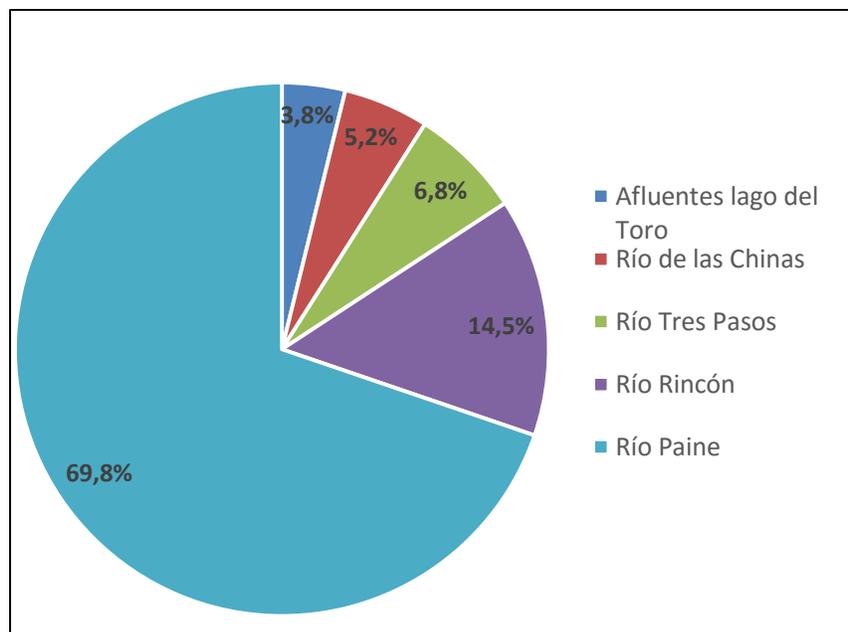


Figura 7.57. Caudales aportados por la cuenca de los afluentes al lago del Toro, para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuros (m³/s).

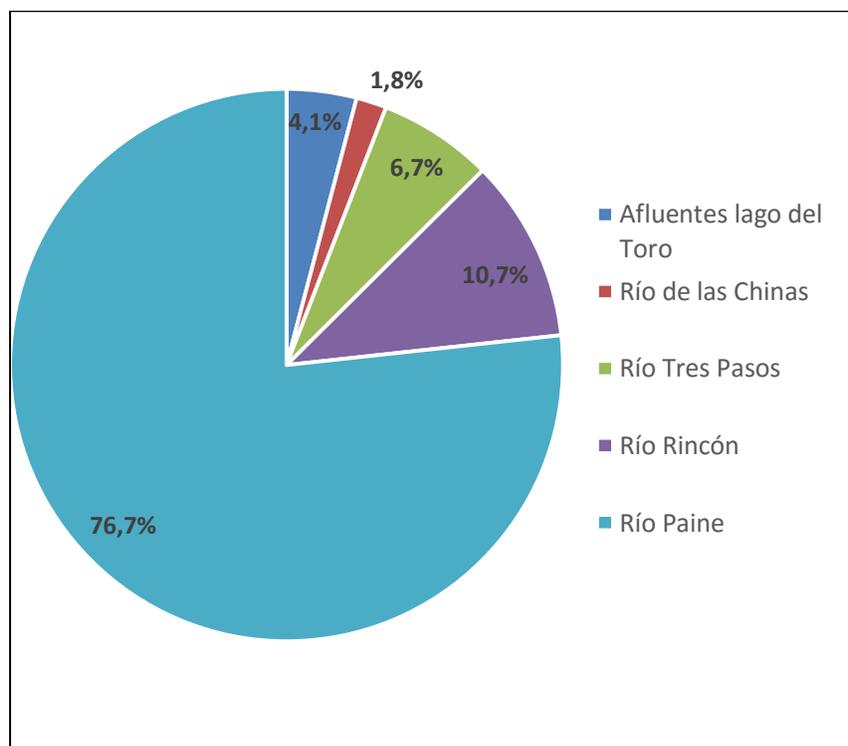
Fuente: *Elaboración propia.*

La cuenca de los afluentes al lago del Toro proyecta una disminución en su disponibilidad hídrica en ambos escenarios. El escenario de menor cambio considera una proyección de demanda BAU, mientras el escenario de mayor cambio considera una proyección de demanda intensiva.

Finalmente, la Figura 7.58 y la Tabla 7.25 muestran la proporción de los caudales de entrada al Lago del Toro, considerando el escenario de mayor cambio en la cuenca del río Serrano, es decir, el escenario Intensivo-Optimista. Se agrega además la proporción de estos caudales en la condición actual para su comparación.



(a)



(b)

Figura 7.58. Porcentaje aportado por cada cuenca de entrada al Lago del Toro a nivel anual. (a) Escenario actual (Figura 7.33), período 2001-2015. (b) Escenario de mayor cambio en la cuenca del río Serrano (Intensivo-Optimista), período 2036-2050.

Fuente: *Elaboración propia.*

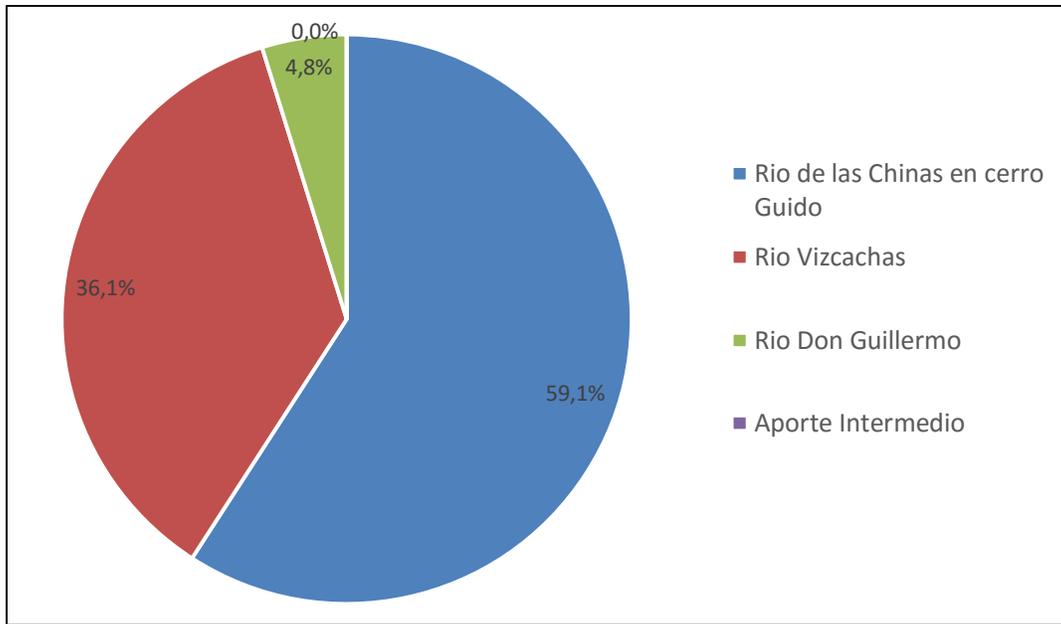
Tabla 7.25. Porcentaje de entrada aportado por cada cuenca al Lago del Toro a nivel anual

	Condición Actual (% anual)	Escenario de mayor cambio (% anual)
Afluentes al lago del Toro (%)	3,8%	4,1%
Río de Las Chinas (%)	5,2%	1,8%
Río Tres Pasos (%)	6,8%	6,7%
Río Rincón (%)	14,5%	10,7%
Río Paine (%)	69,8%	76,7%
Caudal promedio de entrada al lago (m ³ /s)	80,04	73,22

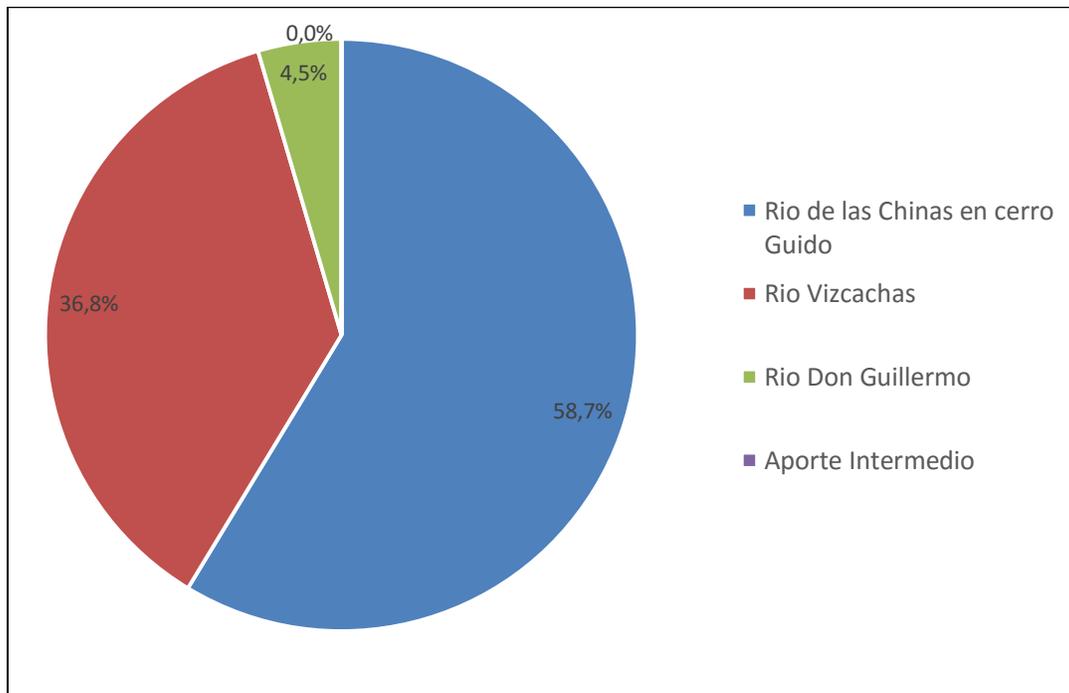
Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, se observa una disminución de los caudales de entrada a nivel anual en el escenario futuro, de aproximadamente 6,8 m³/s. Por otro lado, se observa un aumento en la proporción del aporte del río Paine y una disminución en la proporción del aporte de los ríos Rincón y de Las Chinas, y levemente del río Tres Pasos. La proporción del aporte de los afluentes al lago del Toro aumenta levemente.

La Figura 7.59 y la Tabla 7.26 muestran la proporción de los caudales de las subcuencas del río de Las Chinas, considerando el escenario de mayor cambio en la subcuenca completa, es decir, el escenario Intensivo-Optimista. Se agrega además la proporción de estos caudales en la condición actual.



(a)



(b)

Figura 7.59. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel anual (m^3/s).
 (a) Escenario actual (Figura 7.42), período 2001-2015. (b) Escenario de mayor cambio en la subcuenca completa (Intensivo-Optimista), período 2036-2050.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 7.26. Porcentaje aportado por cada subcuenca del río de Las Chinas a nivel anual (m³/s)

	Condición Actual (% anual)	Escenario de mayor cambio (% anual)
Río de Las Chinas en cerro Guido (%)	59,1%	58,7%
Río Vizcachas (%)	36,1%	36,8%
Río Don Guillermo (%)	4,8%	4,5%
Río de Las Chinas intermedia (%)	0,0%	0,0%
Caudal total de entrada al lago (m³/s)	3,65	1,10

Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, se observa una disminución de los caudales de entrada al lago a nivel anual en el escenario futuro, de aproximadamente 2,55 m³/s. Además el caudal de entrada al lago corresponde al caudal ecológico, a nivel anual y mensual, considerando el escenario futuro. Por otro lado, se observa un comportamiento similar en la proporción de la mayoría de las subcuencas, con un leve aumento del aporte del río Vizcachas, y con una leve disminución leve del aporte del río Don Guillermo y del río de Las Chinas en cerro Guido. Recordar que en este análisis el río Vizcachas incluye al río Baguales.

7.7.5.2 Almacenamiento

Se evalúa una proyección climática en la evaporación y precipitación del lago del Toro. La Figura 7.60 muestra el cambio de la proyección en la evaporación neta del lago (evaporación menos precipitación), el cual alcanza como máximo una disminución de 0,3 y 0,9 mm en el escenario de menor y mayor cambio, respectivamente.

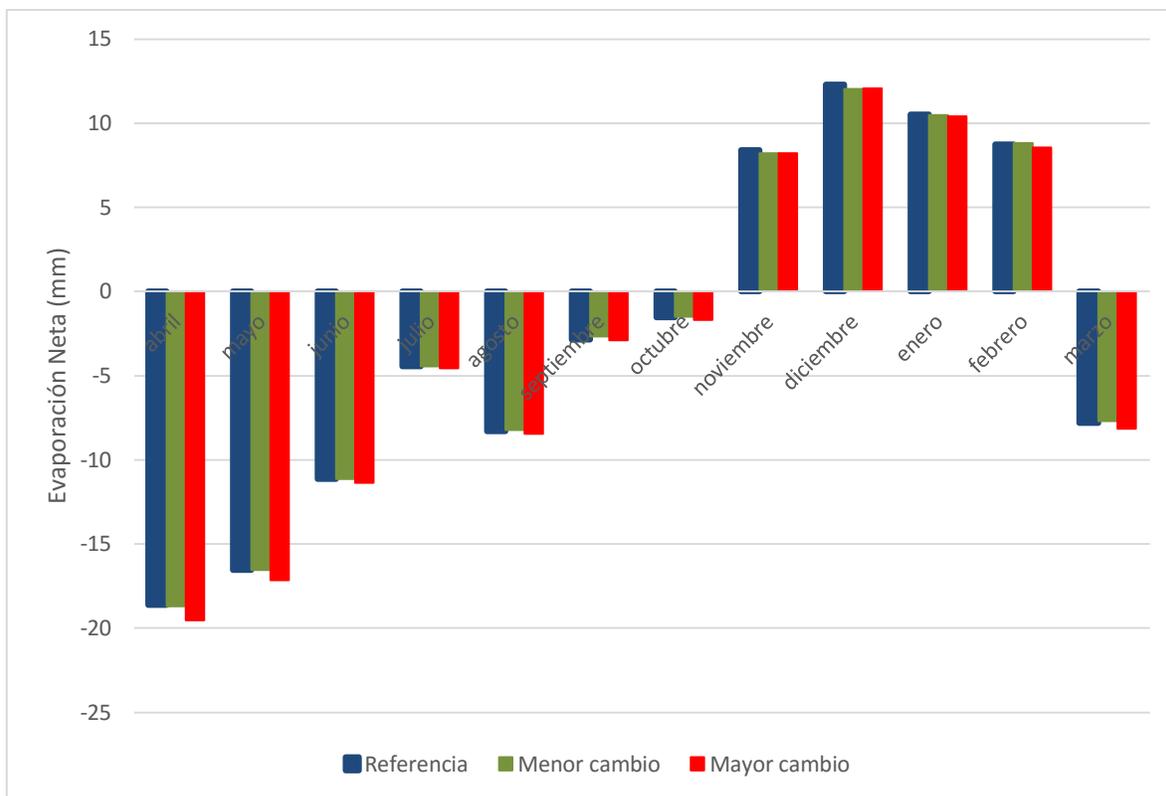


Figura 7.60. Evaporación Neta del Lago del Toro para el escenario de Referencia y para los dos escenarios de Cambio Climático.

Fuente: *Elaboración propia.*

La Figura 7.61 muestra la cota promedio mensual para el Lago del Toro. En rojo se muestra el escenario de referencia y en azul, el escenario futuro con mayor cambio en los caudales de salida del Lago del Toro, el cual considera una proyección de demanda climática optimista y una proyección de demanda intensiva. Esto significa que las diferencias en los caudales futuros estaría condicionada mayormente por la demanda de recursos desfavorable (intensiva), por sobre una proyección climática desfavorable (pesimista). La elevación promedio del lago del Toro disminuiría en este escenario futuro producto de la disminución en la mayoría de los caudales de entrada.

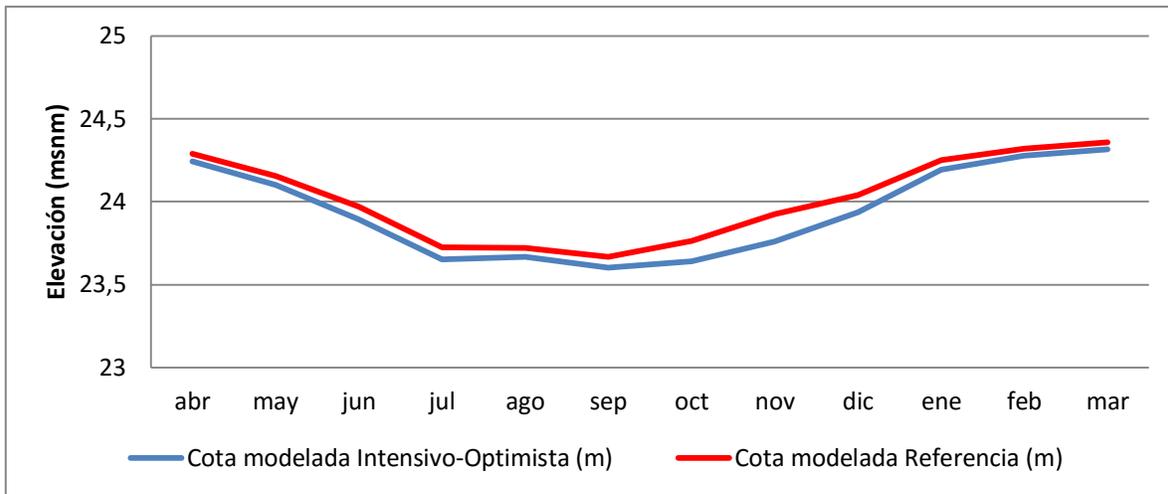


Figura 7.61. Cota del Lago del Toro para el escenario de Referencia y para un escenario futuro.
Fuente: Elaboración propia.

7.7.5.3 Salidas del lago del Toro

Se evalúan los caudales de la salida del lago del Toro considerando los caudales de entrada y el almacenamiento del lago con las proyecciones climáticas y de demanda mencionadas (Sección 7.7.5.1 y 7.7.5.2). La Figura 7.62 muestra el cambio proyectado en los caudales de salida del lago. El escenario de menor cambio considera una proyección climática pesimista y una proyección de demanda conservadora. El escenario de mayor cambio considera una proyección climática optimista y una proyección de demanda intensiva.

En ambos escenarios el caudal del río Serrano disminuiría.

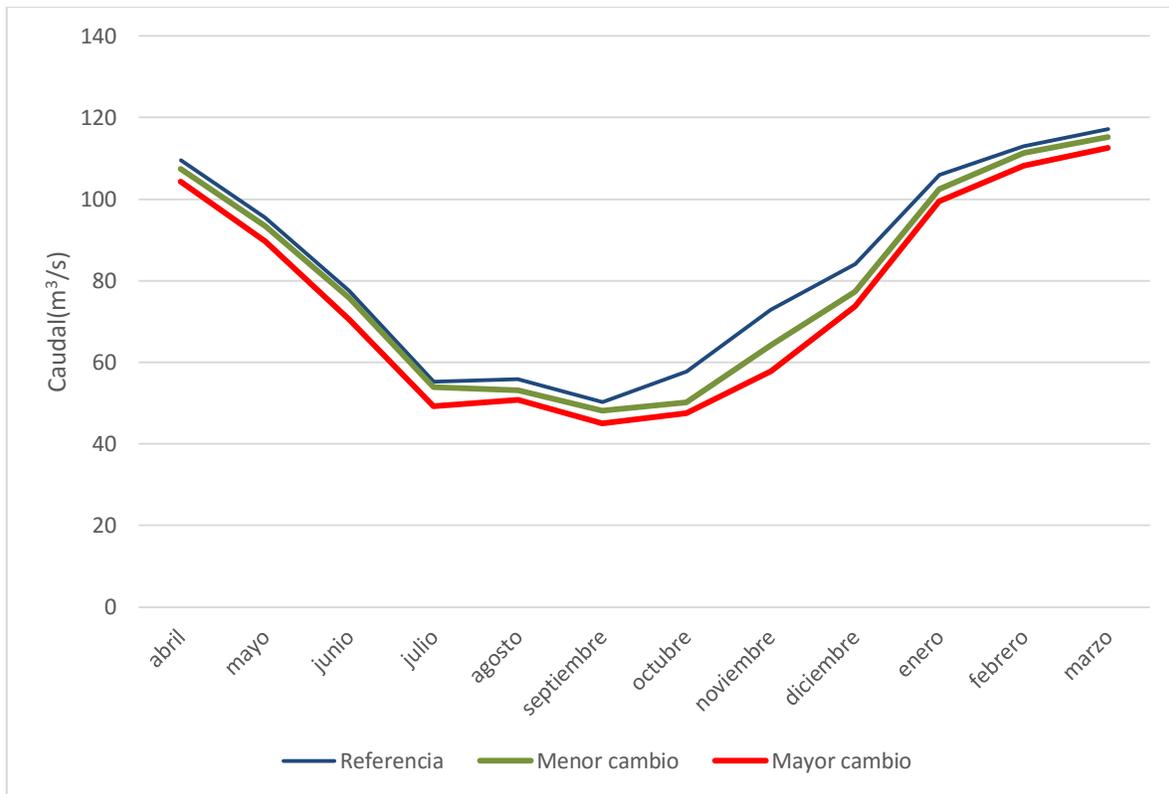


Figura 7.62. Caudal medio mensual en el río Serrano en desagüe lago del Toro para el escenario de Referencia y para los dos escenarios futuro.
Fuente: *Elaboración propia.*

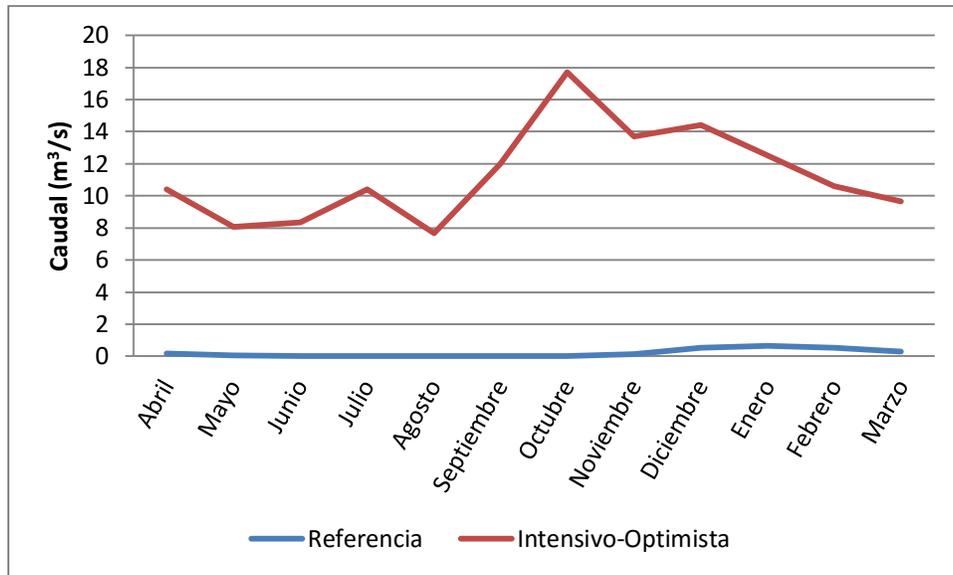
7.7.5.4 Derechos de Aprovechamiento de aguas

Las proyecciones de disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer la demanda futura se evalúan en el período entre 2037 y 2050. Los resultados muestran el escenario de referencia y el escenario de mayor cambio anual en cada río. Este escenario corresponde al mismo escenario presentado en los resultados de la Sección 7.7.5.1 en cada río.

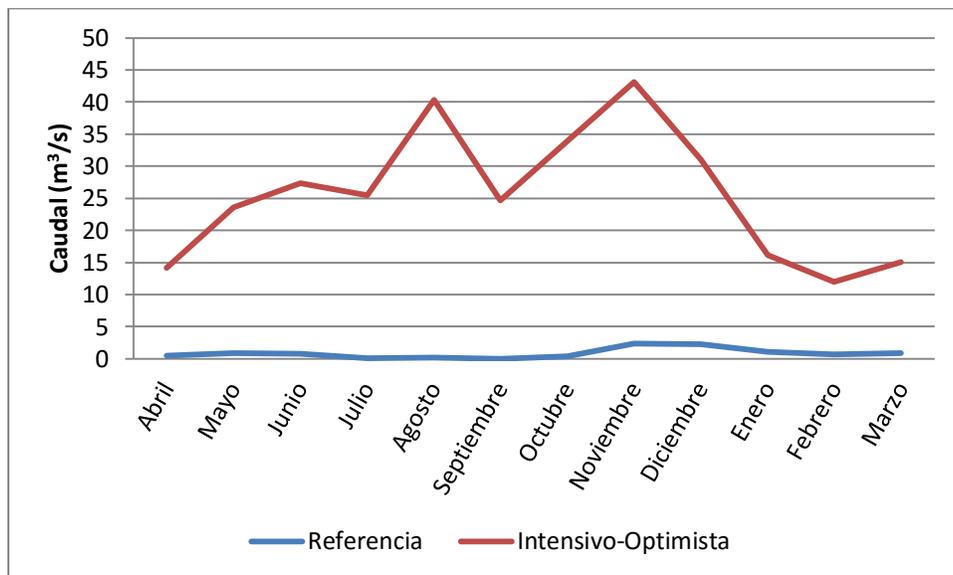
7.7.5.4.1 Derechos No Consuntivos

Las cuencas donde existen derechos no consuntivos son las cuencas del río Paine, Tres Pasos, Baguales y Don Guillermo, en el caso de los derechos permanentes, y Tres Pasos y Don Guillermo, en el caso de los derechos eventuales. De estas cuencas, solo las cuencas del río Tres Pasos y del río Don Guillermo tiene una insatisfacción de demanda en el escenario de referencia, tanto en sus caudales permanentes como eventuales. Entre la Figura 7.63 y la Figura 7.64 se muestran los escenarios de referencia y de cambio futuro en la

Demanda Insatisfecha de los derechos no consuntivos, permanentes y eventuales, de cada río. Sólo se observa un aumento en la insatisfacción de la demanda en el escenario futuro en el río Tres Pasos.



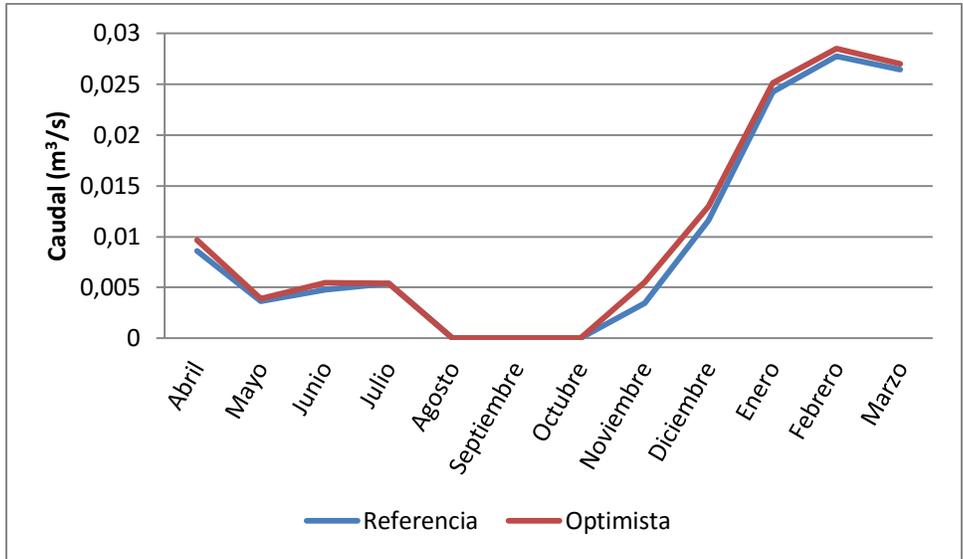
(a)



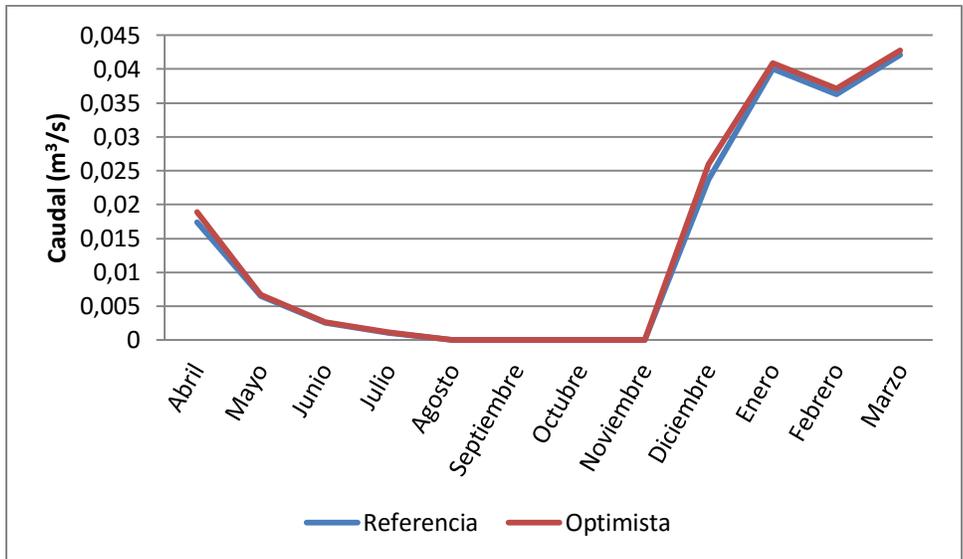
(b)

Figura 7.63. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos, río Tres Pasos (m³/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.



(a)



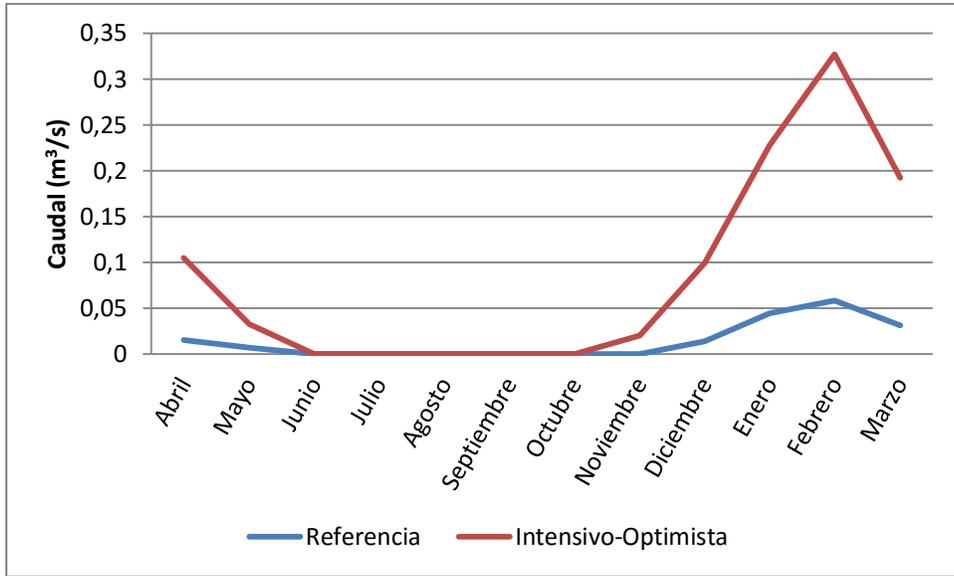
(b)

Figura 7.64. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos no consuntivos, río Don Guillermo (m^3/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

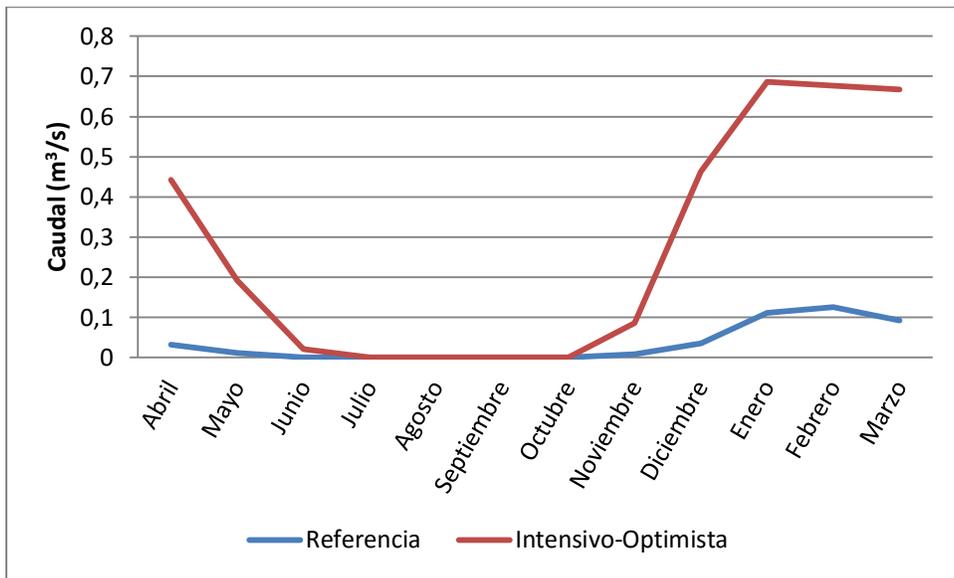
Fuente: Elaboración propia.

7.7.5.4.2 Derechos Consuntivos

Las cuencas donde existen derechos consuntivos permanentes son las cuencas de los ríos Paine, Tres Pasos, Baguales, Rincón, Vizcachas, de Las Chinas intermedia y la cuenca de los afluentes al lago del Toro. Los derechos consuntivos eventuales se encuentran en las mismas cuencas, agregando la cuenca del río de Las Chinas en cerro Guido. De todas estas cuencas, solo los ríos Vizcachas y Baguales tienen cubierta la demanda de derechos consuntivos permanentes en el escenario de referencia. La cuenca de los afluentes al lago del Toro es la única cuenca que tiene su demanda de derechos consuntivos eventuales cubierta en el escenario de referencia. Entre la Figura 7.65 y Figura 7.72 se muestran los escenarios de referencia y de cambio futuro en la Demanda Insatisfecha de los derechos consuntivos, permanentes y eventuales, de cada río. Se observa un aumento en la insatisfacción de la demanda en el escenario futuro en todos los ríos con insatisfacción de demanda en la actualidad, tanto para derechos permanentes como eventuales.



(a)



(b)

Figura 7.65. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Tres Pasos (m³/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.

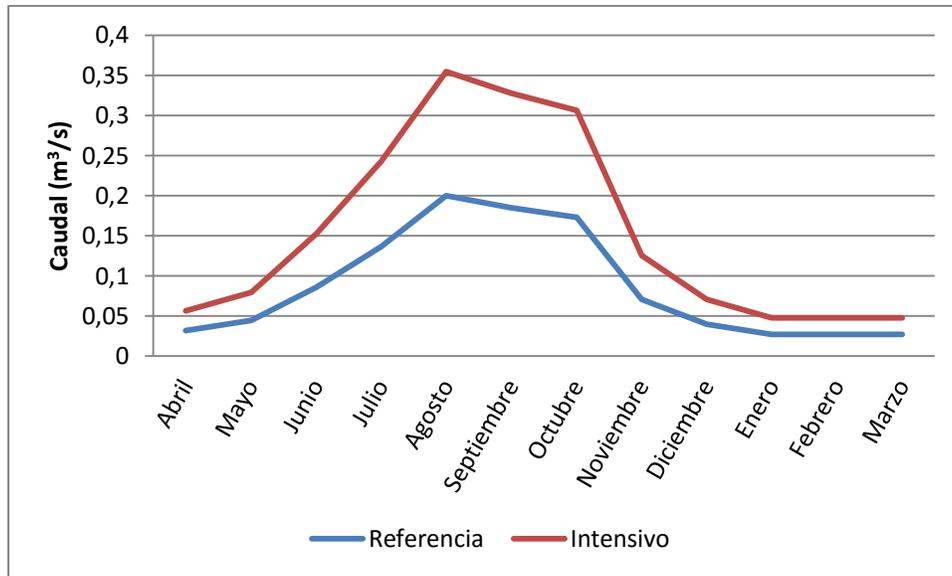
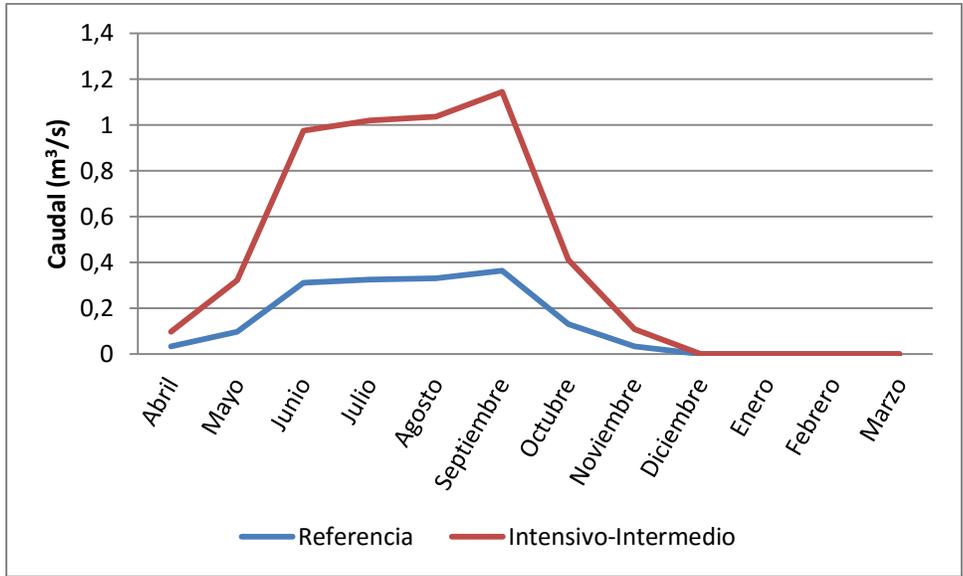
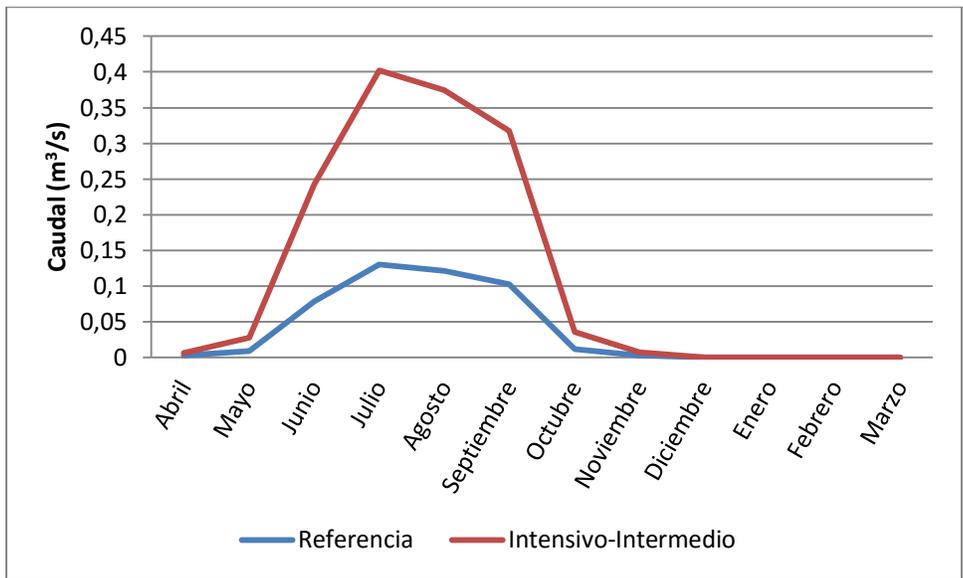


Figura 7.66. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, cuenca de los afluentes al lago del Toro (m³/s). Caudales Permanentes.

Fuente: Elaboración propia.



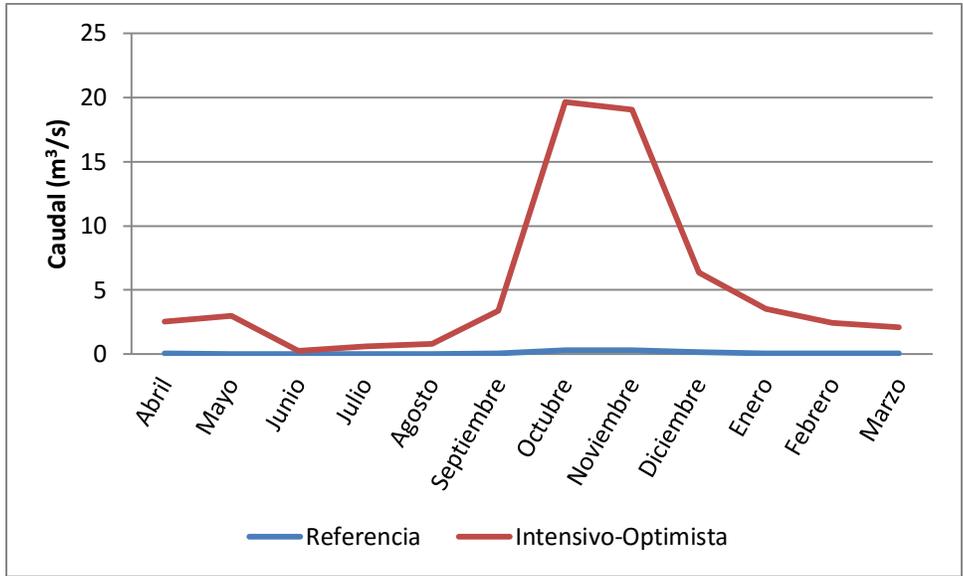
(a)



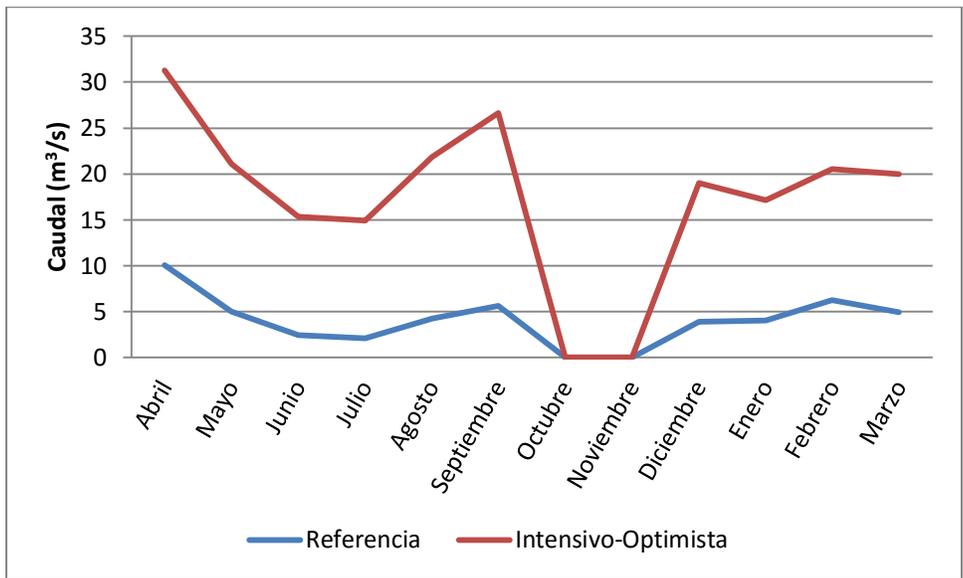
(b)

Figura 7.67. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Paine (m³/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.



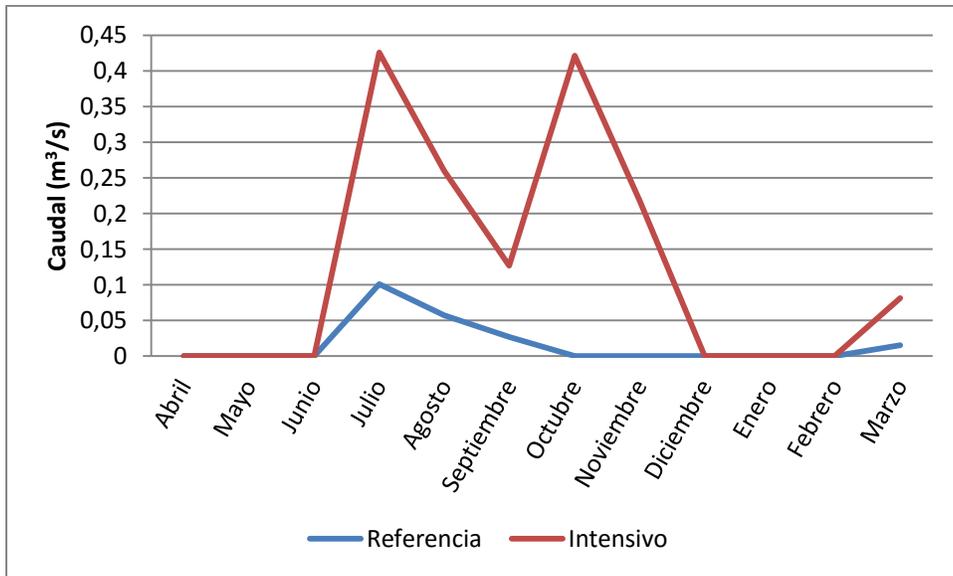
(a)



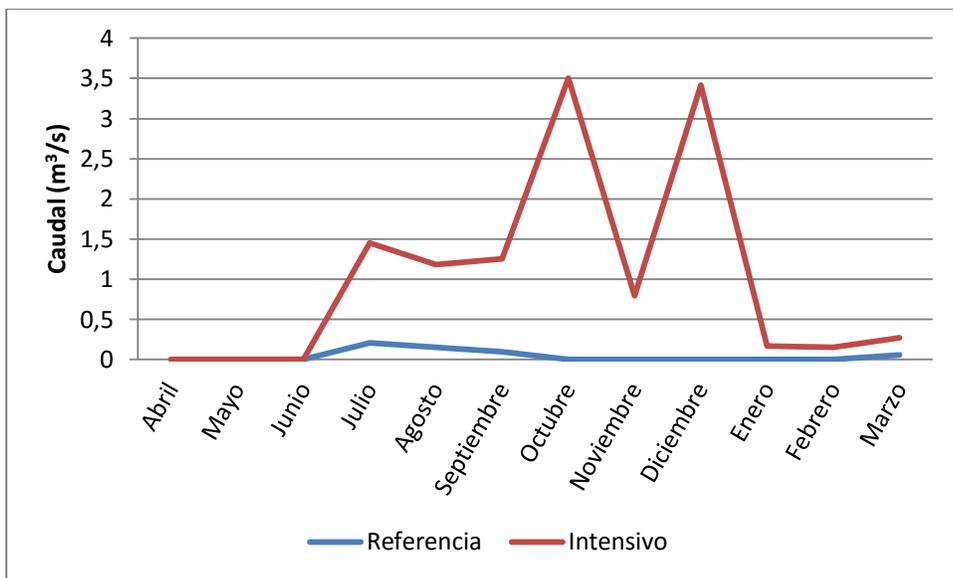
(b)

Figura 7.68. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río de Las Chinas intermedia (m³/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.



(a)



(b)

Figura 7.69. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Rincón (m³/s). (a) Caudales Permanentes. (b) Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.

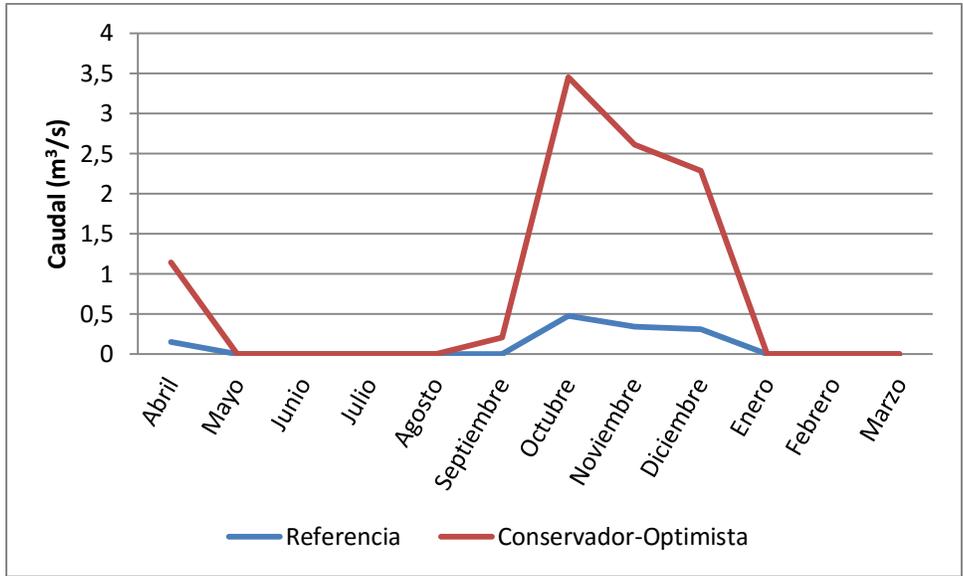


Figura 7.70. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Vizcachas (m³/s). Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.

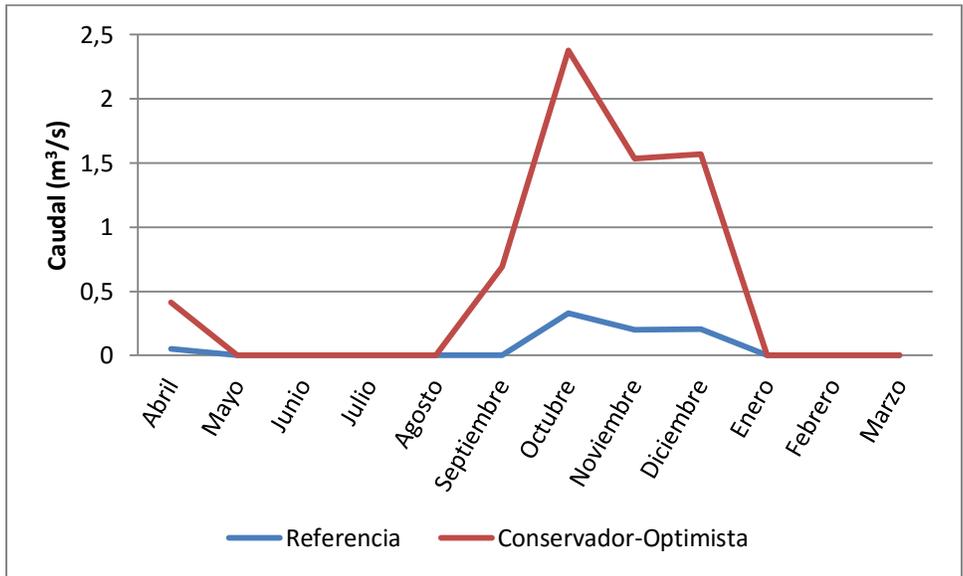


Figura 7.71. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río Baguales (m³/s). Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.

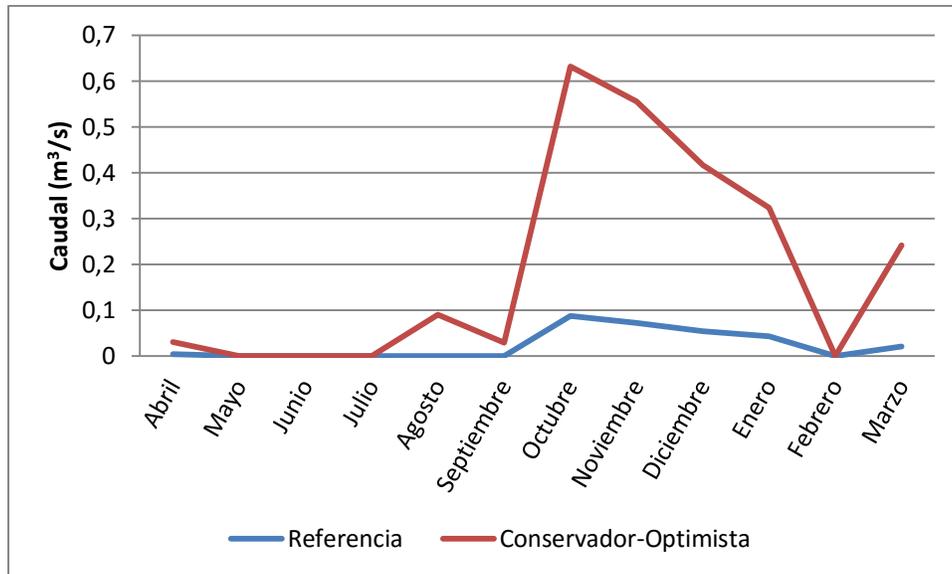


Figura 7.72. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según derechos consuntivos, río de Las Chinas en cerro Guido (m^3/s), Caudales Eventuales.

Fuente: Elaboración propia.

7.7.5.4.3 Caudal Ecológico

De todas las cuencas, solo los ríos Don Guillermo, Paine, Rincón y Tres Pasos tienen una demanda insatisfecha en el escenario de referencia. Entre la Figura 7.73 y la Figura 7.77 se muestran los escenarios de referencia y de cambio futuro en la Demanda Insatisfecha de los caudales ecológicos de cada río. En general la insatisfacción de la demanda se mantiene en el escenario futuro, a excepción del río Baguales donde aumenta levemente la insatisfacción de demanda.

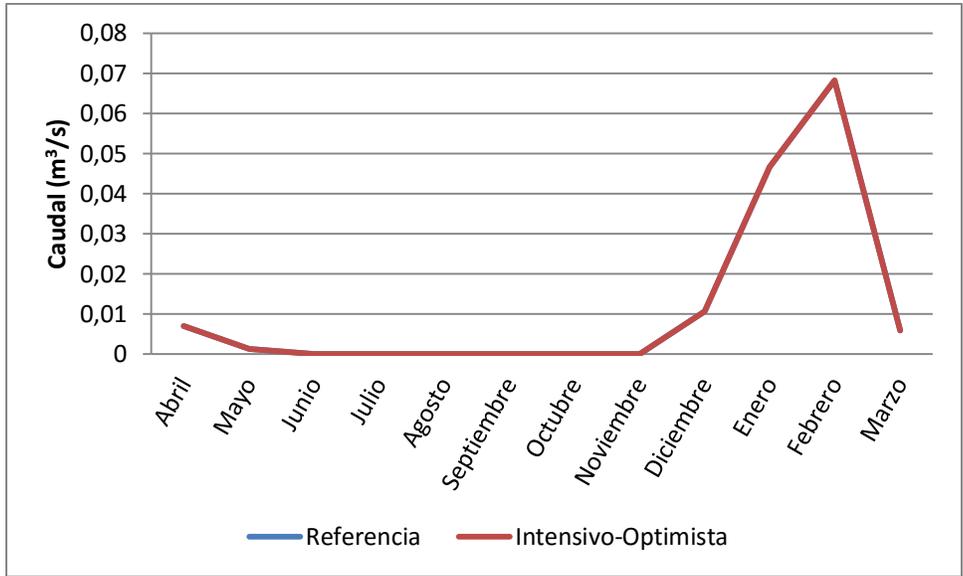


Figura 7.73. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Tres Pasos (m³/s)

Fuente: Elaboración propia.

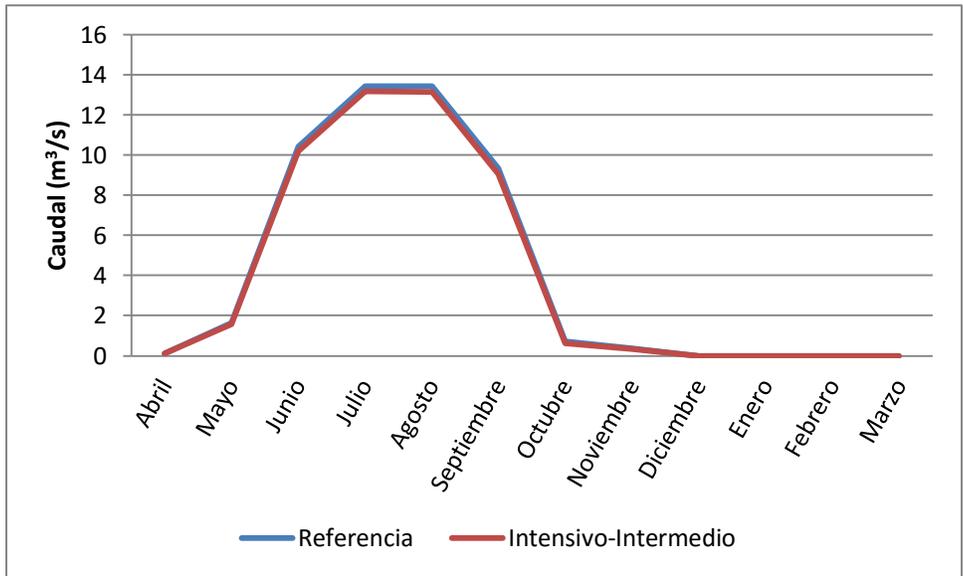


Figura 7.74. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Paine (m³/s)

Fuente: Elaboración propia.

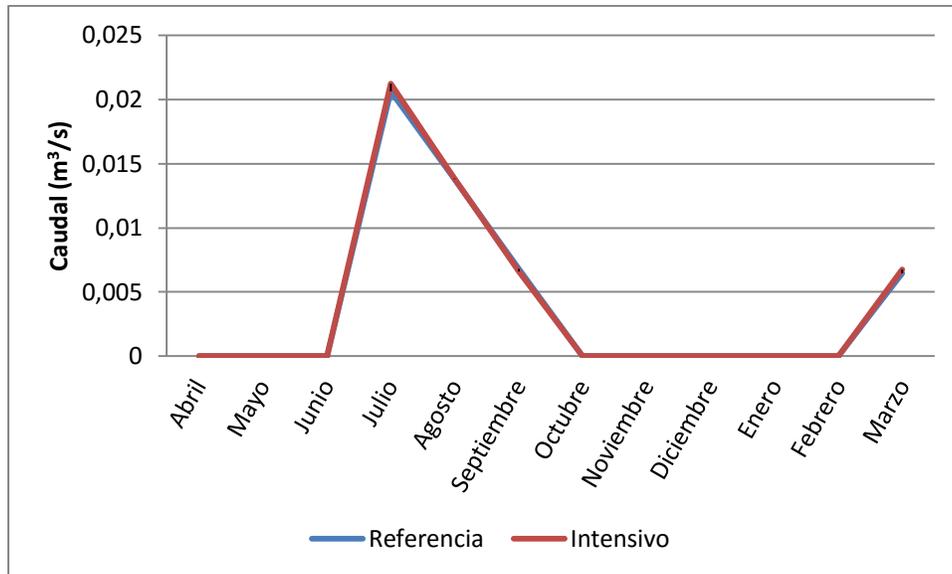


Figura 7.75. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Rincón (m³/s)

Fuente: Elaboración propia.

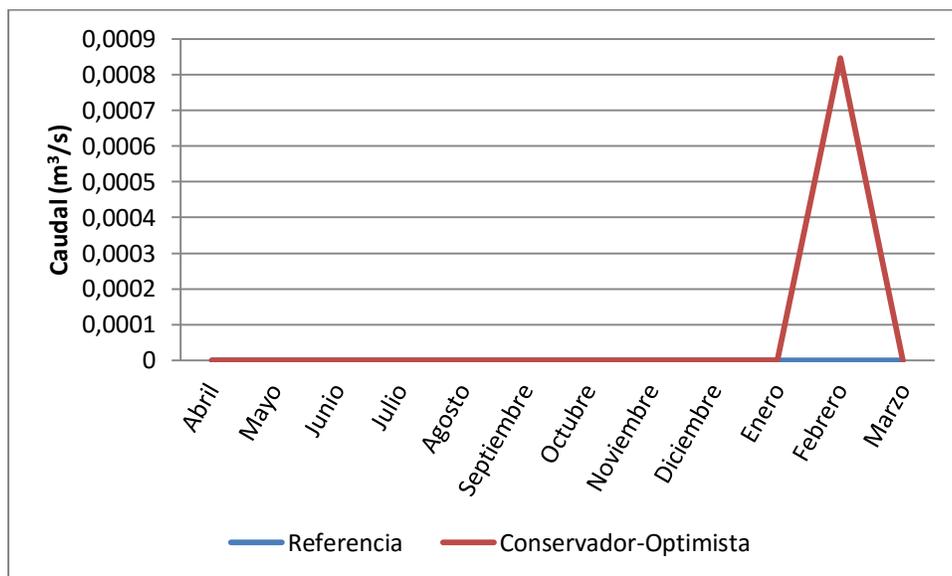


Figura 7.76. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Baguales (m³/s)

Fuente: Elaboración propia.

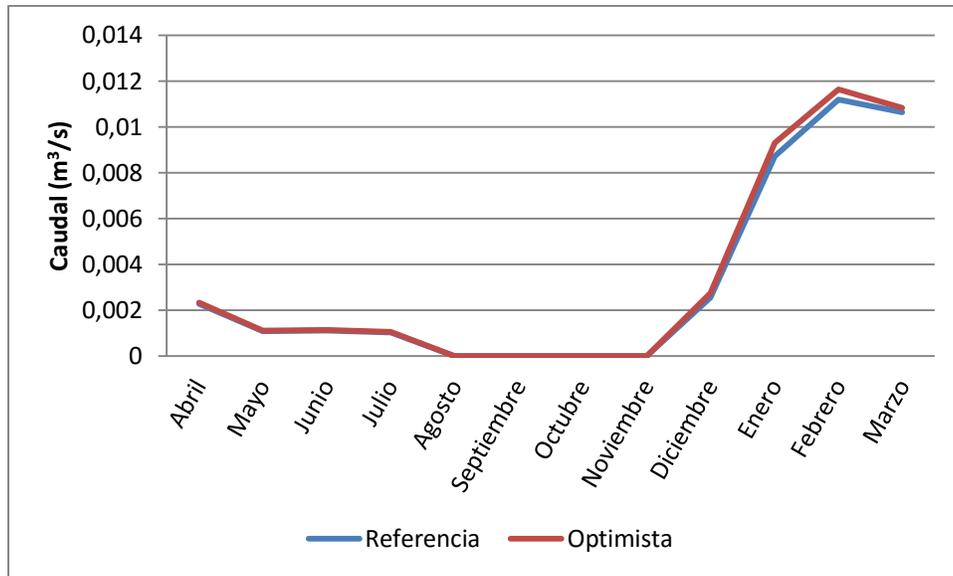


Figura 7.77. Demanda insatisfecha entregada por el modelo según caudales ecológicos, río Don Guillermo (m³/s)

Fuente: Elaboración propia.

7.7.5.4.4 Resumen

La Tabla 7.27 muestra las cuencas donde se proyecta un aumento en la demanda en el escenario futuro.

Tabla 7.27. Aumento de insatisfacción de demanda en escenario futuro

Cuenca	No consuntivos		Consuntivos		Caudal ecológico
	Permanentes	Eventuales	Permanentes	Eventuales	
Río Tres Pasos	aumento	aumento	aumento	aumento	se mantiene
Afluentes al lago del Toro	-	-	aumento	se mantiene	se mantiene
Río Rincón	-	-	aumento	aumento	se mantiene
Río Paine	se mantiene	-	aumento	aumento	se mantiene
Río de Las Chinas en cerro Guido	-	-	-	aumento	se mantiene
Río Vizcachas	-	-	se mantiene	aumento	se mantiene
Río Baguales	se mantiene	-	se mantiene	aumento	aumento leve
Río Don Guillermo	aumento leve	aumento leve	-	-	se mantiene
Río de Las Chinas intermedia	-	-	aumento	aumento	se mantiene

Fuente: Elaboración propia.

8 CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha realizado un balance hídrico de la zona alta de la cuenca del río Serrano. Específicamente, la zona de estudio fue la cuenca aportante al Lago del Toro, ubicado en la comuna de Torres del Paine, Región de Magallanes y Antártica Chilena. Especial interés para la Dirección General de Aguas era entender qué efectos tenía una variación de caudales en el río de Las Chinas en el aporte al Lago del Toro y consecuentemente, si pudieran haber consecuencias negativas para el funcionamiento del Parque Nacional Torres del Paine.

El estudio comprendió la recopilación de información base (coberturas de ríos, glaciares, lagos, topografía, etc.), infraestructura vial y relacionada a los recursos hídricos (estaciones meteorológicas, fluviométricas, nivel de lagos, etc.) y datos sobre los derechos de aprovechamiento de agua otorgados en la Región por la Dirección General de Aguas.

Este informe resume las actividades realizadas para la obtención de los datos necesarios para armar el modelo de balance hídrico en el software WEAP (*Modelo de Distribución y Planeamiento de Aguas* por sus siglas en inglés) que fue desarrollado para el cálculo del balance hídrico. Parte importante de los datos necesarios para armar este modelo provino de las batimetrías de orilla de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla, obteniéndose las curvas de elevación versus volumen, las que son usadas en WEAP luego de aplicar ajustes de calibración.

A continuación, se presentan las conclusiones que se realizan a partir de los resultados obtenidos y los análisis de estos. Se entregan además algunas recomendaciones para la mejora de información y de posibles usos futuros de los productos entregados.

8.1 Información base y relleno de datos

Con respecto a la información cartográfica asociada a estas estaciones, se observó que las capas SIG oficiales obtenidos desde el sitio web de la DGA, no se ajustan a los cauces, tanto para las estaciones fluviométricas como para el nombre de algunos de los ríos de la cuenca del río de Las Chinas. En visita a terreno se logró corregir algunas coordenadas y otras ubicaciones (estimadas) fueron proporcionadas por la contraparte. Se recomienda revisar estas nuevas capas con la División de Hidrología de la Dirección General de Aguas.

Por otra parte, en el caso de la capa vectorial de ríos obtenida desde la DGA Nivel Central, también se encontraron inconsistencias, esta vez entre los cauces y sus nombres, información que también debió ser corregida con indicaciones de la contraparte.

Esto es un punto a tomar en cuenta para no cometer errores en futuros estudios. Se recomienda una revisión de todas las coordenadas de las estaciones, tanto fluviométricas como meteorológicas, de la zona y una actualización de esta información en la página web de la DGA. Se recomienda a su vez, corroborar los nombres de las estaciones, debido a que, en especial, la estación denominada en terreno "río **Tres Pasos Ruta N°9**" en la web aparece como "río Chorrillos **Tres Pasos Ruta N°9**", esto debiese corregirse para unificar la información y evitar errores.

En la zona de estudio, se cuenta con 16 estaciones con mediciones de precipitación diaria, de las cuales seis poseen también mediciones de temperaturas extremas diarias. Para el caso de medición de caudales diarios, se cuenta con 18 estaciones fluviométricas.

La calidad de los registros es variable, las estaciones fluviométricas son las que cuentan con registros más aceptables a partir de 1980, teniendo 4 con registros mayores a 20 años y otras cinco con registros entre 20 y 10 años; mientras que para precipitación sólo dos estaciones cuentan con más de 20 años completos y para temperatura esto se reduce a sólo una estación.

Se cuenta además con información de medición de niveles de lagos a nivel diario. Esta información no se encuentra tampoco completa, tiene temporadas vacías y la extensión de los registros se concentra en la última década. Para nuestro caso se utilizó la estación Lago Toro en Estancia río Paine, la cual tiene el registro más extenso.

Cabe destacar que para este estudio los datos se utilizan como un agregado mensual, por lo que al realizar el cálculo de estos montos, también se debe considerar la cantidad de registros por mes, lo que conlleva que meses con pocos registros diarios, aparezcan como vacíos.

Teniendo en cuenta la información recopilada, se sabe que la zona de estudio tiene características meteorológicas heterogéneas entre sectores de la cuenca. Los montos de precipitación son mayores en el área oeste, donde la isoyeta indica 6.000 mm comparados con el área este, donde este monto alcanza solamente los 200 mm. Por lo mismo, es necesario fortalecer la red de estaciones en la zona, instalando nuevas en el sector norte del área de estudio e invirtiendo

en la mantención y mejoramiento de las existentes, para que el periodo de registros no se vea interrumpido.

El relleno de datos se realizó por medio de un modelo lineal considerando correlaciones decrecientes entre las estaciones objetivo y aquellas ubicadas en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, relleno de meses hasta completar la serie. Se utilizó este método para relleno de datos de caudales medios mensuales, precipitaciones acumuladas mensuales y temperaturas medias mensuales (estas dos últimas sólo para referencia).

Si bien este método logra estimar adecuadamente el valor buscado tanto para las variables en estudio, no explica toda la varianza de la serie sino solamente una porción de ella. Esto genera series rellenas con menores valores de variabilidad que en la realidad, pero al mismo tiempo es lo suficientemente simple para ser usado con todas las estaciones de la zona de estudio al mismo tiempo. Para futuros estudios de actualización del modelo de balance hídrico, sería deseable mejorar la metodología agregando factores estocásticos a la regresión lineal según métodos de estadística de series de tiempo, como pueden ser modelos autorregresivos, modelos multivariados, etc. que aportan en generar series con la variabilidad original de las variables medidas.

Para el caso de caudales, dos estaciones deben seguir un relleno modificado para ajustar de mejor forma la serie de datos rellenos a la serie de datos observados, debido a sobre y sub estimaciones evidentes observadas al graficar las series.

Es necesario considerar que estos datos de series de caudal se utilizan para ingresar al modelo detallado en capítulos posteriores, por lo que siempre es preferible utilizar aquellas con una mayor cantidad de datos observados. Sin embargo, se realizó un tratamiento lo más acucioso dentro de lo posible para obtener datos rellenos ajustados a los datos observados. Para esto, es necesario, como se concluye en párrafos anteriores, fortalecer las redes de monitoreo, para contar con datos medidos de mejor calidad y extensión para la construcción de modelos.

8.2 Derechos de aprovechamiento

En lo que respecta al análisis de los derechos de aprovechamiento de la cuenca, se analizó la información disponible en los registros de la Dirección General de Aguas. En un primer momento se analizó la situación de estos derechos respecto a solicitudes, concesiones y derechos denegados, tanto a nivel provincial como en el área de estudio.

Luego, considerando solo aquellas concesiones actualmente otorgadas en la cuenca del río Serrano se pudo caracterizar el uso del recurso para cada una de las sub-subcuencas presentes, ya sea por tipo de derecho asociado y uso del mismo. En este sentido es relevante la ausencia del uso asociado al derecho, lo cual impide realizar un análisis más acabado respecto a tendencias y dinámicas esperables dadas ciertas actividades usuarias de recursos superficiales.

A partir de esta caracterización se plantearon algunas tendencias esperables respecto a dinámicas de uso de agua en la cuenca, con las cuales poder proyectar las demandas de derechos de aprovechamiento. Se generaron cuatro escenarios posibles: 1) Una situación sin modificaciones respecto a los derechos actualmente asignados, 2) una evolución según tendencias observadas asociadas a la evolución de distintas actividades usuarias de agua en las distintas subcuencas consideradas, 3) un escenario conservador en donde existe una restricción a la demanda por derechos (-30% respecto a la tendencia) y finalmente 4) un escenario intensivo que implica un aumento e intensificación del uso de los recursos en toda la cuenca (+30% respecto a la tendencia). En todos ellos se considera, para el caso particular de los derechos asociados al río Paine, en donde futuras restricciones a la entrada al Parque Nacional Torres del Paine, ayudan a definir los límites de crecimiento en el uso del recurso, respecto a otras subcuencas en donde esta situación es menos clara.

Como parte de las recomendaciones generadas en este apartado, se recomienda poder avanzar en la clarificación de tipo de uso para las existentes y nuevas asignaciones de derechos, con tal de poder contar con información útil para la planificación y la gestión.

Finalmente, estas tendencias junto a dos escenarios hipotéticos futuros fueron planteadas para ser incorporados en el modelo WEAP desarrollado para la cuenca, con tal de considerar el efecto de distintas presiones de demanda sobre el recurso en una plataforma integrada con una oferta que también considera evolución de los caudales en el futuro. En este sentido, el ejercicio de incorporación de estos escenarios en el modelo de hidrológico debe ser considerado como un primer acercamiento al estudio de la demanda futura de la cuenca.

Un estudio más profundo respecto a la dinámica de derechos debiese considerar con más detalle las dinámicas particulares de cada área de la cuenca, el uso efectivo de los derechos constituidos, sus usos principales, políticas de desarrollo, fomento y/o restricción, así como una representación espacial más detallada de las distintas extracciones y restituciones existentes para cada uno de los tipos de derechos existentes.

8.3 Balance Hídrico

El modelo de balance hídrico del lago del Toro se desarrolló en base a las entradas y salidas de cada componente del sistema. Para lograrlo se generaron series sintéticas de caudal en los puntos de control donde no se cuenta con datos medidos, además de la evaluación de diferentes procesos propios de un sistema hidrológico, tales como la evaporación y el caudal aportado por glaciares. También se representó el efecto regulador de los lagos del sistema, considerando su curva de descarga y su curva de volumen versus elevación.

Mediante la modelación en WEAP se representó el balance hídrico del Lago del Toro, logrando un buen ajuste de los caudales modelados y observados en el río Serrano, justo en el desagüe del lago del Toro. Asimismo se logró un buen ajuste de las cotas modeladas y observadas en el lago del Toro.

Los caudales de entrada al lago del Toro se estimaron mediante las series sintéticas generadas y el registro de caudales observados y rellenados. La cuenca del río de Las Chinas cuenta con bastante información fluviométrica, lo cual es favorable para estudiar el comportamiento de cada una de las subcuencas.

Los caudales de salida del lago del Toro están principalmente influenciados por los caudales de entradas provenientes del río Paine, es decir, su principal aporte es de origen glacial. Por otro lado, el lago del Toro produce un efecto regulador en los caudales de salida, siendo estos últimos muy sensibles al comportamiento del lago, principalmente a la curva de volumen vs elevación.

Se recomienda en un futuro integrar el comportamiento del resto de los lagos del sistema, principalmente del lago Pehoé y Nordenskjöld. También se recomienda la instalación de estaciones de medición de elevación del agua en todos los lagos del sistema, de modo de utilizar esa información en la calibración del modelo. Con esta información disponible en los lagos Porteño y Maravilla, la calibración de las curvas de volumen versus elevación arrojaría mejores resultados en el caudal desaguado al lago del Toro por el lago Maravilla.

En cuanto a los requerimientos hídricos del sistema o demandas de agua, estos fueron satisfechos en base a la prioridad asignada de uso en WEAP. A los caudales ecológicos se les asignó la máxima prioridad, seguido por los derechos superficiales de agua permanentes y, posteriormente, por los derechos superficiales de agua eventuales. Esto puede ser modificado posteriormente por

la DGA, de manera de estudiar el impacto del cambio de prioridad en la demanda de agua del medio ambiente y otros usuarios de agua.

Se consideró como caudal ecológico el máximo caudal ecológico determinado en los derechos constituidos de cada río. Esto implica una sobrevaloración del caudal ecológico en tramos alejados hacia aguas arriba, con lo cual, los derechos superficiales pueden haber sido solo parcialmente satisfechos en la modelación. Por otro lado, el catastro de derechos superficiales utilizados no cuenta con toda la información de los derechos, especialmente en su locación (algunos derechos quedaban fuera de cauces) o de uso efectivo del agua. Se recomienda completar este catastro para que desarrollar el análisis, principalmente en las coordenadas de los derechos.

Se modelaron dos opciones extremas: el sistema en régimen natural, suponiendo que no existen extracciones de agua por parte del hombre y por otro lado, el completo uso y demanda total de los derechos de agua actualmente constituido en la cuenca.

En general, la demanda de derechos superficiales de aguas no consuntivos, tanto permanentes como eventuales, es cubierta en la mayoría de los ríos para la condición de uso de los derechos, a excepción del río Tres Pasos y levemente del río Don Guillermo. Los derechos consuntivos permanentes no son satisfechos en la mayoría de los ríos, sobretodo en la demanda de derechos eventuales. El caudal ecológico es satisfecho en su totalidad en la mitad de los ríos del sistema, siendo el río Paine el que tiene el mayor déficit.

Se realizaron proyecciones de impacto del cambio climático en algunos ríos de la cuenca. Solamente fue posible desarrollar un análisis de los caudales de deshielo del macizo del Paine, en la precipitación y evaporación de los lagos del Toro, Porteño y Maravilla, y de caudales en las distintas subcuencas del río de Las Chinas. Estas últimas fueron analizadas utilizando el método de Turc. El resto de las cuencas no pudieron ser representadas mediante el método de Turc en la condición actual debido a ser cuencas muy influidas por lagos o glaciares, por lo que no fue posible proyectar un cambio climático utilizando este método.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático estudiados, sólo se proyectan cambios importantes en las temperaturas, llegando a aumentar $1,3^{\circ}\text{C}$ en el escenario de mayor cambio. No se proyectan cambios importantes en las precipitaciones. Un aumento en las temperaturas implicaría un aumento en los caudales de deshielo y una disminución en los caudales de las cuencas analizadas utilizando el método de Turc, producto del aumento en la evapotranspiración.

En general, la disponibilidad de agua en los escenarios futuros de las subcuencas del río de Las Chinas disminuye en los escenarios futuros, producto del aumento en las temperaturas y en la demanda de recursos hídricos. En algunos casos se puede observar un aumento en los caudales producto de un aumento mínimo en las precipitaciones futuras bajo un escenario climático pesimista. Esto significa que a pesar de que no se proyecten cambios importantes en las precipitaciones, estas son sensibles a cambios menores. Por otro lado, las subcuencas ubicadas hacia aguas arriba no son capaces de satisfacer su demanda en escenarios futuros producto del requerimiento del caudal ecológico aguas abajo en el río de Las Chinas.

Se proyecta un aumento del caudal en el aporte de los glaciares del macizo Paine debido al mayor derretimiento de los glaciares de cabecera y de Campos de Hielo, aunque se propone revisar en mayor detalle estos resultados ya que no se tomó en cuenta la disminución de estos mismos glaciares.

Con el aumento de los caudales futuros en el río Paine y la disminución de los caudales de entrada de la mayoría de los ríos producto de un aumento en la demanda de recursos hídricos y una disminución por cambio climático en el caso del río de Las Chinas, la proporción del aporte de los caudales de entrada al lago del Toro cambia en los escenarios futuros. Por otro lado, el aporte de las subcuencas del río de Las Chinas mantendría la proporción del caudal aportado a la cuenca.

Tanto la elevación del lago del Toro como el caudal de salida en el río Serrano disminuirían en el escenario de mayor cambio. Este escenario considera una proyección de demanda intensiva y una proyección climática optimista. Con esto se concluye que la disminución proyectada tanto en el lago como en el río estaría condicionada mayormente por la demanda de recursos desfavorable (intensiva), por sobre una proyección climática desfavorable (pesimista).

Las proyecciones de mayor cambio futuro en los recursos hídricos estiman una mayor insatisfacción de la demanda de derechos consuntivos en todos los ríos, tanto para derechos permanentes como eventuales. Los derechos no consuntivos aumentarían su insatisfacción de demanda en los ríos Tres Pasos y Paine. La demanda de caudal ecológico se mantendría similar al periodo actual.

Se recomienda realizar estudios hidrológicos más profundos en toda la cuenca, de manera de simular series de precipitación y temperaturas y aplicarlas a toda la cuenca.

Además de las recomendaciones ya mencionadas, se proponen algunas ideas para profundizar en el análisis de la cuenca del río Serrano en el desagüe del lago del Toro:

- Incluir caudales ecológicos sobre derechos constituidos sobre lagos.
- Desagregar los derechos superficiales de agua, ubicándolos en su respectiva coordenada y considerar el caudal ecológico correspondiente en cada caso.
- Incluir en el análisis las solicitudes de derechos superficiales de agua, en los ríos donde aún existe disponibilidad de agua.
- Evaluar una proyección climática en el resto de las cuencas mediante un modelo hidrológico, el cual considera parámetros morfológicos e hidrológicos que no considera un balance hídrico simple. De esta forma, sería posible considerar procesos de derretimiento producto del aumento en las temperaturas, y así proyectar cambios en la distribución mensual de los caudales.
- Identificar si existe alguna razón por la cual el río Tres Pasos no pudo ser representado mediante el modelo de Turc, por ejemplo, debido a extracciones no declaradas en el río en el lado argentino, etc.

Es de esperar que este estudio haya contribuido al conocimiento de la cuenca del río Serrano y en especial al comportamiento del sistema lacustre del Lago del Toro y sus afluentes.

Los posibles usos futuros del modelo construido son variados, desde el cuidado medio ambiental, uso responsable de los recursos hídricos para actividades productivas como agricultura, ganadería e hidroelectricidad, entre otras. La ventaja de contar con un modelo integrado es que los distintos usuarios pueden usar un lenguaje común y poder tener toda la información disponible en una sola plataforma.

Para el mejor uso, se recomienda a todos los interesados usar el modelo de manera de que éste pueda ir actualizándose periódicamente y se le puedan agregar módulos o información relevante para la toma de decisiones en la Región de Magallanes y Antártica Chilena.

9 REFERENCIAS

	Título
1	Abrishamchi, A., Alizadeh, H., Tajrishy, M., & Abrishamchi, A. (2007). Water Resources Management Scenario Analysis in Karkheh River Basin, Iran, Using WEAP Model. <i>Hydrological Science and Technology</i> , 23(1/4), 1.
2	Anales Instituto Patagonia (2004-2013). Resumen meteorológico estación Jorge C. Schythe.
3	Braithwaite R., Zhang Y. (2000). Sensitivity of mass balance of five Swiss glaciers to temperature changes assessed by tuning a degree-day model. <i>Journal of Glaciology</i> , Vol. 46, No. 152.
4	Chow V. T., Maidment D. R., and Mays L. W. (1994). <i>Hidrología Aplicada</i> . (Traducido de la 1a.ed.). Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.
5	CONAF (2012). Programa integral de mejoramiento de la gestión del Parque Nacional Torres del Paine. 35p.
6	Condom, T., Escobar, M., Purkey, D., Pouget, J. C., Suarez, W., Ramos, C., Apaestegui, J., Zapata, M., Gomez, J., and Vergara, W. (2011). Modelling the hydrologic role of glaciers within a Water Evaluation and Planning System (WEAP): a case study in the Rio Santa watershed (Peru), <i>Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.</i> , 8, 869-916.
7	Dirección General de Aguas (1987). Balance Hídrico Nacional.
8	Dirección General de Aguas (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Serrano.
9	Dirección General de Aguas (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Informe Final desarrollado por CADE-IDEPE Consultores. 89 p.
10	Dirección General de Aguas (2008). Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos.
11	Dirección General de Aguas (2010). Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos. Informe Final desarrollado por Aquaterra Ingenieros Limitada. S.I.T. N°206. 564p.
12	Dirección General de Aguas (2010). Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos. Informe final.
13	Gobierno Regional Magallanes y Antártica Chilena. (2012). Estrategia Regional de Desarrollo de Magallanes y Antártica Chilena 2012-2020. 128p.

	Título
14	Ingol-Blanco E. y McKinney D. C. (2009). Hydrologic Model for the Rio Conchos Basin: Calibration and Validation. CRWR Online Report 08-09. Center for Research in Water Resources. Austin, EEUU.
15	IPCC, (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
16	Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña (2014). Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.
17	Ministerio Secretaría General de la Presidencia (2010). Decreto 75. Norma secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano. Fecha de promulgación: 22-06-2009. Id: 1011869. url: http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1011869&idVersion=2010-03-19
18	Moss, Richard, Mustafa Babiker, Sander Brinkman, Eduardo Calvo, Tim Carter, Jae Edmonds, Ismail Elgizouli, Seita Emori, Lin Erda, Kathy Hibbard, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Ben Matthews, Jerry Meehl, Leo Meyer, John Mitchell , Nebojsa Nakicenovic , Brian O'Neill , Ramon Pichs , Keywan Riahi , Steven Rose, Paul Runci, Ron Stouffer, Detlef van Vuuren, John Weyant, Tom Wilbanks, Jean Pascal van Ypersele, and Monika Zurek (2008). Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies (PDF). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 132.
19	Santana A., Olave C., and Butorovic N. (2010). Estudio climatológico con registros de alta resolución temporal en campamento Posesión (ENAP), Magallanes, Chile. Anales Instituto Patagonia (Chile). 38(1): 5-34.
20	SEGEOB (2010). Norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano.
21	Silva, S. (1979). Especificaciones Técnicas y presupuesto para construcción de la estación fluviométrica río de Las Chinas.

	Título
22	Sivan, I., Salingar Y., and Rimmer A. (2007). A WEAP model for the Sea of Galilee (Lake Kinneret) Basin – Water resources and consumers by sub-basins. <i>Water Engineering</i> 53; 50-58.
23	Solari, M; Le Roux, J; Hervé, F; Airo, A; Calderón, M (2012). Evolution of the Great Tehuelche Paleolake in the Torres del Paine National Park of Chilean Patagonia during the Last Glacial Maximum and Holocene. <i>Andean Geology</i> 39 (1): 1-21. January, 2012
24	Turc, L. (1954). The water balance of soils. Relation between precipitation, evaporation and flow. In <i>Annales Agronomiques</i> 5, 491-569.
25	US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineer Center (2010). HEC-RAS Hydraulic Reference Manual.
26	Vergara W., Deeb A., Leino I., Kitoh A., Kitoh A., and Escobar M. (2011). Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology. <i>World Bank Studies</i> .
27	Yates D., Sieber J., Purkey D., and Huber-Lee A. (2005b). WEAP21: A demand, priority, and preference driven water planning model: part 1, model characteristics. <i>Water Int</i> 30(4):501–512.
28	Yates D., Sieber J., Purkey D., Huber-Lee A., and Galbraith H. (2005a). WEAP21: A demand, priority, and preference driven water planning model: part 2, Aiding freshwater ecosystem service evaluation. <i>Water Int</i> 30(4): 487–500.

10 ANEXOS

10.1 Anexos sobre trabajos con imágenes satelitales y de batimetría

10.1.1 Referencia altimétrica

10.1.1.1 Consideraciones Generales

En el numeral 2.312.7 del Manual de Carreteras Volumen 2 se establecen los procedimientos para la estimación de alturas ortométricas (H) a partir de las alturas elipsoidales (h) entregadas por el instrumental GPS, más un modelo geoidal global.

La siguiente metodología tiene por objeto minimizar el error sistemático del modelo geoidal, resultando las alturas H estimadas y afectadas solo por los errores relativos del modelo, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$h_A = H_A + N_A \rightarrow H_A = h_A - N_A$$

h_A : Altura elipsoidal del punto A

H_A : Altura ortométrica del punto A

N_A : Ondulación geoidal en el punto A

Lo anterior aplicado en forma relativa se expresa como sigue:

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_{AB} - \Delta N_{AB}$$

Δh_{AB} : Desnivel elipsoidal entre A y B ($h_B - h_A$)

ΔH_{AB} : Desnivel ortométrico entre A y B ($H_B - H_A$)

ΔN_{AB} : Diferencia de ondulación geoidal entre A y B ($N_B - N_A$)

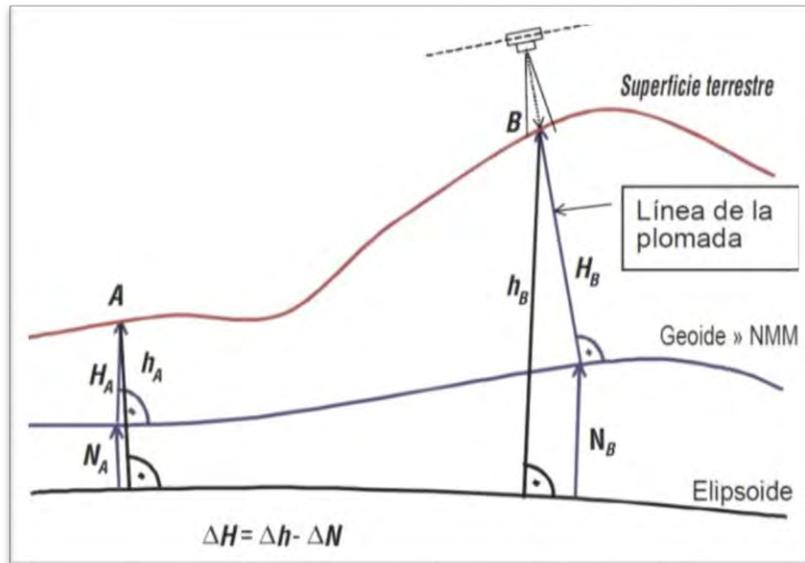


Figura 10.1. Relación entre Superficie terrestre, geoida y elipsoide.
Fuente: Manual de Carreteras Volumen 2, Capítulo 2.300.

10.1.1.2 Modelo Geoidal EGM08

A fines del año 2008 fue publicado por la U.S. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), el nuevo modelo global de ondulaciones geoidales EGM2008, producto resultante de nuevas misiones satelitales específicas para tal fin.

En Chile, por norma del Ministerio de Obras Públicas (MOP), los levantamientos Topográficos deben ser referidos altimétricamente al NMM que es representado por la Red Altimétrica materializada por el IGM mediante las líneas de nivelación. Al no contar con dicha Red en todo el territorio nacional, el MOP autoriza en el numeral 2.312.7 del Manual de Carreteras, Volumen 2, la determinación de altura ortométrica mediante la aplicación de un modelo geoidal a las alturas elipsoidales obtenidas a partir de observaciones GNSS.

10.1.1.3 Alturas Ortométricas según EGM08

A continuación, se presentan los valores de las alturas ortométricas (H) correspondientes a los GCPs.

Tabla 10.1. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS y elevaciones ortométricas según EGM08.

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Altura Elipsoidal (m)	Ondulación EGM08 (m)	Altura Ortométrica (m)
GCP1	4.334.444,294	631.961,519	65,009	13,816	51,193
GCP2	4.344.423,080	648.932,753	214,798	13,390	201,408
GCP3	4.351.498,439	662.709,978	148,156	13,113	135,042
GCP4	4.320.851,246	679.514,543	132,404	12,597	119,807
GCP5	4.305.127,859	653.796,834	66,431	12,965	53,466
GCP6	4.313.189,964	658.116,340	38,066	12,695	25,371
GCP7	4.328.766,942	643.035,784	36,816	13,196	23,620
GCP8	4.328.550,628	642.794,553	38,527	13,195	25,332
GCP9	4.328.322,623	642.814,124	38,086	13,190	24,896
GCP10	4.330.305,879	642.493,273	38,189	13,240	24,950
GCP11	4.321.909,341	641.104,387	35,321	13,133	22,188
GCP12	4.324.070,366	641.735,818	35,903	13,133	22,770
GCP13	4.318.634,521	648.864,974	133,994	12,948	121,046

Fuente: GeoSoluciones.

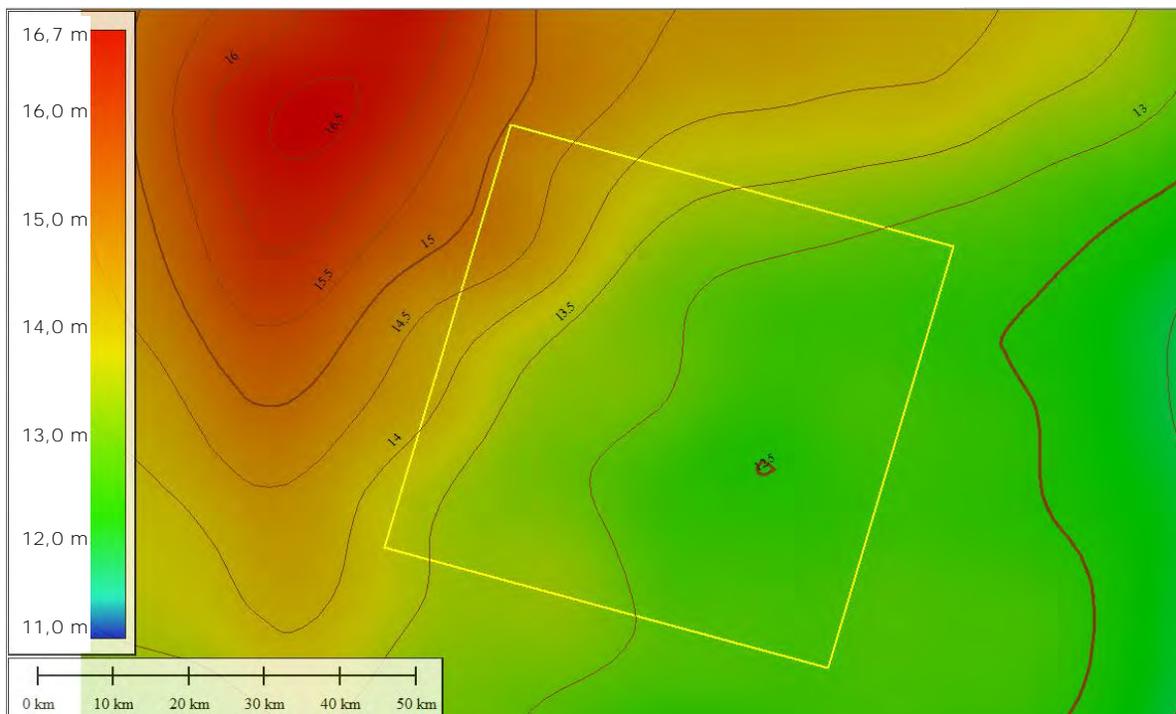


Figura 10.2. Comportamiento Modelo Geoidal EGM08 en la zona de estudio (unidades en metros sobre el nivel del mar).

10.1.2 Medición de puntos de control terrestre (GCPs)

10.1.2.1 Resumen

De acuerdo a las metodologías de trabajo de GeoSoluciones, junto con la normativa establecida en el Manual de Carreteras (Volumen 2, Capítulo 2.300), se midieron un total de 13 Puntos de Control Terrestre (GCPs) destinados a georreferenciar de forma precisa las imágenes satelitales.

Se utilizaron como puntos de amarre para las mediciones los siguientes vértices geodésicos pertenecientes al Ministerio de Bienes Nacionales:

- 124-20 CERRO CASTILLO 1
- 124-24 PN TORRES DEL PAINE 1

A partir de estos vértices se asignaron coordenadas geográficas al resto de puntos de control terrestre.

Las mediciones GNSS se realizaron mediante 2 receptores geodésicos de doble frecuencia (L1/L2), con precisión nominal 3mm + 1ppm para la componente horizontal y 5mm + 1ppm para la componente vertical.

Las sesiones de observación GNSS empleadas poseen tiempos de medición acordes a las distancias de los vectores formados y a los requerimientos de precisión de las imágenes satelitales.

Tabla 10.2. Tiempos de observación para receptores GNSS doble frecuencia.

Distancia del Vector	Tiempo de Observación (L1/L2)
Dist < 10 km	20 min
10 km < dist < 30 km	40 min
30 km < dist < 60 km	1 h
60 km < dist < 100 km	1,5 h

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 2. Capítulo 2.300.

A continuación se presenta el diagrama de la red geodésica obtenida.

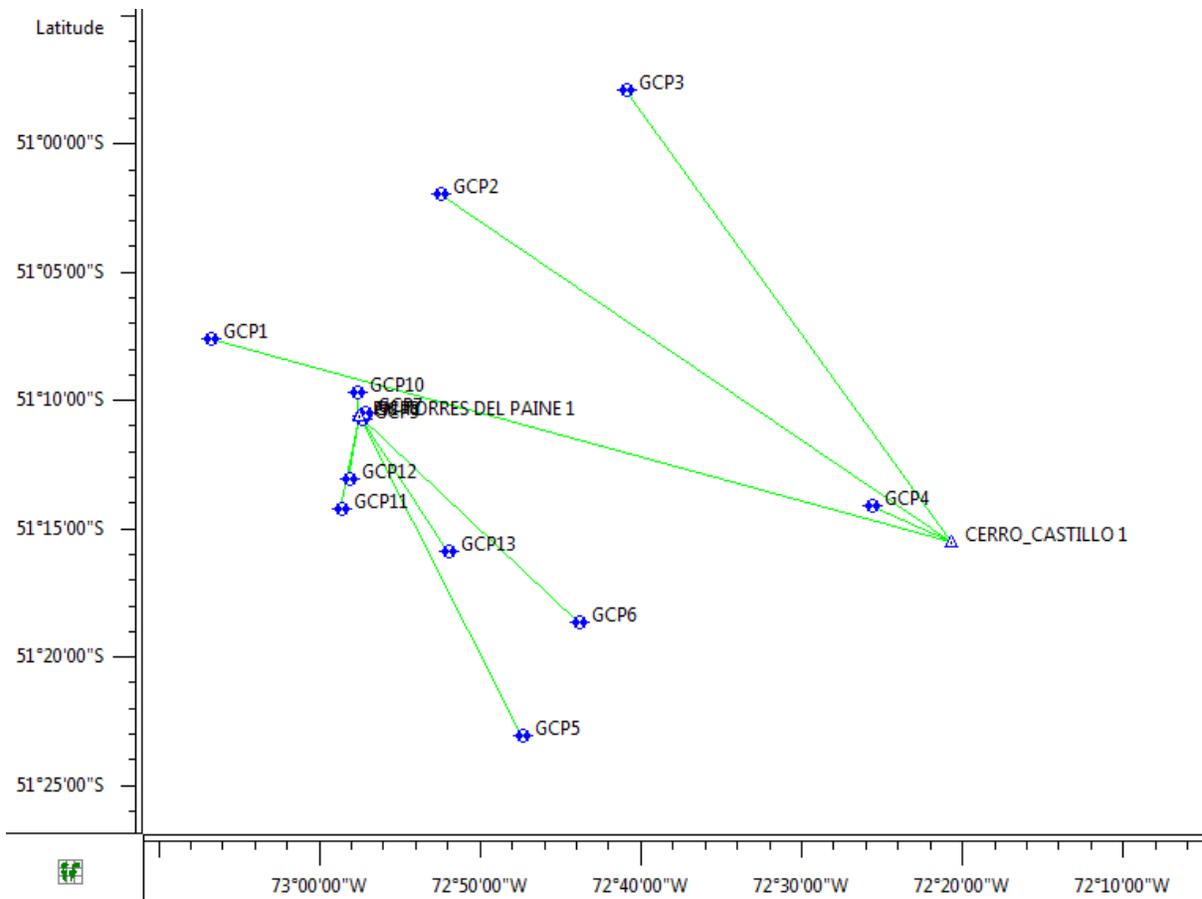


Figura 10.3. Diagrama de las mediciones geodésicas realizadas.
Fuente: GeoSoluciones.

10.1.2.2 Georreferenciación de los GCPs

Los puntos de control terrestre se vincularon a dos vértices geodésicos pertenecientes al Ministerio de Bienes Nacionales.

Las coordenadas de dichos vértices fueron utilizadas como amarre horizontal y vertical para los GCPs medidos.

Tabla 10.3. Coordenadas vértices MBN. Sistema de Referencia SIRGAS

Punto	Coordenadas Geográficas		Altura Elipsoidal (m)	Coordenadas UTM Huso 18S	
	Latitud	Longitud		Este (m)	Norte (m)
124-20 CERRO CASTILLO 1	51° 15' 31,525"S	72° 20' 40,687"O	132,556	685.273,260	4.318.050,013
124-24 PN TORRES DEL PAINE 1	51° 10' 34,7887"S	72° 57' 29,1547"O	48,834	642.729,208	4.328.584,436

Fuente: Ministerio de Bienes Nacionales.

10.1.2.3 Validación de las mediciones

El procesamiento de las mediciones GNSS se realizó mediante el software Topcon Tools. Una vez procesada la información se verificó la calidad de las soluciones, las cuales presentan resultados satisfactorios en su totalidad.

A continuación se presentan las soluciones obtenidas para cada uno de los vectores medidos.

Tabla 10.4. Solución de vectores observados.

Vector	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Distancia (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Tipo de Solución
CERRO_CASTILLO 1-GCP1	16.394,281	-53.311,741	-67,547	55.781,214	0,035	0,048	Fija
CERRO_CASTILLO 1-GCP2	26.373,067	-36.340,507	82,242	44.905,503	0,025	0,046	Fija
CERRO_CASTILLO 1-GCP3	33.448,426	-22.563,282	15,6	40.349,173	0,038	0,06	Fija
CERRO_CASTILLO 1-GCP4	2.801,233	-5.758,717	-0,152	6.403,962	0,006	0,013	Fija
GCP5-PN TORRES DEL PAINE 1	23.456,577	-11.067,627	-17,597	25.940,12	0,035	0,07	Fija
GCP6-PN TORRES DEL PAINE 1	15.394,472	-15.387,133	10,768	21.768,677	0,017	0,024	Fija
GCP7-PN TORRES DEL PAINE 1	-182,507	-306,576	12,018	357,046	0,001	0,002	Fija
GCP8-PN TORRES DEL PAINE 1	33,807	-65,345	10,307	74,303	0,001	0,001	Fija
GCP9-PN TORRES DEL PAINE 1	261,813	-84,917	10,748	275,492	0,001	0,001	Fija
GCP10-PN TORRES DEL PAINE 1	-1.721,444	235,934	10,645	1.737,842	0,002	0,003	Fija
GCP11-PN TORRES DEL PAINE 1	6.675,095	1624,82	13,513	6.871,11	0,009	0,015	Fija
GCP12-PN TORRES DEL PAINE 1	4.514,07	993,39	12,931	4.622,832	0,006	0,008	Fija
GCP13-PN TORRES DEL PAINE 1	9.949,915	-6.135,766	-85,16	11.691,772	0,008	0,013	Fija

10.1.2.4 Coordenadas Ajustadas de los GCPs

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas geodésicas SIRGAS ajustadas.

Tabla 10.5. Coordenadas geodésicas ajustadas. Sistema de Referencia SIRGAS.

Nombre	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal (m)
GCP1	51°07'34,50692"S	73°06'51,11153"W	65,009
GCP2	51°01'56,71158"S	72°52'33,41950"W	214,798
GCP3	50°57'54,40277"S	72°40'58,06923"W	148,156
GCP4	51°14'07,56788"S	72°25'42,54273"W	132,404
GCP5	51°23'03,21873"S	72°47'23,23802"W	66,431
GCP6	51°18'38,17234"S	72°43'52,84524"W	38,066
GCP7	51°10'28,60854"S	72°57'13,63766"W	36,816
GCP8	51°10'35,82365"S	72°57'25,74324"W	38,527
GCP9	51°10'43,18234"S	72°57'24,40978"W	38,086
GCP10	51°09'39,30911"S	72°57'43,75335"W	38,189
GCP11	51°14'12,19119"S	72°58'43,32988"W	35,321
GCP12	51°13'01,71559"S	72°58'13,86601"W	35,903
GCP13	51°15'51,02998"S	72°51'58,50723"W	133,994

Fuente: GeoSoluciones.

La siguiente tabla presenta las coordenadas ajustadas proyectadas en UTM Huso 18 Sur (SIRGAS), junto con la precisión de las mismas.

Tabla 10.6. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS.

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Altura Elipsoidal (m)	Error Norte (m)	Error Este (m)	Error Altura (m)
GCP1	4.334.444,294	631.961,519	65,009	0,030	0,019	0,048
GCP2	4.344.423,080	648.932,753	214,798	0,021	0,014	0,046
GCP3	4.351.498,439	662.709,978	148,156	0,031	0,022	0,060
GCP4	4.320.851,246	679.514,543	132,404	0,005	0,004	0,014
GCP5	4.305.127,859	6537.96,834	66,431	0,025	0,025	0,070
GCP6	4.313.189,964	6581.16,340	38,066	0,014	0,011	0,024
GCP7	4.328.766,942	6430.35,784	36,816	0,001	0,001	0,003
GCP8	4.328.550,628	642.794,553	38,527	0,001	0,001	0,002
GCP9	4.328.322,623	642.814,124	38,086	0,001	0,001	0,002
GCP10	4.330.305,879	642.493,273	38,189	0,002	0,002	0,003
GCP11	4.321.909,341	641.104,387	35,321	0,007	0,006	0,015
GCP12	4.324.070,366	641.735,818	35,903	0,004	0,004	0,008
GCP13	4.318.634,521	648.864,974	133,994	0,007	0,005	0,013

Fuente: GeoSoluciones.

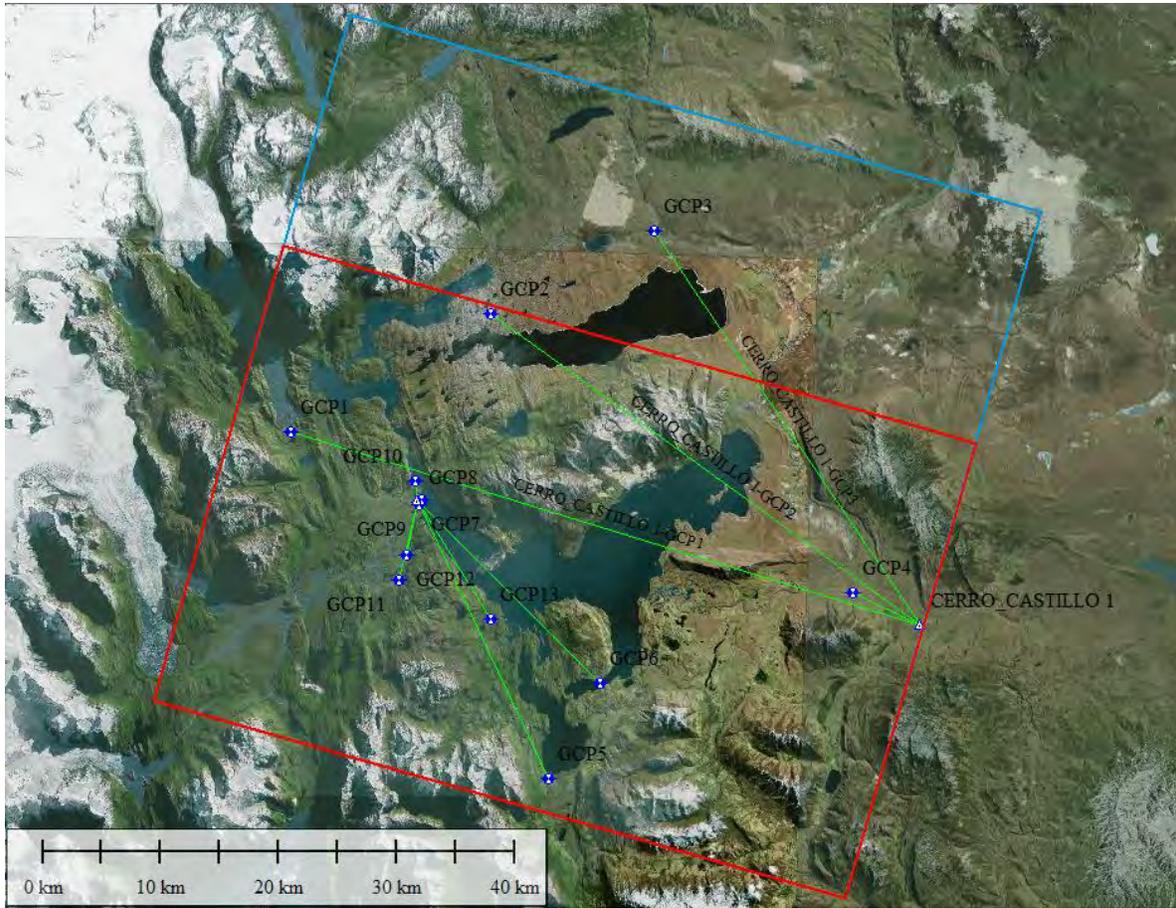


Figura 10.4. Distribución de los GCPs sobre la escena completa TH-1 (en azul) y sobre el área de interés (en rojo).

10.1.3 Puntos de Apoyo Geodésico

Para desarrollar la batimetría del sector con alta precisión, los levantamientos se apoyaron en varios puntos de referencia ubicados en las inmediaciones de los lagos. Estos puntos fueron utilizados como base GNSS para aplicar la metodología de posicionamiento RTK.



Figura 10.5. Configuración Base RTK en uno de los PR utilizados.

De acuerdo a las metodologías, junto con la normativa establecida en el Manual de Carreteras (Volumen 2, Capítulo 2.300), se midieron un total de 4 Puntos de Referencia (PRs) destinados a georreferenciar de forma precisa los levantamientos batimétricos.

Se utilizaron como puntos de amarre para las mediciones los siguientes vértices geodésicos pertenecientes al Ministerio de Bienes Nacionales:

- 124-20 CERRO CASTILLO 1
- 124-24 PN TORRES DEL PAINE 1

A partir de estos vértices se asignaron coordenadas geográficas a los cuatro puntos de referencia. Las mediciones GNSS se realizaron mediante 2 receptores geodésicos de doble frecuencia (L1/L2), con precisión nominal $3\text{mm} + 1\text{ppm}$ para la componente horizontal y $5\text{mm} + 1\text{ppm}$ para la componente vertical.

Las sesiones de observación GNSS empleadas poseen tiempos de medición acordes a las distancias de los vectores formados y a los requerimientos de precisión de las imágenes satelitales.

Tabla 10.7. Tiempos de observación para receptores GNSS doble frecuencia.

Distancia del Vector	Tiempo de Observación (L1/L2)
Dist < 10 km	20 min
10 km < dist < 30 km	40 min
30 km < dist < 60 km	1 h
60 km < dist < 100 km	1,5 h

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 2. Capítulo 2.300.

Georreferenciación de los PRs

Los puntos de referencia se vincularon a dos vértices geodésicos pertenecientes al Ministerio de Bienes Nacionales.

Las coordenadas de dichos vértices fueron utilizadas como amarre horizontal y vertical para los PRs medidos.

Tabla 10.8. Coordenadas vértices MBN. Sistema de Referencia SIRGAS

Punto	Coordenadas Geográficas		Altura Elipsoidal (m)	Coordenadas UTM Huso 18S	
	Latitud	Longitud		Este (m)	Norte (m)
124-20 CERRO CASTILLO 1	51° 15' 31,525"S	72° 20' 40,687"O	132,556	685.273,260	4.318.050,013
124-24 PN TORRES DEL PAINE 1	51° 10' 34,7887"S	72° 57' 29,1547"O	48,834	642.729,208	4.328.584,436

Fuente: Ministerio de Bienes Nacionales.

Validación de las mediciones

El procesamiento de las mediciones GNSS se realizó mediante el software Topcon Tools. Una vez procesada la información se verificó la calidad de las soluciones, las cuales presentan resultados satisfactorios en su totalidad.

A continuación se presentan las soluciones obtenidas para cada uno de los vectores medidos.

Tabla 10.9. Solución de vectores observados.

Observaciones GNSS							
Nombre	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Distancia (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Tipo de Solución
CERRO_CASTILLO 1– PR Porteño Sur	-10.190,342	-32.082,779	-84,88	33.664,395	0,016	0,024	Fija
CERRO_CASTILLO 1– PR Puesto Toro	17.205,599	-14.842,875	-45,998	22.723,878	0,009	0,016	Fija
PN TORRES DEL PAINE 1– PR Maravilla	-15.376,112	15.340,419	-4,365	21.722,681	0,013	0,016	Fija
PN TORRES DEL PAINE 1– PR Porteño Norte	-15.504,142	8.547,9	-1,15	17.706,89	0,008	0,013	Fija

Fuente: Elaboración propia.

Coordenadas Ajustadas de los PRs

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas geodésicas SIRGAS ajustadas.

Tabla 10.10. Coordenadas geodésicas ajustadas. Sistema de Referencia SIRGAS.

Nombre	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal (m)
PR Maravilla	51°18'37,62517"S	72°43'55,28540"W	44,469
PR Porteño Norte	51°18'48,41296"S	72°49'45,66517"W	47,684
PR Porteño Sur	51°21'35,44301"S	72°47'58,82196"W	47,676
PR Puesto Toro	51°06'31,71967"S	72°33'55,12201"W	86,558

La siguiente tabla presenta las coordenadas ajustadas proyectadas en UTM Huso 18 Sur (SIRGAS), junto con la precisión de las mismas.

Tabla 10.11. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS.

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Altura Elipsoidal (m)	Error Norte (m)	Error Este (m)	Error Altura (m)
PR Maravilla	4.313.208,324	658.069,627	44,469	0,011	0,007	0,016
PR Porteño Norte	4.313.080,293	651.277,107	47,684	0,006	0,005	0,013
PR Porteño Sur	4.307.859,671	653.190,481	47,676	0,013	0,009	0,024
PR Puesto Toro	4.335.255,612	670.430,385	86,558	0,007	0,006	0,016

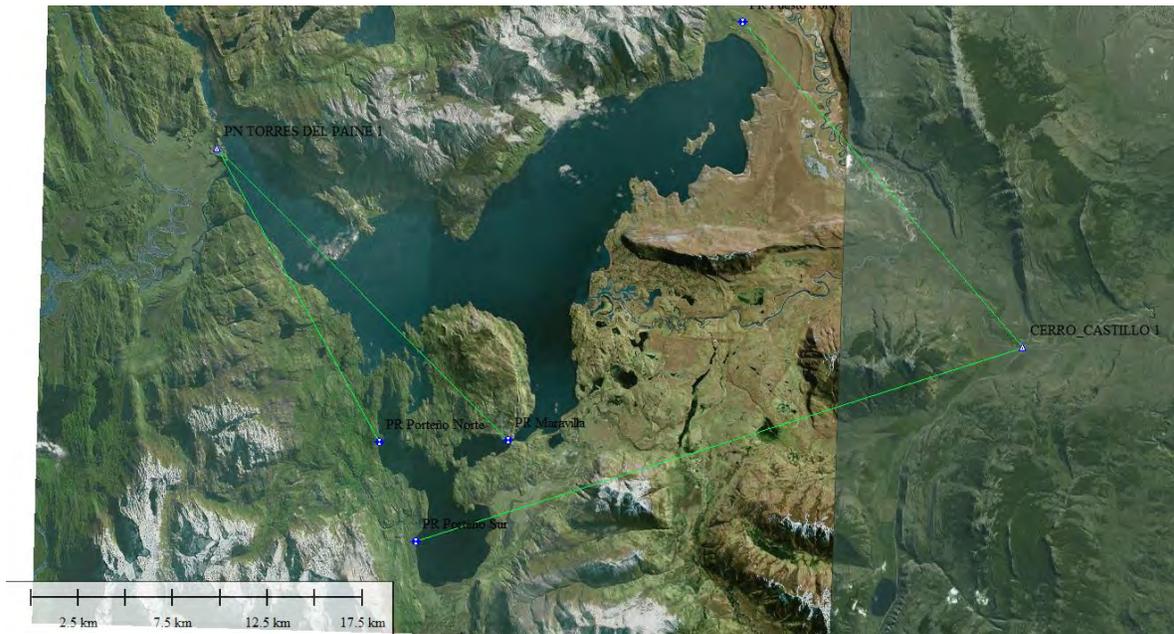


Figura 10.6. Distribución de los PRs.

Alturas Ortométricas según EGM08

A continuación, se presentan los valores de las alturas ortométricas (H) correspondientes a los Puntos de Referencia.

Tabla 10.12. Coordenadas ajustadas UTM Huso 18S SIRGAS y elevaciones ortométricas según EGM08.

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Altura Elipsoidal (m)	Ondulación EGM08 (m)	Altura Ortométrica (m)
PR Maravilla	4.313.208,324	658.069,627	44,469	12,695	31,774
PR Porteño Norte	4.313.080,293	651.277,107	47,684	12,943	34,741
PR Porteño Sur	4.307.859,671	653.190,481	47,676	12,948	34,728
PR Puesto Toro	4.335.255,612	670.430,385	86,558	12,684	73,875

10.1.4 Características Técnicas Del Equipamiento Batimétrico

Para realizar el levantamiento batimétrico requerido, se utilizó un bote científico radio controlado equipado con brújula, sistema GNSS RTK y ecosonda monohaz.



Figura 10.7. Equipo Z-Boat 1800HS en embalse Brea.

El bote oceanográfico Z-Boat constituye una buena opción para realizar levantamientos batimétricos en aguas poco profundas. Obtiene datos batimétricos donde los métodos convencionales no son prácticos o seguros. Evita la movilización de un barco de trabajo por un tiempo elevado y la realización de trabajos en entornos potencialmente peligrosos para el trabajador.

El Z-Boat utiliza un avanzado sistema de control remoto que le permite realizar levantamientos batimétricos a distancia, con un alcance máximo de 1500

metros. Los datos del levantamiento son transmitidos en tiempo real a la posición del operador en la orilla, evitando pérdidas por traspaso de información y pudiendo revisar los datos batimétricos en tiempo real.

El Z-Boat es resistente a la corrosión de las aguas contaminadas, convirtiéndose en un instrumento ideal para la gestión y el manejo de aguas industriales, tales como desechos de la minería, balsas de residuos o fosas de lixiviados.

A continuación se detallan las principales características del equipo:

Tabla 10.13: Características del Z-Boat 1800 HS.

Oceanscience Z-Boat 1800 High Speed	
Características físicas	
Eslora	180 cm
Anchura del casco	90 cm
Peso	30 kg
Carga útil	20 kg
Material del casco	Plástico ABS resistente a la corrosión
Motor	Dos motores 24V DC
Navegación y telemetría	
Unidad de control remoto	Hitec Aurora 9, 2,4GHz FHSS
Alcance del control remoto	1500 m
Radio Modem para telemetría de datos	Hydrolink SL, 900 MHz
Alcance telemetría de datos	> 2000 m
Rendimiento	
Velocidad típica	3-4 nudos (1.5-2.0 m/s)
Velocidad máxima	10 nudos (5 m/s)
Duración de la batería	240 minutos
Equipamiento de abordo	
GNSS Rover Geodésico	
Marca y modelo	CHC X91
Seguimiento de señales	220 canales GPS, GLONASS

Precisión RTK	H (10mm+1ppm), V (20mm+1ppm) RMS
Ecosonda Monohaz Monofrecuencia	
Marca y modelo	CEE HydroSystems CEEPULSE 100 Series
Frecuencia	200 KHz
Anchura del haz	3°
Rango de medición	0,3 – 100 metros.
Resolución	1 cm
Precisión	0,01 m ±0,1% de la profundidad
Frecuencia de salida	1 – 10 Hz
Brújula Marina	
Marca y modelo	NASA Marine Compass Sensor
Precisión	± 2°
Frecuencia de salida	1Hz

10.1.5 Monografías de Vértices Geodésicos del Ministerio de Bienes Nacionales

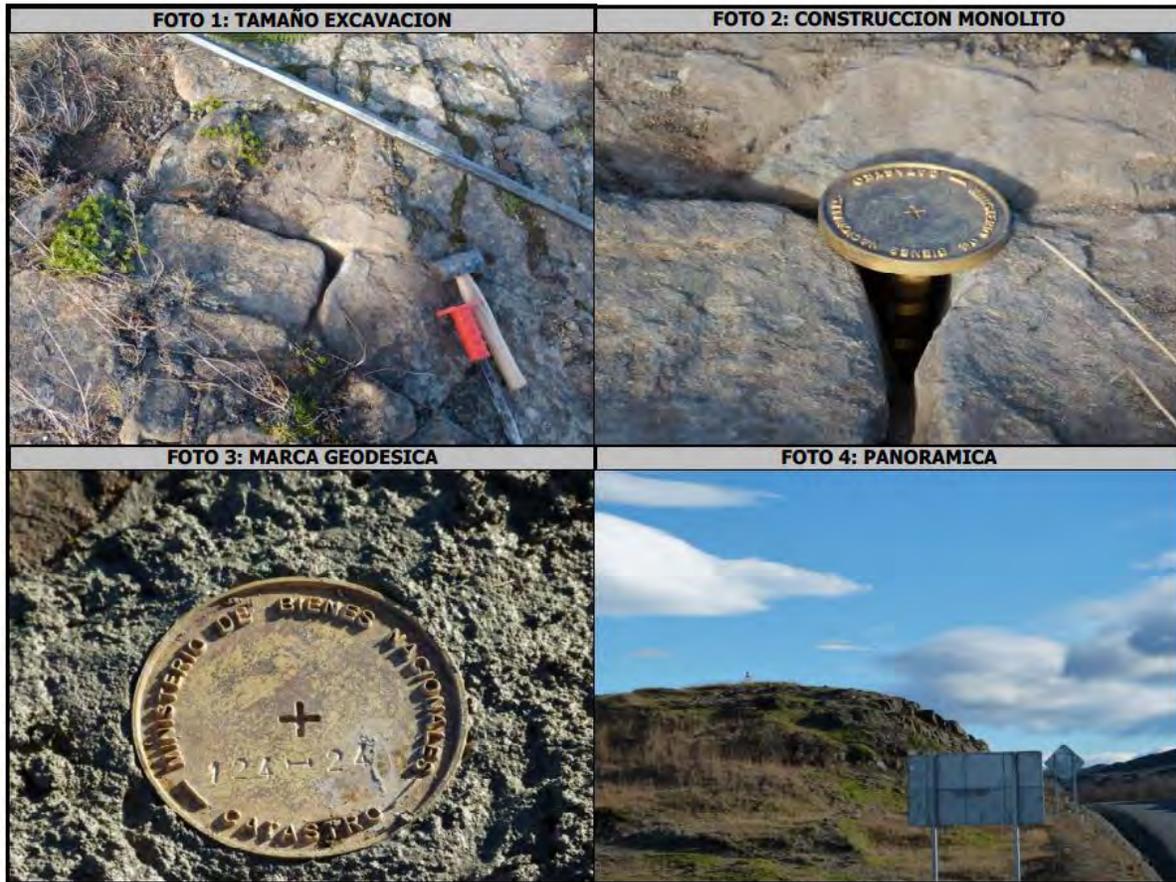


División del Catastro Nacional de los Bienes del Estado
Departamento de Mensura

Monografía Vértice Geodésico		Código : 124-24	N° Monografía :
Nombre :	PN TORRES DEL PAINE 1	ID : TDP1	Proyecto : DENSIFICACION DE VERTICES GEODESICOS EN LOS SNASPE, BNP Y RTF DEL MBN
Región :	XII REGION DE MAGALLANES	Provincia : ULTIMA ESPERANZA	Comuna : TORRES DEL PAINE
Croquis General		Fotografía Primer Plano	
Croquis Detallado		Descripción	
		<p>PLACA MBN INCRUSTADA EN ROCA AL NORTE DE LA ADMINISTRACION DE CONAF EN EL PARQUE TORRES DEL PAINE POR PORTERIA SERRANO, A 28 METROS DE CARETA GENERADOR Y A 7 METROS DE CAMINO EN UNA CIMA ROCOSA.</p>	
Coordenadas			
DATUM	SIRGAS	PSAD 56	SAD69
Latitud	51° 10' 34.78866" S		51° 10' 33.59259" S
Longitud	72° 57' 29.15471" W		72° 57' 25.38208" W
Altura Elipsoidal	48.834		
Altura Ortometrica	35.637		35.637
Norte	4328584.436		4328599.503
Este	642729.208		642804.002
Huso UTM	18 SUR		18 SUR
Otros Antecedentes			
Intervisible con		Vinculación	BN12
Marca Geodesica		Instrumental Usado en Medición	GPS SOKKIA GRX1
Fecha Creacion	julio/13	Orden	PRIMARIO
Fecha Calculo	septiembre/13	Fecha última inspección	
Fecha Medicion	29/07/2013	Propietario Terreno	

Fotografías del Vértice Geodésico

PN TORRES DEL PAINE 1



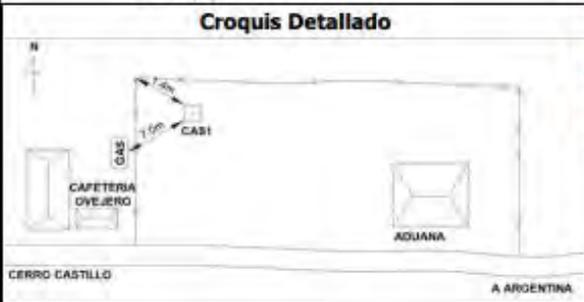
Monografía Vértice Geodésico		Código : 124-20	N° Monografía :
Nombre :	CERRO CASTILLO 1	ID : CAS1	Proyecto : RED CATASTRAL XII REGION
Región :	De Magalanes y de la Antártica Chilena	Provincia : Ultima Esperanza	Comuna : Torres del Paine
Lugar : Cerro Castillo			
Croquis General 		Fotografía 	
Croquis Detallado 		Descripción Monolito de hormigón de 20x20 cms con placa de bronce del MBN código 124-20 y a ras del suelo. Se ubica al interior del recinto de Aduanas de Cerro Castillo, en la esquina nor poniente. Se amarró a la esquina del cerco a 1.40 metros y a estanque de Gasco a 7.00 metros.	
Coordenadas			
DATUM	SIRGAS	PSAD 56	SAD 69
Latitud	51°15'31.525"S		51°15'30.316"S
Longitud	72°20'40.687"O		72°20'36.923"O
Altura	132.556m		122.396m
Norte	4316084.554m		4316105.321m
Este	266644.748m		266715.135m
Huso	19		19
Otros Antecedentes			
Intervisible	NO		
Tipo Altura	ELIPSOIDAL		
Fecha Med.	MARZO DE 2009		
Fecha Calc.	ABRIL DE 2009		
N° Libreta(s)	2		

FOTO 1: TAMANO EXCAVACION



FOTO 2: CONSTRUCCION MONOLITO



FOTO 3: PLACA DE BRONCE



FOTO 4: GENERAL



10.1.6 Monografías de GCPs



Sistema Lacustre El Toro
Universidad Católica de Chile

Monografía de Vértice Geodésico	
Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP1

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	03/02/2016

Mapa de Situación General


Fotografía Panorámica


Mapa de Situación


Coordenadas SIRGAS	
Este UTM H18S (m)	631962,018
Norte UTM H18S (m)	4334444,284
Cota S.N.M.M. (m)	51,219
Latitud	51°07'34,50684"S
Longitud	73°06'51,08586"W
Altura Elipsoidal (m)	65,034

Ubicación	
Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

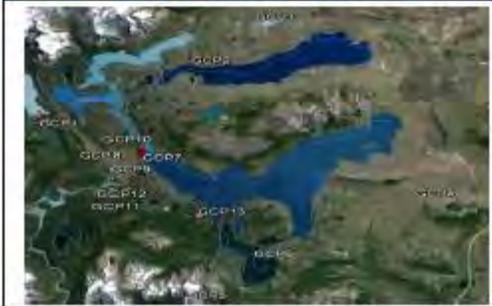
Descripción:
Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP2

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	03/02/2016

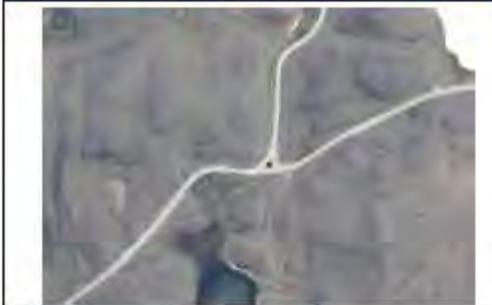
Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	648932,756
Norte UTM H18S (m)	4344423,063
Cota S.N.M.M. (m)	201,434
Latitud	51°01'56,71214"S
Longitud	72°52'33,41931"W
Altura Elipsoidal (m)	214,824

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP3

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	03/02/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	662709,977
Norte UTM H18S (m)	4351498,439
Cota S.N.M.M. (m)	135,04
Latitud	50°57'54,40278"S
Longitud	72°40'58,06925"W
Altura Elipsoidal (m)	148,153

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP4

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	03/02/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	679514,541
Norte UTM H18S (m)	4320851,239
Cota S.N.M.M. (m)	119,792
Latitud	51°14'07,56808"S
Longitud	72°25'42,54278"W
Altura Elipsoidal (m)	132,389

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP5

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	653796,834
Norte UTM H18S (m)	4305127,859
Cota S.N.M.M. (m)	53,466
Latitud	51°23'03,21873"S
Longitud	72°47'23,23802"W
Altura Elipsoidal (m)	66,431

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP6

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	658116,35
Norte UTM H18S (m)	4313189,966
Cota S.N.M.M. (m)	25,351
Latitud	51°18'38,17226"S
Longitud	72°43'52,84477"W
Altura Elipsoidal (m)	38,046

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

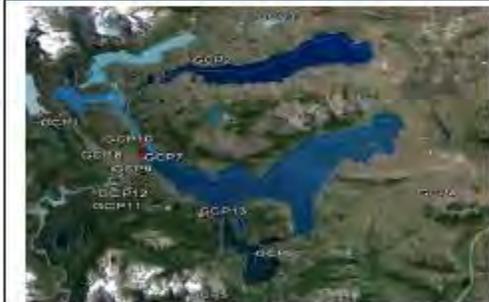
Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP7

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	643035,782
Norte UTM H18S (m)	4328766,947
Cota S.N.M.M. (m)	23,605
Latitud	51°10'28,60839"S
Longitud	72°57'13,63773"W
Altura Elipsoidal (m)	36,801

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP8

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	03/02/2016

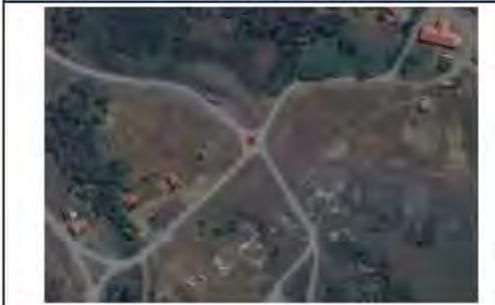
Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	642794,553
Norte UTM H18S (m)	4328550,628
Cota S.N.M.M. (m)	25,332
Latitud	51°10'35,82365"S
Longitud	72°57'25,74324"W
Altura Elipsoidal (m)	38,527

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP9

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	642814,121
Norte UTM H18S (m)	4328322,621
Cota S.N.M.M. (m)	24,896
Latitud	51°10'43,18242"S
Longitud	72°57'24,40995"W
Altura Elipsoidal (m)	38,086

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP10

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

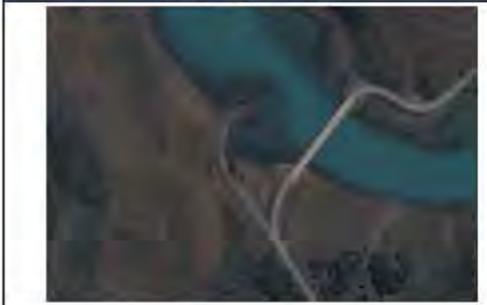
Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	642493,274
Norte UTM H18S (m)	4330305,88
Cota S.N.M.M. (m)	24,953
Latitud	51°09'39,30908"S
Longitud	72°57'43,75334"W
Altura Elipsoidal (m)	38,193

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP11

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	641104,376
Norte UTM H18S (m)	4321909,337
Cota S.N.M.M. (m)	22,148
Latitud	51°14'12,19135"S
Longitud	72°58'43,33046"W
Altura Elipsoidal (m)	35,281

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP12

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	641735,822
Norte UTM H18S (m)	4324070,367
Cota S.N.M.M. (m)	22,748
Latitud	51°13'01,71557"S
Longitud	72°58'13,86577"W
Altura Elipsoidal (m)	35,881

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	GCP13

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	648864,973
Norte UTM H18S (m)	4318634,526
Cota S.N.M.M. (m)	121,043
Latitud	51°15'51,02983"S
Longitud	72°51'58,50729"W
Altura Elipsoidal (m)	133,991

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de control terrestre para Imagen Satelital.

10.1.7 Monografías de PRs



Sistema Lacustre El Toro
Universidad Católica de Chile

Monografía de Vértice Geodésico			
Proyecto	Sistema Lacustre El Toro		
Cliente	Universidad Católica	Operador	José Sánchez
Sector	Comuna Torres del Paine	Fecha Medición	29/01/2016
Punto de Referencia	PR Puesto el Toro		

Mapa de Situación General


Fotografía Panorámica


Mapa de Situación


Coordenadas SIRGAS	
Este UTM H18S (m)	670430,385
Norte UTM H18S (m)	4335255,612
Cota S.N.M.M. (m)	73,875
Latitud	51°06'31,71967"S
Longitud	72°33'55,12201"W
Altura Elipsoidal (m)	86,558

Ubicación	
Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:
Punto de referencia para metodología GNSS RTK

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	PR Maravilla

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	658069,627
Norte UTM H18S (m)	4313208,324
Cota S.N.M.M. (m)	31,774
Latitud	51°18'37,62517"S
Longitud	72°43'55,28540"W
Altura Elipsoidal (m)	44,469

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de referencia para metodología GNSS RTK

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	PR Porteño Norte

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

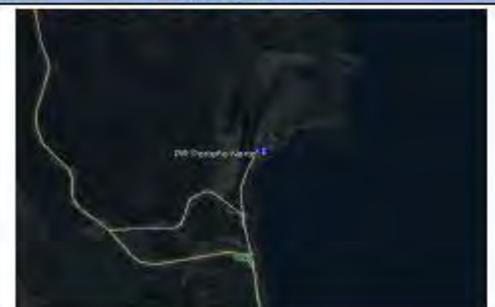
Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	651277,107
Norte UTM H18S (m)	4313080,293
Cota S.N.M.M. (m)	34,741
Latitud	51°18'48,41296"S
Longitud	72°49'45,66517"W
Altura Elipsoidal (m)	47,684

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de referencia para metodología GNSS RTK

Monografía de Vértice Geodésico

Proyecto	Sistema Lacustre El Toro
Cliente	Universidad Católica
Sector	Comuna Torres del Paine
Punto de Referencia	PR Porteño Sur

Operador	José Sánchez
Fecha Medición	29/01/2016

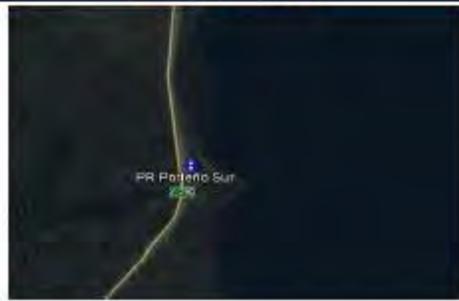
Mapa de Situación General



Fotografía Panorámica



Mapa de Situación



Coordenadas SIRGAS

Este UTM H18S (m)	653190,481
Norte UTM H18S (m)	4307859,671
Cota S.N.M.M. (m)	73,875
Latitud	51°21'35,44301"S
Longitud	72°47'58,82196"W
Altura Elipsoidal (m)	47,676

Ubicación

Región	Magallanes
Sector	Torres del Paine

Descripción:

Punto de referencia para metodología GNSS RTK

10.2 Series de caudales con datos rellenos

Tabla 10.14. Serie de tiempo de caudales para la estación " RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	0,59	3,54	3,06	5,53	6,49	6,28
1981	2,77	1,87	2,12	1,37	1,49	3,25	2,56	1,84	1,38	5,43	4,38	3,09
1982	1,19	0,74	0,82	1,41	1,27	1,7	3,21	3,24	1,66	3,92	7,98	1,86
1983	1,28	0,78	1,72	1,39	1,21	1,13	1,67	0,86	1,84	3,78	5,92	2,67
1984	1,23	1,05	0,84	1,37	2,15	1,6	1,02	3,31	2,66	5,55	7,14	3,27
1985	1,97	1,37	2,93	4,8	2,23	1,87	3,61	2,11	2,27	7,65	7,65	3,41
1986	1,32	4,63	1,35	1,61	1,64	2,39	3,44	1,45	4,81	10,14	8	6,2
1987	2,64	2,58	1,73	1,11	1,27	1,34	1,21	1,07	1,03	6,08	6	2,25
1988	0,97	0,55	0,56	0,71	0,87	0,91	1,55	0,58	1,59	4,62	7,14	3,23
1989	2,87	1,27	0,69	1,19	1,97	1,84	1,52	0,95	1,97	7,59	8,28	4,27
1990	1,78	1,15	1,47	1,57	1,51	1,76	1,58	1,1	2,04	8,97	14,22	9,95
1991	3,67	1,73	2,66	4,23	1,45	0,91	1,63	2,34	2,99	5,94	9,32	3,52
1992	2,58	1,63	2,22	1,56	1,6	2,38	2,9	2,6	1,73	4,42	11,77	7,25
1993	1,87	1,38	1,98	1,98	1,48	2,05	2,14	1,58	1,84	3,77	1,45	1,02
1994	0,66	0,81	1,38	1,23	1,18	2,02	2,44	1,8	0,71	2,38	9,29	4,93
1995	1,61	0,8	1,27	1,78	1,89	1,86	2,43	3,17	3,16	14,97	11,54	4,48
1996	1,66	1,32	1,23	0,73	2,5	1,64	1,56	1,13	2,23	3,93	4,03	3,31
1997	2,62	1,87	0,96	1,87	1,94	2,25	1,96	2,64	0,89	3,56	5,02	2,58
1998	1,45	2,5	5,16	2,14	1,63	1,34	4,02	1,61	1,83	7,86	15,29	8,62
1999	4,43	2,16	1,36	1,39	1,49	1,62	2,52	1,71	1,57	9,07	4,35	1,92
2000	0,93	0,56	0,96	1,18	1,59	1,02	2,29	1,31	0,59	7,63	14,51	9,16
2001	5,22	3,85	3,04	2,12	1,72	1,53	2,55	5,46	3,89	6,23	4,37	2,63
2002	0,91	0,48	2,23	2,47	1,68	1,4	2,22	2,52	5,03	3,02	5,07	5,69
2003	1,19	0,72	3,58	1,56	2,04	1,63	1,76	1,86	1,48	4,95	8,19	4,71
2004	2,69	0,96	1,11	1,12	3,08	1,24	1,26	2,35	1,99	3,28	7,58	1,78
2005	0,69	0,31	0,67	1,14	3,26	1,17	2,72	1,34	3,12	5,68	8,3	5,03
2006	2,24	0,84	2	3,15	1,84	1,32	2,29	1,87	2,28	4,21	4,85	2,11
2007	3,14	1,69	1,49	1,16	1,63	1,82	1,12	0,88	2,06	4,79	3,84	2,58
2008	0,96	0,68	0,69	2,2	1,8	1,25	2,03	1,6	2,69	6,81	10,96	9,31
2009	3,1	1,9	1,35	4,07	2,86	2,84	1,56	1,25	1,87	3,43	4,37	8,01
2010	2,97	2,58	1,37	1,44	3,89	1,76	2,65	1,17	2,04	6,99	8,17	4,49
2011	2,55	3,52	1,08	4,19	5,96	2,52	1,97	2,19	2,87	7,12	8,19	4,57
2012	1,57	1,14	3,06	2,31	1,94	2,48	3,21	5,44	3,76	6,47	11,04	10,31
2013	6,5	2,45	1,24	1,2	2,12	6,61	2,77	3,29	3,17	9,28	8,82	8,76
2014	4,17	1,59	2,19	1,07	1,72	3,72	2,68	3,43	4,18	5,41	8,48	4,58
2015	2,25	0,84	2,92	8,97	3,69	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.15. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N9" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	0,70	0,72	0,62	0,44	0,34	0,18
1981	0,13	0,17	0,18	0,14	0,19	0,21	0,53	0,59	0,48	0,56	0,41	0,03
1982	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,40	0,38	0,28	0,85	0,18	0,19	0,05
1983	0,03	0,04	0,04	0,06	0,13	0,31	0,39	0,43	0,47	0,33	0,12	0,06
1984	0,06	0,06	0,06	0,07	0,27	0,36	0,18	0,30	0,72	0,20	0,02	0,01
1985	0,01	0,01	0,02	0,18	0,80	0,33	0,29	0,71	1,20	0,46	0,10	0,06
1986	0,06	0,08	0,06	0,08	0,16	0,30	1,09	1,31	2,02	0,65	0,78	0,15
1987	0,06	0,08	0,13	0,17	0,13	0,18	0,31	0,34	0,32	0,20	0,06	0,05
1988	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,15	1,11	0,27	0,23	0,48	0,17	0,07
1989	0,05	0,05	0,04	0,20	0,26	0,35	0,58	0,28	0,62	0,38	0,11	0,06
1990	0,03	0,05	0,05	0,05	0,11	0,39	0,43	0,74	0,86	1,42	0,38	0,23
1991	0,10	0,08	0,05	0,15	0,18	0,93	1,99	2,66	2,14	0,92	0,15	0,07
1992	0,07	0,07	0,16	0,06	0,05	0,53	0,21	0,56	0,29	0,67	0,31	0,12
1993	0,04	0,03	0,03	0,05	0,15	0,77	0,45	0,50	0,52	0,59	0,20	0,08
1994	0,06	0,07	0,07	0,07	0,13	0,67	2,22	1,27	0,88	1,12	0,51	0,28
1995	0,14	0,13	0,25	0,31	0,10	0,08	0,14	0,85	1,77	0,64	0,16	0,06
1996	0,05	0,06	0,06	0,06	0,09	0,12	0,38	0,59	0,44	0,54	0,20	0,04
1997	0,02	0,03	0,03	0,05	0,08	0,18	1,53	0,78	0,40	0,46	0,31	0,06
1998	0,03	0,03	0,08	0,04	0,14	0,42	0,77	0,85	1,56	0,74	0,17	0,08
1999	0,05	0,03	0,04	0,06	0,07	0,17	0,55	0,73	0,83	0,51	0,11	0,07
2000	0,06	0,04	0,05	0,10	0,23	0,13	0,68	1,05	0,61	1,08	0,24	0,09
2001	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,16	0,59	2,26	0,79	0,41	0,08	0,04
2002	0,03	0,03	0,20	0,21	0,63	1,72	1,44	0,75	0,84	0,78	0,26	0,09
2003	0,05	0,03	0,04	0,04	0,11	0,25	0,47	0,46	0,37	0,47	0,47	0,22
2004	0,04	0,03	0,04	0,07	0,14	0,17	0,20	0,52	0,48	0,28	0,12	0,06
2005	0,04	0,04	0,05	0,13	0,27	0,25	0,69	0,66	0,67	0,38	0,16	0,06
2006	0,04	0,04	0,07	0,11	0,10	0,14	0,43	0,72	0,58	0,30	0,06	0,03
2007	0,03	0,02	0,03	0,09	0,09	0,30	0,63	0,54	0,38	0,35	0,21	0,11
2008	0,08	0,07	0,07	0,12	0,15	0,42	0,80	1,17	0,75	0,48	0,56	0,08
2009	0,06	0,05	0,05	0,08	0,59	0,98	0,74	0,59	0,46	0,36	0,19	0,10
2010	0,06	0,05	0,04	0,06	0,07	0,15	0,71	0,40	0,78	0,59	0,20	0,07
2011	0,04	0,03	0,04	0,13	0,42	0,50	0,73	0,55	0,90	0,61	0,22	0,12
2012	0,01	0,02	0,09	0,20	0,73	1,54	2,33	2,87	1,07	0,39	0,36	0,14
2013	0,10	0,06	0,06	0,09	0,29	2,63	0,95	1,68	1,24	0,80	0,29	0,16
2014	0,13	0,10	0,11	0,12	0,20	0,42	0,41	1,29	0,90	0,36	0,24	0,12
2015	0,08	0,06	0,10	0,35	0,45	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.16. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	1,52	3,11	4,34	0,57	0,22	0,06
1981	0,00	0,10	0,09	0,01	0,03	0,28	3,01	1,24	2,57	0,42	0,32	0,03
1982	0,01	0,00	0,00	0,32	0,03	0,11	0,71	0,26	0,81	0,28	0,42	0,23
1983	0,00	0,02	0,20	0,55	0,27	0,11	0,82	2,15	1,03	0,54	0,22	0,02
1984	0,12	0,11	0,06	0,30	0,59	0,12	0,68	0,29	2,21	1,06	0,19	0,00
1985	0,00	0,18	0,87	0,87	0,96	0,33	0,53	0,77	0,97	0,61	0,12	0,09
1986	0,01	0,59	0,38	0,60	0,92	1,89	3,97	1,27	1,69	1,37	1,28	0,04
1987	0,00	0,02	0,02	0,01	0,05	0,08	0,24	0,45	0,40	0,32	0,22	0,01
1988	0,00	0,00	0,00	0,02	0,36	0,03	0,27	0,15	0,20	0,42	0,14	0,02
1989	0,02	0,01	0,00	0,19	0,56	0,82	1,61	1,14	1,39	0,50	0,12	0,04
1990	0,04	0,03	0,15	0,77	0,15	0,36	0,87	1,72	4,51	3,41	0,37	0,39
1991	0,03	0,10	1,07	0,57	0,36	0,63	0,99	2,20	3,52	2,19	0,48	0,12
1992	0,03	0,03	0,05	0,05	0,12	0,32	0,20	0,43	0,78	1,11	0,59	0,20
1993	0,00	0,00	0,30	0,48	0,19	0,48	0,05	0,55	0,26	0,35	0,12	0,04
1994	0,01	0,01	0,01	0,13	0,35	0,13	0,50	0,15	0,38	0,69	0,80	0,35
1995	0,00	0,00	0,49	0,34	0,42	0,07	0,57	1,14	1,99	4,60	0,42	0,05
1996	0,58	0,00	0,42	1,05	0,06	0,43	0,47	0,49	0,16	0,31	0,07	0,01
1997	0,01	0,08	0,00	0,70	0,03	0,03	0,13	1,06	0,41	0,42	0,08	0,02
1998	0,01	0,01	0,03	0,03	0,16	1,18	6,60	6,14	2,50	1,10	0,28	0,08
1999	0,18	0,24	0,00	0,18	0,11	0,14	0,32	0,81	0,89	0,49	0,08	0,02
2000	0,02	0,02	0,01	0,01	0,36	0,09	0,16	0,32	0,87	2,60	0,17	1,13
2001	0,43	0,03	0,04	0,03	0,07	0,05	0,11	2,09	2,88	1,05	0,09	0,03
2002	0,00	0,00	0,02	0,06	0,28	1,30	0,89	0,93	2,48	0,66	0,18	0,31
2003	0,02	0,01	0,12	0,09	0,26	0,36	0,89	1,16	0,61	0,43	0,52	0,06
2004	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,15	1,38	0,36	0,13	0,08	0,01
2005	0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,11	2,03	1,83	1,40	0,67	0,15	0,03
2006	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,98	0,36	0,04	0,03
2007	0,03	0,01	0,03	0,13	0,30	0,52	0,64	0,96	0,49	0,79	0,36	0,05
2008	0,02	0,00	0,00	0,16	0,18	0,91	1,11	5,33	11,79	1,69	2,14	0,03
2009	0,00	0,00	0,00	0,24	1,48	1,84	1,03	1,00	1,31	1,58	0,16	0,03
2010	0,01	0,02	0,01	0,04	0,35	0,41	1,25	0,49	2,12	1,15	0,13	0,01
2011	0,00	0,04	0,00	0,10	0,68	0,75	0,76	0,69	2,00	4,69	0,08	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,03	0,21	0,38	1,67	5,61	3,14	1,07	0,91	0,47
2013	0,08	0,00	0,00	0,18	0,41	1,86	0,96	0,60	0,85	1,26	0,50	0,33
2014	0,30	0,26	0,27	0,29	0,38	0,65	0,63	1,71	1,24	0,58	0,44	0,29
2015	0,24	0,22	0,27	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.17. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	13,7	0,0	97,1	90,7	95,3	140,8
1981	86,6	128,0	142,9	36,6	0,0	110,7	70,0	0,0	78,3	0,0	105,2	153,0
1982	79,1	250,6	267,3	107,8	60,3	31,6	0,0	0,0	0,0	48,6	109,2	164,6
1983	250,5	217,5	175,4	126,3	54,6	29,8	40,4	44,0	44,3	50,5	154,2	211,9
1984	248,9	157,1	153,1	103,5	65,5	219,5	280,5	28,0	47,9	75,8	141,5	165,3
1985	222,7	237,0	199,7	109,0	64,9	21,4	33,6	56,3	45,4	54,7	113,6	191,7
1986	256,9	176,7	106,9	93,4	46,2	29,9	50,5	23,1	26,8	76,2	93,5	132,9
1987	204,5	193,3	164,8	131,4	72,5	38,1	44,6	28,8	26,5	59,7	138,6	153,0
1988	268,9	237,2	202,5	110,0	89,8	69,3	37,0	32,0	27,6	80,9	149,3	157,5
1989	191,7	324,1	209,7	121,6	80,9	48,9	32,8	22,2	32,0	104,7	151,2	168,1
1990	204,6	218,6	208,0	64,1	65,7	67,0	53,6	35,2	29,2	108,0	142,0	154,5
1991	212,0	266,1	282,4	169,8	71,7	25,1	26,7	25,3	25,7	46,7	111,3	102,0
1992	298,0	197,3	211,0	119,3	36,6	23,6	19,0	27,0	28,5	76,3	97,4	153,9
1993	186,1	268,5	182,3	85,4	62,9	32,2	37,8	55,6	69,3	109,7	134,0	181,3
1994	276,3	231,8	201,5	106,5	69,3	30,0	32,7	35,0	29,3	42,3	110,7	166,7
1995	197,1	219,6	231,5	134,9	79,9	33,1	25,7	25,0	34,2	76,0	121,7	234,6
1996	190,3	196,4	210,0	144,6	107,9	51,9	33,0	35,6	43,1	72,9	119,5	172,5
1997	195,5	168,8	155,9	123,2	76,6	25,6	29,5	56,9	37,6	74,6	103,0	147,0
1998	225,1	235,1	307,4	170,3	91,4	43,4	105,5	75,3	57,5	99,5	176,2	218,3
1999	264,3	268,2	143,6	112,9	89,3	46,9	44,5	54,9	43,7	124,1	163,6	188,8
2000	283,5	162,5	155,6	128,0	85,5	33,7	24,2	32,0	22,7	67,2	97,0	158,9
2001	224,8	246,4	132,8	134,1	76,5	30,0	31,3	46,7	49,7	68,2	113,8	180,4
2002	223,0	233,2	115,0	114,2	52,8	32,3	32,6	18,3	40,7	57,5	78,8	184,5
2003	203,0	236,3	365,0	102,9	116,8	61,1	60,8	75,5	43,3	71,5	127,7	142,9
2004	324,8	308,3	269,5	123,2	102,0	70,3	34,8	52,3	57,8	81,2	130,0	202,6
2005	236,9	343,9	188,7	131,8	61,0	20,6	28,9	45,7	61,6	85,7	114,5	214,0
2006	315,1	344,7	261,6	130,7	151,9	35,2	38,6	27,9	52,8	73,9	108,3	155,9
2007	221,3	225,6	209,1	213,4	87,5	78,5	36,5	34,6	49,1	100,2	97,7	200,7
2008	247,5	410,3	279,9	164,0	91,9	46,9	29,5	21,2	41,6	82,7	135,3	275,4
2009	339,5	287,2	281,4	139,3	101,7	76,2	34,7	31,9	38,3	52,5	47,1	135,9
2010	216,5	156,1	240,6	137,5	142,5	63,2	63,3	46,5	54,0	94,0	124,0	151,6
2011	261,4	248,4	212,5	192,1	144,2	61,5	55,1	45,6	44,5	76,4	127,1	184,8
2012	332,2	220,7	190,5	171,0	72,4	43,9	57,8	101,7	84,6	76,3	142,5	168,5
2013	293,3	302,5	177,0	234,9	115,1	115,4	75,5	58,2	41,6	62,3	111,8	236,3
2014	212,6	216,9	231,8	120,5	74,6	72,0	64,3	50,8	48,1	42,5	138,6	214,0
2015	187,6	215,0	255,3	193,4	92,4	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.18. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	4,51	16,67	14,92	22,25	23,76	25,61
1981	14,62	9,67	9,16	5,49	4,93	11,03	12,64	9,69	7,77	20,08	18,06	14,13
1982	7,78	5,14	5,26	6,06	5,50	6,01	13,79	12,47	6,95	15,98	34,32	9,66
1983	7,17	3,68	6,55	7,82	7,06	6,74	8,96	5,61	7,00	14,16	23,88	12,89
1984	6,69	4,88	3,47	5,29	6,65	8,31	6,29	15,78	12,95	22,98	29,46	15,56
1985	10,22	6,17	12,16	17,51	2,31	4,61	12,42	9,79	12,18	37,45	36,82	20,23
1986	7,84	21,15	7,21	6,76	6,25	11,92	16,24	6,64	19,25	37,06	30,84	25,42
1987	14,29	12,69	8,65	6,15	6,73	7,85	7,83	7,25	6,40	22,85	23,28	10,07
1988	5,87	4,64	4,35	4,56	5,01	4,78	6,36	4,28	7,41	18,68	27,00	12,99
1989	13,20	8,01	5,02	6,51	8,65	8,37	7,31	5,46	9,24	27,96	29,94	18,62
1990	9,57	6,81	7,52	3,04	7,36	10,32	10,31	6,91	14,77	59,29	59,60	41,13
1991	13,71	8,28	12,91	23,28	8,05	7,05	9,65	11,52	15,64	28,69	39,81	15,94
1992	12,13	7,69	8,26	5,34	5,29	7,91	9,49	9,08	8,05	24,48	51,51	27,53
1993	8,27	11,91	14,18	10,59	10,49	11,00	9,84	11,22	9,04	15,48	8,03	6,27
1994	5,22	5,96	7,25	5,59	7,57	8,19	9,34	7,10	5,30	18,02	46,02	23,12
1995	9,06	4,88	7,39	9,50	12,05	9,60	11,02	12,21	14,73	66,92	49,13	21,57
1996	6,06	4,67	4,36	4,08	13,47	7,95	5,36	6,32	11,63	21,25	20,66	15,45
1997	14,97	10,32	4,40	11,01	12,87	8,14	12,43	17,02	8,37	22,41	24,44	12,06
1998	8,16	9,58	29,96	7,18	6,93	9,32	36,19	21,92	17,46	39,05	63,07	34,55
1999	17,74	8,50	5,56	7,21	8,21	7,71	10,28	6,37	6,16	37,88	19,45	9,19
2000	7,36	4,30	2,99	4,46	9,70	3,92	7,43	4,11	3,66	42,18	48,07	36,50
2001	18,88	17,65	15,69	9,55	7,19	10,92	10,58	31,08	23,83	35,53	24,66	18,84
2002	6,92	3,37	12,97	13,32	11,50	10,47	16,93	16,14	26,38	23,45	27,46	23,78
2003	7,96	4,68	18,58	5,85	12,19	13,61	10,62	14,06	8,95	21,34	32,87	19,23
2004	11,95	3,70	4,54	2,92	10,04	5,58	3,69	8,31	10,79	15,72	25,27	8,97
2005	4,20	2,01	5,23	5,20	14,05	6,35	13,04	8,39	18,48	25,92	31,53	20,92
2006	11,66	5,46	13,74	16,88	9,47	12,90	8,89	9,53	11,47	19,42	18,42	10,94
2007	13,67	5,20	7,26	5,93	8,51	8,35	6,34	3,16	10,43	22,28	17,33	11,81
2008	3,80	1,52	0,71	9,39	6,95	7,08	7,09	8,95	18,99	29,35	43,78	31,68
2009	16,86	12,13	10,70	21,78	18,35	19,14	9,25	7,23	12,04	19,74	19,95	47,16
2010	25,98	17,35	8,73	7,19	26,85	12,64	15,57	14,07	14,37	34,17	42,03	20,02
2011	11,63	16,60	5,74	23,71	29,74	10,17	9,65	10,17	14,24	34,32	27,88	13,59
2012	7,44	4,92	11,35	12,14	9,18	9,14	23,32	29,78	26,52	37,35	60,34	48,78
2013	28,53	12,37	7,21	6,39	10,73	31,89	13,77	16,24	15,66	44,51	42,33	42,04
2014	20,39	8,24	11,06	5,78	8,82	18,27	13,34	16,91	20,44	26,22	40,69	22,32
2015	11,31	4,69	14,49	39,06	17,28	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.19. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	0,65	7,79	10,78	15,67	18,16	13,61
1981	5,43	5,97	3,56	1,51	2,61	4,55	6,97	5,19	2,85	11,79	11,49	5,88
1982	2,37	1,60	2,18	3,08	2,16	4,82	8,57	0,43	3,39	8,43	12,09	3,85
1983	3,67	2,08	6,18	4,10	2,94	1,11	2,31	3,72	6,37	11,26	15,79	5,65
1984	4,25	4,76	2,38	4,00	5,95	4,58	3,14	8,82	7,21	38,31	12,14	4,72
1985	4,03	5,00	11,85	13,92	6,15	3,26	5,11	6,17	8,49	13,65	17,70	7,65
1986	6,17	12,10	3,96	4,96	3,49	4,47	9,41	3,86	15,92	23,70	20,48	16,00
1987	7,16	7,02	2,21	2,04	2,27	4,34	3,09	2,98	3,63	13,03	9,89	5,86
1988	3,00	2,92	2,68	3,13	3,44	3,78	3,85	1,84	4,43	12,64	19,64	9,05
1989	8,16	3,74	1,84	6,77	3,76	4,17	2,45	1,40	6,81	26,00	19,11	12,57
1990	4,78	3,45	6,01	3,24	6,86	9,12	8,08	4,35	7,35	18,57	33,41	23,59
1991	7,21	5,41	7,65	14,93	4,19	1,61	1,95	3,63	6,15	17,60	21,84	7,92
1992	6,35	5,61	4,68	4,07	2,00	3,30	1,70	2,17	4,85	15,21	28,36	13,06
1993	3,67	8,17	9,23	5,82	2,54	1,08	1,66	5,07	5,72	13,52	5,40	4,48
1994	6,15	4,62	3,81	2,32	4,76	4,67	3,29	3,15	2,14	12,42	26,64	12,70
1995	5,94	2,05	4,21	5,91	8,14	3,06	3,01	2,96	8,03	36,47	26,93	12,86
1996	3,11	2,86	2,60	2,38	9,54	4,20	2,31	2,84	8,98	15,53	15,33	10,33
1997	10,94	5,82	1,82	6,01	7,14	2,52	3,13	7,75	4,64	14,41	12,14	4,16
1998	4,52	7,92	16,62	3,72	2,62	5,00	19,37	9,17	9,09	23,69	31,61	17,36
1999	9,49	4,69	2,24	3,80	4,63	2,14	3,19	3,46	4,89	25,43	11,44	5,24
2000	5,28	3,19	1,72	1,89	5,79	1,42	1,76	1,20	1,46	29,37	32,11	25,51
2001	11,70	12,70	12,19	6,00	3,54	2,34	1,37	10,61	11,48	18,21	12,63	9,39
2002	3,01	1,63	6,98	5,07	3,86	2,93	2,78	2,36	8,75	10,66	13,08	11,43
2003	3,85	2,85	13,01	2,21	8,51	4,39	5,66	7,53	3,67	14,23	20,41	12,60
2004	7,22	3,04	4,22	2,65	5,86	3,70	1,87	4,88	7,57	10,99	15,24	4,64
2005	2,90	2,23	4,32	5,53	7,48	2,59	5,53	3,78	12,06	16,50	17,77	10,40
2006	4,04	1,91	7,88	9,86	4,70	1,69	0,92	1,20	6,81	13,80	13,77	7,03
2007	8,47	2,92	5,64	5,36	6,43	5,95	2,97	2,83	7,24	15,82	12,49	7,55
2008	3,52	2,77	1,65	8,14	4,69	3,67	4,26	3,05	10,07	17,94	29,11	18,09
2009	11,25	7,78	7,03	17,58	12,53	12,52	3,28	2,66	6,60	12,61	12,68	17,43
2010	10,55	7,28	2,96	5,53	15,07	4,33	6,73	2,21	6,32	21,95	20,17	11,35
2011	4,45	9,36	4,04	20,92	19,52	5,70	4,11	3,36	8,57	23,33	16,82	8,55
2012	3,07	2,57	5,82	7,61	4,48	2,95	4,51	20,84	16,60	24,82	41,02	29,04
2013	13,35	4,84	2,65	4,46	7,25	23,59	5,94	6,78	5,78	23,97	22,00	20,76
2014	7,43	3,43	5,92	3,02	4,30	12,72	5,75	7,84	11,75	15,75	24,89	11,15
2015	4,31	1,77	9,32	26,28	12,32	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.20. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2"
con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	0,0	33,8	38,0	35,1	37,2	58,7
1981	33,3	52,1	58,9	10,4	37,1	45,1	26,8	35,8	35,8	44,8	19,3	19,1
1982	29,8	108,0	45,2	30,4	30,8	16,1	46,6	39,8	53,9	22,5	31,3	53,6
1983	135,9	71,0	69,8	84,7	15,1	15,4	19,4	20,7	20,9	23,2	36,8	124,7
1984	103,4	63,2	88,7	18,2	42,6	93,9	121,7	113,3	79,3	88,4	89,0	114,1
1985	104,1	111,9	177,5	91,3	84,2	10,9	11,2	17,0	15,1	25,3	60,3	114,2
1986	124,1	86,5	48,4	43,5	17,1	13,5	22,2	12,7	13,6	29,4	80,4	62,8
1987	79,2	75,2	58,1	48,4	30,0	14,6	16,5	15,1	14,2	16,1	37,2	38,3
1988	116,4	83,5	61,4	37,6	26,2	23,6	17,6	9,8	6,8	26,1	64,0	90,3
1989	70,5	98,4	58,8	40,9	32,8	20,7	16,2	3,9	12,5	33,0	84,5	73,9
1990	73,4	78,3	67,0	22,4	28,2	30,0	21,7	16,1	14,9	59,7	66,3	66,4
1991	77,8	97,9	94,6	72,0	32,3	12,2	10,7	13,8	13,9	21,8	45,7	38,9
1992	99,5	60,1	67,0	39,5	15,6	8,9	6,1	7,4	13,3	37,2	53,0	70,6
1993	63,0	92,0	65,2	33,6	20,7	10,1	7,5	14,9	36,4	51,5	52,0	64,8
1994	92,7	73,3	61,3	33,0	27,9	10,1	7,5	8,7	13,3	20,8	52,1	71,7
1995	50,4	71,7	76,5	39,3	28,7	15,1	6,0	4,8	9,8	35,5	58,1	108,0
1996	70,4	64,0	71,4	63,2	38,7	16,9	8,1	13,7	16,9	30,8	49,2	72,1
1997	75,0	52,9	46,8	39,0	23,8	7,5	9,4	24,0	13,1	30,4	44,1	60,9
1998	90,8	108,5	130,7	61,5	34,3	16,2	56,5	32,1	25,3	44,2	78,5	94,1
1999	110,8	106,0	55,2	44,9	30,5	14,3	13,0	18,0	14,2	53,9	61,6	74,3
2000	108,5	62,8	54,3	45,3	31,2	11,9	8,3	9,0	8,0	30,0	37,7	66,7
2001	105,1	111,6	62,6	63,2	38,2	16,0	18,9	23,4	23,8	33,7	52,3	86,7
2002	90,6	94,6	45,4	43,7	22,8	14,9	13,7	10,3	17,6	25,1	33,9	74,2
2003	80,4	93,2	134,6	29,7	40,9	18,4	18,9	26,3	13,4	24,3	42,8	48,9
2004	116,2	110,9	98,2	43,5	41,2	27,1	15,2	23,4	26,1	30,4	54,6	77,2
2005	94,3	135,8	74,8	51,0	38,6	18,5	15,9	21,4	26,0	38,9	44,3	65,6
2006	96,5	122,0	94,7	55,4	51,5	14,5	11,4	14,7	21,9	28,9	50,6	57,9
2007	100,2	92,3	86,7	82,5	39,5	38,3	19,0	14,4	21,7	47,7	47,6	86,3
2008	98,8	154,8	97,6	66,6	41,0	20,8	15,8	10,4	18,6	35,8	67,8	127,6
2009	143,4	118,3	111,5	75,5	64,7	48,0	17,5	15,0	17,7	27,1	23,1	69,5
2010	106,0	64,1	92,1	46,1	61,4	19,7	25,2	14,1	18,7	39,6	50,6	65,5
2011	103,1	98,3	75,2	81,6	58,6	23,6	22,5	14,6	17,3	32,3	47,5	75,0
2012	131,6	84,1	75,5	73,3	26,0	14,3	20,7	46,4	36,4	35,5	63,7	80,7
2013	134,0	111,9	67,2	88,6	47,3	49,3	25,3	22,9	14,8	29,7	46,7	98,5
2014	82,2	80,7	83,9	40,0	26,4	29,0	33,9	22,4	22,2	24,3	64,3	90,8
2015	75,1	93,5	102,7	81,9	38,8	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.21. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO RINCON" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	3,91	4,71	5,04	5,59	5,86	5,36
1981	4,45	4,51	4,24	4,01	4,13	4,35	4,25	4,70	4,16	5,15	4,83	4,50
1982	4,11	2,47	4,08	7,40	3,75	1,36	2,63	3,89	4,22	2,77	5,19	4,27
1983	4,25	2,80	4,53	4,30	3,28	1,22	2,10	2,39	2,42	2,73	5,60	4,47
1984	4,32	4,37	3,42	3,41	3,39	2,23	2,47	1,07	2,71	5,03	5,19	4,37
1985	4,29	4,40	5,16	5,39	4,13	0,52	1,53	3,42	2,51	3,28	5,81	4,69
1986	4,53	5,34	6,14	5,66	2,58	1,23	2,93	0,66	0,97	4,77	5,38	6,58
1987	6,12	6,16	5,53	3,79	3,44	1,90	2,44	1,13	0,95	3,70	3,81	4,52
1988	7,13	6,46	5,85	4,45	5,77	4,49	1,81	1,40	1,03	4,76	5,03	7,89
1989	6,87	7,20	5,85	3,52	5,09	2,80	1,47	1,08	1,40	3,90	6,82	6,54
1990	7,42	5,84	5,97	4,06	4,19	4,30	3,19	1,67	1,17	6,03	9,12	9,53
1991	7,18	6,80	8,47	9,26	4,68	0,83	0,96	0,85	0,88	2,62	5,82	6,12
1992	5,16	6,52	5,92	4,27	1,78	0,71	0,32	0,99	1,11	4,47	6,62	8,38
1993	6,51	6,78	6,75	5,97	3,96	1,42	1,88	3,35	4,15	4,75	5,06	4,30
1994	6,39	6,46	6,46	4,37	4,49	1,23	1,46	1,65	1,18	2,26	4,98	7,25
1995	6,88	6,40	5,49	5,43	5,36	1,49	0,88	0,82	1,58	5,04	8,13	8,83
1996	8,11	5,76	5,39	5,27	4,98	3,05	1,48	1,70	2,32	4,79	4,48	6,32
1997	6,95	6,58	4,78	4,19	4,35	0,87	1,20	3,46	1,86	4,93	4,75	4,67
1998	5,88	7,03	12,43	7,52	4,95	2,34	6,63	4,98	3,51	4,83	9,25	10,95
1999	9,35	8,60	7,04	3,85	5,60	2,64	2,44	3,30	2,37	4,44	6,79	6,04
2000	8,42	6,59	5,21	4,21	4,34	1,54	0,76	1,40	0,63	3,98	6,65	8,10
2001	9,04	8,83	8,10	6,35	3,79	1,24	1,34	2,62	2,86	4,40	5,33	6,07
2002	6,76	6,47	6,67	5,14	3,13	1,43	1,45	1,31	2,12	3,51	5,28	5,68
2003	5,97	5,93	10,97	6,37	4,54	3,81	2,69	4,54	2,33	4,06	6,27	5,07
2004	7,39	8,16	8,43	4,62	3,83	4,57	1,63	1,75	2,33	5,47	5,54	5,60
2005	5,64	7,50	6,91	4,16	2,51	0,46	1,14	2,53	3,28	5,28	5,50	4,79
2006	6,14	8,06	7,75	6,46	4,31	1,67	0,60	1,06	3,12	4,87	4,35	5,15
2007	5,96	7,99	6,69	7,97	5,25	4,46	1,78	1,61	2,82	5,95	5,15	5,50
2008	6,93	8,66	8,54	6,67	5,28	2,64	1,19	0,50	2,20	5,47	7,58	9,81
2009	10,48	10,16	8,70	7,76	8,83	4,01	1,63	1,39	1,92	3,10	3,10	5,57
2010	6,82	6,51	6,36	5,60	6,93	3,33	4,29	1,84	2,77	4,83	4,37	6,09
2011	4,72	5,08	4,10	9,71	7,45	2,55	2,23	1,66	2,78	5,48	5,30	5,24
2012	4,91	5,20	4,09	7,00	3,54	2,39	3,06	7,82	6,60	7,45	11,34	9,82
2013	11,38	9,82	7,21	6,17	5,79	10,26	3,74	3,50	3,18	7,12	8,18	13,79
2014	9,13	6,68	8,33	6,10	3,63	2,59	3,87	2,96	2,73	2,27	6,61	5,08
2015	11,82	8,95	12,48	7,70	5,81	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.22. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	70,7	81,2	85,5	92,7	96,3	89,7
1981	77,7	78,5	75,0	72,0	73,6	76,4	84,6	81,2	73,9	87,0	73,5	78,4
1982	73,2	51,7	72,9	116,6	68,5	37,1	78,3	70,4	74,7	55,7	87,5	75,4
1983	75,1	56,0	78,8	75,7	62,3	35,2	46,8	50,7	51,0	55,2	92,9	78,0
1984	76,0	76,7	64,2	79,2	63,7	75,0	81,1	33,3	54,9	85,3	87,5	76,7
1985	75,6	77,1	87,1	90,1	73,5	26,0	39,4	64,1	52,2	62,4	95,7	80,9
1986	78,8	98,8	100,0	93,7	53,1	36,3	55,8	48,3	36,7	72,3	100,4	109,6
1987	102,5	103,1	93,3	66,1	52,3	36,3	38,8	34,1	31,6	67,8	66,5	77,5
1988	118,2	107,8	98,2	76,4	51,2	42,7	40,7	32,4	21,4	53,3	85,4	130,0
1989	114,2	119,3	98,3	62,0	71,5	60,6	57,1	23,8	40,9	67,9	113,4	109,0
1990	122,8	98,2	100,2	79,6	54,6	71,8	76,7	49,7	49,6	101,0	149,4	155,7
1991	119,0	113,1	139,1	151,5	110,9	41,3	31,9	29,3	49,7	57,9	97,8	86,1
1992	87,5	108,8	99,4	73,7	44,5	24,9	17,4	17,4	24,8	61,2	110,3	137,7
1993	108,5	112,8	112,4	100,1	55,8	30,5	18,7	29,7	50,6	81,0	85,9	74,0
1994	106,6	107,8	107,8	75,1	65,0	45,0	26,0	23,7	26,2	42,5	84,6	120,1
1995	114,3	106,9	92,6	91,7	74,2	42,4	23,4	27,4	40,5	102,9	133,8	144,8
1996	133,5	96,8	91,1	89,2	84,7	62,3	28,9	31,5	36,0	66,7	76,9	105,6
1997	115,5	109,6	81,5	72,3	74,8	36,4	23,4	64,7	43,2	65,7	81,1	79,9
1998	98,7	116,6	200,9	124,3	58,4	33,5	101,1	130,4	95,9	82,4	151,3	177,8
1999	152,9	141,3	116,8	67,0	61,5	41,1	26,7	44,4	41,0	76,2	112,9	101,3
2000	138,4	109,9	88,3	72,7	70,2	41,8	24,2	26,5	25,3	65,8	124,7	133,5
2001	148,1	144,8	133,5	106,0	81,5	42,1	30,9	43,5	71,3	88,7	90,1	101,7
2002	112,4	108,0	111,0	87,1	72,7	37,8	34,1	27,4	46,8	63,1	70,5	95,6
2003	100,2	99,5	178,2	106,4	77,9	57,7	33,4	78,9	49,9	72,6	104,8	86,1
2004	122,3	134,3	138,5	79,1	66,7	47,2	30,9	34,2	43,4	57,0	92,1	94,4
2005	95,0	124,0	114,8	71,9	94,4	48,3	28,6	43,9	48,6	82,7	92,9	81,7
2006	102,7	132,8	127,9	107,7	74,3	39,8	16,3	18,3	60,2	83,3	74,8	87,3
2007	100,0	131,6	111,4	131,3	87,1	78,8	57,9	33,3	40,5	65,9	87,3	92,8
2008	115,1	142,1	140,3	111,0	89,4	53,3	44,5	31,2	46,3	78,2	125,3	160,0
2009	170,5	165,5	142,7	128,0	144,8	72,0	40,6	42,6	36,0	59,2	55,9	93,9
2010	113,4	135,5	116,1	89,8	106,8	61,9	53,2	40,9	41,2	71,0	101,4	91,6
2011	123,0	123,5	124,1	116,0	141,7	51,1	49,4	29,2	59,3	74,8	95,1	96,7
2012	133,5	126,5	99,9	113,2	87,7	49,8	54,1	108,6	101,9	92,5	126,6	148,3
2013	155,8	160,1	119,5	104,3	108,2	104,5	110,7	77,6	67,8	74,3	98,5	137,4
2014	149,9	113,8	122,1	102,2	63,6	47,3	90,8	66,2	73,4	64,2	106,2	86,1
2015	117,7	106,6	132,5	127,1	129,9	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.23. Serie de tiempo de caudales para la estación "RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO"
con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	-	-	-	-	-	1,47	6,03	5,37	8,12	8,69	9,38
1981	5,26	3,40	3,21	1,83	1,63	3,91	4,52	3,41	2,69	7,31	6,55	5,08
1982	2,69	1,71	1,75	2,05	1,84	2,03	4,95	4,46	2,38	5,77	12,65	3,40
1983	2,47	1,16	2,24	2,71	2,43	2,31	3,14	1,88	2,40	5,09	8,74	4,61
1984	2,28	1,61	1,08	1,76	2,27	2,90	2,14	5,70	4,63	8,40	10,83	5,62
1985	3,61	2,09	4,34	6,35	0,64	1,51	4,44	3,45	4,34	13,83	13,59	7,37
1986	2,72	7,71	2,48	2,31	2,12	4,25	5,87	2,27	7,00	13,68	11,35	9,32
1987	5,14	4,54	3,02	2,08	2,30	2,72	2,72	2,50	2,18	8,35	8,51	3,56
1988	1,98	1,52	1,41	1,49	1,66	1,57	2,16	1,38	2,56	6,78	9,91	4,65
1989	4,73	2,78	1,66	2,22	3,02	2,92	2,52	1,83	3,24	10,27	11,01	6,76
1990	3,37	2,33	2,60	2,58	2,93	3,18	2,93	2,11	3,72	15,84	18,10	13,28
1991	5,96	2,70	3,71	7,59	2,80	3,03	4,50	4,40	6,24	9,75	14,97	6,86
1992	5,88	3,10	3,76	2,72	2,72	3,90	5,27	4,25	2,97	8,32	19,43	12,88
1993	3,89	2,69	3,70	3,72	2,65	3,63	3,78	2,85	3,02	5,59	2,61	2,03
1994	1,78	1,99	2,63	1,97	2,29	4,44	5,21	3,72	1,75	5,08	17,33	10,88
1995	4,53	1,79	2,51	3,23	3,62	3,23	5,03	6,61	6,45	26,30	20,30	9,78
1996	2,90	1,61	1,22	1,46	4,38	2,77	2,77	1,75	3,44	6,24	6,40	5,68
1997	4,60	4,90	2,56	4,27	4,98	4,57	5,40	6,83	3,69	7,86	10,39	5,21
1998	3,38	5,69	9,21	3,86	2,89	3,14	9,06	5,08	4,31	12,87	24,90	14,78
1999	7,86	3,60	2,66	1,98	2,39	1,97	3,11	2,51	2,52	17,42	7,52	3,34
2000	1,90	1,15	1,66	2,23	3,43	2,25	4,88	2,90	1,90	17,08	24,38	16,25
2001	9,31	7,87	4,97	3,22	3,21	2,75	3,48	9,46	6,73	12,48	9,03	6,08
2002	2,28	0,93	4,75	5,64	3,17	2,80	4,48	5,36	11,03	6,57	9,87	11,41
2003	2,92	1,63	6,58	3,63	4,39	3,16	3,99	4,14	3,65	7,98	11,14	6,62
2004	4,59	2,24	2,18	1,79	4,51	2,34	2,28	3,54	3,52	4,79	10,18	3,54
2005	2,62	2,31	1,84	2,56	5,03	2,53	4,35	2,76	5,09	7,90	11,35	9,24
2006	5,82	2,28	3,67	4,94	3,11	2,23	3,72	3,45	4,08	7,06	6,69	3,87
2007	5,28	3,63	3,42	2,87	3,36	3,36	2,28	1,99	3,58	7,58	6,59	5,19
2008	2,34	1,75	1,67	4,30	3,67	3,08	3,83	3,55	5,32	10,62	16,26	14,04
2009	6,13	3,98	2,74	7,13	5,26	5,55	3,47	2,87	3,67	5,98	6,87	12,23
2010	6,15	5,13	3,14	3,21	6,78	3,50	4,77	2,83	3,96	10,70	12,21	7,38
2011	5,14	6,01	2,27	6,87	7,61	3,81	2,91	3,03	4,99	11,58	10,89	7,00
2012	2,86	1,54	4,23	3,38	2,71	3,53	5,04	9,92	6,37	10,68	19,70	18,41
2013	11,91	4,42	2,48	2,42	3,84	10,78	4,84	5,65	5,46	14,92	14,20	14,11
2014	7,01	3,02	3,95	2,22	3,21	6,31	4,70	5,87	7,02	8,92	13,67	7,64
2015	4,03	1,86	5,07	14,43	6,26	-	-	-	-	-	-	-

*meses rellenos en negrita

10.3 Series de precipitación con datos rellenos

Los datos que se encuentran en este anexo son sólo de referencia, se debe tener cuidado con su utilización ya que no se realizó el mismo proceso de comprobación exhaustivo para corroborar la concordancia de las series rellenas con las series observadas, como para el caso de caudales.

Tomar en cuenta que la información de entrada en algunas series es bien baja, por lo que se recomienda, en caso de ser necesario su uso, la elección de estaciones con los mayores números de datos de entrada.

Tabla 10.24. Serie de tiempo de precipitación para la estación "CERRO CASTILLO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	30,0	27,1	66,6	25,5	41,5	7,5	28,7	46,0	21,7	13,4	16,9	26,3
1981	26,0	37,4	19,3	30,7	48,2	56,2	23,1	27,8	11,1	13,9	35,3	11,2
1982	4,9	10,6	29,7	17,9	27,7	6,2	8,1	28,8	19,2	67,4	38,5	0,0
1983	27,0	19,5	62,5	52,0	43,0	20,0	41,0	10,1	9,0	23,5	26,5	9,7
1984	43,5	36,5	14,0	44,0	52,0	22,5	22,0	27,0	9,5	19,0	10,0	15,0
1985	25,5	44,5	80,8	67,0	41,5	13,5	43,1	39,9	3,2	1,7	15,3	12,2
1986	31,4	67,1	14,4	38,8	28,5	84,8	56,8	5,9	1,0	9,7	40,2	11,1
1987	40,4	22,1	4,5	98,0	16,5	47,5	33,3	28,5	8,7	21,6	50,3	16,7
1988	5,0	22,4	29,5	26,0	32,6	44,1	21,0	0,0	7,5	33,0	26,2	2,6
1989	14,2	13,9	4,8	48,5	68,3	50,6	22,4	21,5	6,3	0,6	17,6	49,5
1990	19,2	0,6	62,0	40,0	92,8	71,7	33,7	45,5	24,5	63,0	47,0	52,3
1991	0,3	32,7	63,4	97,3	13,5	37,4	35,5	34,5	26,0	22,7	19,8	19,6
1992	5,7	37,3	24,1	19,4	24,5	2,2	17,1	16,5	23,8	92,9	13,5	75,0
1993	11,1	39,7	51,8	58,8	17,5	8,0	13,0	10,0	11,5	64,0	24,0	32,5
1994	22,0	32,0	28,5	25,5	80,0	19,6	5,1	0,1	22,1	0,2	3,5	17,7
1995	2,5	7,6	33,6	45,0	8,9	66,7	149,7	27,0	3,0	0,1	0,0	0,4
1996	0,9	1,0	3,7	0,9	6,9	1,4	0,8	0,8	0,0	0,7	1,9	2,0
1997	0,4	23,4	19,5	25,8	22,9	14,3	41,8	21,1	45,4	25,5	24,9	1,0
1998	20,2	89,5	51,5	5,0	0,0	0,0	75,8	75,5	23,6	41,0	34,0	40,2
1999	22,8	36,8	24,3	22,7	24,5	16,7	24,6	32,9	34,6	37,4	8,6	97,2
2000	34,6	0,0	26,3	26,0	56,5	34,7	23,4	6,0	3,5	8,0	1,8	31,0
2001	37,9	38,8	54,8	11,7	36,3	38,2	34,1	69,9	69,0	14,1	29,8	32,0
2002	9,5	18,1	124,8	72,7	39,6	7,9	32,4	71,4	39,2	41,6	12,0	27,5
2003	40,3	49,3	112,3	15,6	23,5	11,6	28,7	24,8	6,4	60,2	23,3	15,5
2004	16,4	18,7	62,6	34,2	10,6	20,4	22,6	24,8	29,5	32,3	25,1	29,8
2005	13,9	8,3	17,9	26,5	18,7	27,5	18,4	29,8	23,7	22,2	19,6	16,2
2006	25,7	7,0	44,0	22,0	10,0	10,0	7,5	8,5	3,5	22,0	0,0	13,5
2007	16,0	15,0	12,0	20,0	2,0	0,0	0,0	2,5	10,0	12,5	6,5	1,5
2008	1,0	8,0	12,0	52,5	8,5	20,0	1,3	6,5	28,5	9,5	85,0	2,5
2009	13,5	26,4	84,9	43,7	42,8	39,8	9,4	24,1	22,0	11,8	28,0	4,0
2010	58,0	35,5	29,0	57,0	27,6	39,0	19,0	33,5	37,3	42,7	10,6	23,1
2011	17,3	46,9	30,9	73,6	65,7	20,0	39,9	11,6	24,4	17,3	8,6	4,4
2012	6,8	13,3	61,8	63,8	67,1	58,5	42,6	26,3	0,0	44,1	35,2	49,9
2013	25,2	20,8	8,6	40,6	72,8	96,0	49,5	45,9	13,8	30,1	22,6	50,2
2014	29,6	19,4	37,2	18,5	26,0	54,2	27,9	56,4	36,4	26,2	35,4	43,1
2015	11,4	22,0	41,2	105,0	48,5	78,0	65,2	29,1	9,3			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.25. Serie de tiempo de precipitación para la estación " CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	24,4	22,2	32,2	21,8	25,9	17,3	22,7	27,0	20,9	18,8	19,7	22,0
1981	19,8	24,8	20,3	23,2	27,6	29,6	21,2	22,4	18,2	18,9	24,3	18,2
1982	16,7	18,1	22,9	19,9	9,9	14,3	14,3	23,0	9,1	21,9	17,6	13,2
1983	14,1	11,3	17,3	30,5	23,2	12,1	12,7	10,0	15,7	17,9	29,5	14,3
1984	32,0	16,0	6,0	40,0	12,0	14,0	11,0	13,0	0,0	20,5	6,0	19,0
1985	21,0	55,0	44,0	48,0	13,0	7,0	17,0	39,0	21,0	13,0	0,0	10,0
1986	14,5	6,0	11,0	19,0	17,0	17,0	35,0	14,3	9,0	11,0	39,0	10,0
1987	25,5	45,6	1,7	20,8	13,6	41,6	35,8	11,5	14,3	5,8	18,5	1,2
1988	3,8	13,0	26,0	13,0	15,5	64,5	12,3	0,5	15,0	48,0	25,0	66,0
1989	45,0	5,8	12,0	50,7	67,5	48,4	7,5	30,0	47,0	22,0	11,0	9,0
1990	4,8	16,0	60,9	28,0	26,0	19,0	7,0	18,0	0,0	9,0	9,0	19,0
1991	1,0	10,0	54,0	54,0	20,0	13,5	26,5	30,0	6,0	11,0	14,5	26,8
1992	13,5	27,5	18,0	20,0	10,0	22,0	5,0	4,0	9,0	22,0	0,0	1,5
1993	22,0	26,0	38,0	32,0	3,0	4,0	4,0	10,5	10,0	31,0	10,3	30,5
1994	10,4	3,1	32,0	15,0	29,0	12,8	1,3	0,0	32,0	5,5	22,7	17,1
1995	15,0	17,8	7,5	21,5	23,5	5,0	52,0	19,1	17,0	6,0	14,6	70,5
1996	30,5	21,0	16,0	23,4	39,2	24,7	11,9	24,0	17,5	45,0	35,0	19,1
1997	55,0	33,0	11,0	31,5	36,5	27,9	22,5	2,0	28,0	35,0	46,5	11,0
1998	21,0	60,0	45,5	7,0	31,0	17,5	86,5	15,0	4,0	15,0	6,0	20,0
1999	7,0	14,0	14,0	6,0	15,0	5,0	11,0	17,0	4,0	3,0	4,0	11,0
2000	30,0	1,0	18,9	26,0	11,0	11,0	20,2	25,0	2,0	21,9	24,4	22,5
2001	4,8	91,8	19,7	10,2	11,7	5,5	3,3	42,6	27,0	43,5	45,0	24,0
2002	4,0	7,0	100,0	46,8	45,1	2,5	13,5	12,0	31,5	12,6	0,0	7,6
2003	16,0	32,5	57,5	12,0	40,1	9,8	39,5	12,6	7,4	71,0	2,2	3,5
2004	14,3	7,2	33,5	37,0	30,0	34,0	6,0	14,0	13,7	12,7	40,0	23,0
2005	3,0	2,0	20,3	86,0	15,2	16,0	8,0	24,0	19,3	30,0	18,0	0,0
2006	2,0	9,0	102,0	45,5	5,0	4,0	0,0	9,0	36,0	14,6	3,0	24,0
2007	40,0	14,4	10,1	64,0	11,5	19,2	1,0	33,5	14,5	35,0	0,0	13,0
2008	13,0	15,0	25,0	48,3	45,5	14,0	18,7	29,0	22,0	14,5	90,8	18,0
2009	28,7	37,0	68,3	57,5	44,2	8,5	15,3	8,0	8,0	19,0	33,0	2,0
2010	48,2	18,9	10,0	26,5	25,7	39,1	14,3	29,5	20,1	61,8	11,2	18,8
2011	15,0	43,6	28,5	81,6	43,9	19,7	17,1	16,0	15,5	17,4	4,9	8,4
2012	4,5	17,5	79,5	48,2	53,5	43,0	30,6	12,8	23,2	22,2	21,0	43,2
2013	13,3	18,8	5,1	28,6	41,4	78,2	12,9	35,8	20,3	24,5	11,7	30,6
2014	17,6	10,3	25,1	13,1	23,2	45,3	14,9	31,5	22,3	22,7	30,5	43,1
2015	8,2	14,4	45,6	84,6	33,9	43,6	39,4	41,2	28,4			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.26; Serie de tiempo de precipitación para la estación " GLACIAR TINDALL" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	325,5	326,2	350,6	325,2	335,1	314,1	327,2	337,9	322,9	317,8	319,9	325,7
1981	319,7	332,6	321,4	328,4	339,2	344,1	323,7	326,6	316,3	318,1	331,3	316,4
1982	312,5	316,0	327,8	320,5	297,0	286,9	282,7	330,2	294,9	327,4	316,3	305,2
1983	307,6	300,5	315,7	349,1	330,6	302,5	303,9	297,2	311,7	317,1	346,7	291,1
1984	361,7	342,3	285,7	359,8	318,7	320,1	283,5	315,1	283,5	294,5	316,8	296,1
1985	312,4	358,5	385,3	373,4	353,1	299,7	347,6	346,0	353,2	297,3	293,0	287,8
1986	396,8	364,6	334,1	340,8	315,5	369,8	353,6	292,2	285,7	290,6	353,6	297,2
1987	327,4	353,6	288,6	306,0	295,3	329,9	316,3	296,9	288,6	312,0	318,7	294,5
1988	309,6	304,8	337,7	321,9	336,1	335,5	302,9	293,0	298,1	339,3	335,4	343,8
1989	370,2	306,4	290,6	361,6	352,8	375,7	314,7	308,8	329,6	306,4	303,0	409,8
1990	319,7	297,2	984,3	325,5	348,4	227,6	429,0	275,2	760,9	190,0	185,6	485,4
1991	216,6	628,1	401,3	463,3	236,5	462,2	1,9	53,2	455,5	201,1	351,5	536,3
1992	238,7	10,8	548,5	609,3	620,4	67,2	53,2	53,2	410,2	286,3	214,3	267,5
1993	1180,2	2280,9	384,2	53,2	292,6	293,2	285,4	331,0	324,2	358,0	325,4	53,2
1994	300,6	354,8	305,1	360,4	188,9	465,5	53,2	299,5	53,2	83,8	393,6	294,0
1995	196,6	202,2	305,1	188,9	388,0	34,0	211,0	53,2	100,4	188,9	117,0	56,1
1996	437,8	222,1	364,8	620,4	476,5	45,1	50,6	53,2	117,0	83,8	6,4	321,7
1997	399,1	321,7	133,6	493,1	222,1	128,1	150,2	404,6	316,1	61,7	118,1	459,9
1998	255,3	227,6	211,0	53,2	78,3	321,7	421,2	144,6	53,2	28,5	548,5	448,9
1999	128,1	305,1	211,0	67,2	255,3	205,5	255,3	50,6	238,7	371,4	211,0	172,3
2000	664,6	233,2	465,5	260,8	426,8	294,0	415,7	23,0	111,5	161,2	338,3	437,8
2001	885,9	432,3	183,4	128,1	991,0	150,2	382,5	53,2	155,7	53,2	334,4	341,3
2002	285,0	200,0	310,6	703,3	122,5	285,8	399,1	194,4	487,6	835,0	56,1	554,0
2003	697,8	61,7	1217,8	216,6	525,2	413,5	410,2	117,0	371,4	365,9	227,6	659,1
2004	349,3	554,0	133,6	322,8	319,5	1040,8	266,3	200,0	271,9	327,2	642,5	515,3
2005	310,6	53,2	746,5	565,0	1051,8	271,9	365,9	520,8	288,5	531,9	1101,6	537,4
2006	1415,8	1140,3	294,0	908,0	321,7	675,7	360,4	426,8	521,9	133,6	128,1	377,0
2007	349,3	211,0	559,5	465,5	233,2	277,4	249,7	67,2	736,5	354,8	271,9	438,9
2008	194,4	382,5	327,2	353,7	53,2	277,4	417,9	349,3	155,7	327,2	233,2	288,5
2009	222,1	432,3	288,5	631,4	554,0	349,3	291,1	531,9	319,4	53,2	327,8	99,3
2010	1145,9	344,9	201,1	200,0	66,1	228,7	133,6	194,4	39,5	150,2	222,1	327,2
2011	691,2	454,4	349,3	287,7	152,3	445,6	0,0	39,5	53,2	53,2	18,5	51,2
2012	69,0	327,6	336,1	228,8	389,9	94,5	118,4	119,0	313,8	327,8	342,5	318,2
2013	335,6	358,0	304,1	362,0	342,2	337,9	312,4	412,9	294,9	307,4	317,3	357,9
2014	336,5	287,5	360,6	310,2	324,9	345,8	306,3	319,1	312,9	35,8	317,9	334,2
2015	300,9	297,6	383,6	369,8	356,9	374,3	393,8	310,1	282,4			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.27. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO DICKSON" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980		74,0	106,2	72,7	85,7	58,1	75,3	89,4	69,6	62,9	65,7	73,4
1981	77,9	82,4	67,7	76,9	91,2	97,7	70,8	74,6	61,0	63,3	80,7	61,1
1982	55,9	60,6	76,1	66,5	41,7	30,4	25,7	78,7	39,4	75,6	63,3	50,8
1983	53,5	45,6	62,6	99,8	79,2	47,8	49,4	41,9	58,1	64,1	97,1	35,1
1984	113,9	92,2	29,1	111,7	65,9	66,0	26,6	61,9	26,6	39,0	63,8	40,7
1985	58,8	110,3	140,2	126,9	104,2	44,7	98,1	96,4	104,3	42,1	37,2	31,5
1986	153,0	117,1	83,1	90,5	62,3	122,9	104,8	36,4	29,1	34,6	104,8	41,9
1987	75,6	104,8	32,4	51,8	39,9	78,4	63,3	41,6	32,4	58,4	65,9	39,0
1988	55,8	50,5	87,1	69,4	85,3	84,6	48,3	37,2	43,0	88,9	84,5	93,9
1989	123,3	52,2	34,6	113,7	103,9	129,4	61,5	54,9	78,0	52,2	48,4	167,5
1990	67,1	41,9	106,1	73,5	99,0	132,1	107,1	89,8	76,9	106,6	127,7	51,3
1991	39,0	75,2	188,5	162,6	52,0	71,6	54,4	94,0	63,5	40,3	54,9	60,6
1992	52,2	64,1	58,0	71,6	59,9	32,6	36,9	53,1	68,1	66,8	48,6	61,5
1993	43,6	86,4	138,9	88,0	36,8	32,6	28,8	79,6	72,1	109,7	73,4	84,0
1994	93,3	71,6	96,3	76,5	142,2	39,9	70,1	39,0	32,6	24,9	76,5	88,9
1995	42,1	67,7	73,4	95,0	91,5	45,6	83,1	60,5	77,4	30,1	48,3	57,5
1996	63,7	42,1	60,2	96,4	101,7	53,1	57,1	85,3	59,7	86,0	96,4	74,7
1997	117,7	78,3	59,3	91,5	46,0	34,3	72,5	86,2	80,7	72,5	50,5	42,1
1998	64,6	117,6	112,4	61,1	69,4	37,3	258,8	86,7	55,0	107,9	103,4	99,6
1999	79,6	97,3	46,5	69,0	88,2	32,6	114,9	79,2	86,8	50,9	31,9	133,0
2000	86,8	32,9	44,7	123,3	43,0	44,7	70,8	48,3	65,2	149,8	56,2	87,1
2001	87,5	160,7	129,3	82,7	80,0	55,3	24,0	82,2	86,7	32,3	83,4	91,1
2002	28,4	52,2	132,1	60,2	99,5	29,3	58,4	63,3	57,1	93,7	33,7	28,4
2003	65,0	90,2	138,3	49,1	125,5	47,4	95,5	49,1	48,3	147,2	73,0	51,9
2004	71,2	2,6	95,9	90,6	66,8	99,7	33,7	73,9	83,1	80,9	52,2	74,8
2005	67,8	31,0	123,9	179,6	58,8	104,3	30,6	56,2	95,6	110,5	65,0	49,1
2006	75,5	35,4	158,2	99,7	65,5	30,1	51,3	86,7	95,7	85,8	56,2	111,4
2007	104,3	32,0	120,9	100,0	61,9	114,4	12,1	70,8	18,5	150,8	44,7	53,6
2008	62,4	57,3	40,7	135,5	105,5	83,9	66,4	66,4	59,3	74,7	121,5	69,0
2009	147,6	80,9	149,3	188,5	187,1	33,8	14,3	55,6	65,1	48,1	53,1	69,9
2010	181,4	53,2	55,3	140,3	86,7	64,4	39,8	44,2	44,2	125,6	52,2	66,4
2011	62,3	98,3	114,6	139,8	139,7	78,0	84,8	22,4	62,3	36,7	47,8	24,4
2012	25,0	96,9	105,2	164,3	92,4	92,6	63,5	101,1	75,3	75,2	96,1	68,0
2013	79,3	70,7	51,4	152,3	107,1	145,0	59,0	102,3	23,4	56,6	56,1	135,9
2014	93,6	24,1	115,0	76,5	96,8	109,5	37,3	108,5	62,1	26,0	106,3	80,1
2015	46,4	66,3	198,3	149,5	97,3	123,8	69,7	50,0	15,1			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.28. Serie de tiempo de precipitación para la estación "TORRES DEL PAINE" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	60,0	60,8	90,3	59,6	71,6	46,2	62,0	74,9	56,8	50,6	53,2	60,2
1981	53,0	68,5	55,0	63,5	76,6	82,5	57,9	61,4	48,9	51,0	66,9	49,0
1982	44,3	48,6	62,8	54,0	24,1	11,3	6,0	66,0	21,5	62,5	48,5	34,4
1983	37,5	28,5	47,7	89,9	66,5	31,0	32,8	24,3	42,6	49,5	86,8	16,6
1984	105,8	81,3	9,8	103,4	51,5	53,5	7,0	47,0	7,0	21,0	49,1	23,0
1985	43,5	101,8	135,6	120,6	94,9	27,5	88,0	86,0	95,0	24,5	19,0	12,5
1986	150,1	109,5	71,0	79,4	47,4	116,0	95,5	18,1	9,8	16,0	95,5	24,3
1987	62,5	95,5	13,5	35,5	22,0	65,6	48,5	24,0	13,5	43,0	51,5	21,0
1988	40,0	34,0	75,5	55,5	73,5	72,7	31,6	19,0	25,5	77,5	72,6	83,2
1989	116,5	36,0	16,0	105,6	94,5	123,4	46,5	39,0	65,2	36,0	31,7	166,5
1990	52,8	24,3	97,0	60,1	89,0	126,5	98,1	78,5	64,0	97,6	121,5	35,0
1991	21,0	62,0	190,3	161,0	35,8	58,0	38,5	83,3	48,8	22,5	39,0	45,5
1992	36,0	49,5	42,5	58,0	44,7	0,0	18,6	37,0	54,0	52,5	31,9	46,5
1993	26,2	74,7	134,2	76,5	18,5	0,0	9,5	67,0	58,5	101,1	60,0	72,0
1994	82,5	58,0	85,9	63,5	137,9	22,0	56,2	21,0	0,0	5,0	63,5	77,5
1995	24,5	53,5	60,0	84,5	80,5	28,5	71,0	48,4	64,5	11,0	31,5	42,0
1996	49,0	24,5	45,0	86,0	92,0	37,0	41,5	73,5	44,5	74,3	86,0	61,5
1997	110,2	65,5	44,0	80,5	29,0	15,7	59,0	74,5	68,2	59,0	34,0	24,5
1998	50,0	110,0	104,2	46,1	55,5	19,1	270,0	75,0	39,2	99,0	94,0	89,7
1999	67,0	87,0	29,5	55,0	76,7	0,0	107,0	66,6	75,2	34,5	13,0	127,5
2000	75,2	14,1	27,5	116,5	25,5	27,5	57,0	31,5	50,7	146,5	40,5	75,5
2001	76,0	158,8	123,3	70,5	67,5	39,5	4,0	69,9	75,0	13,4	71,3	80,0
2002	9,0	36,0	126,5	45,0	89,5	10,0	43,0	48,5	41,5	83,0	15,0	9,0
2003	50,5	79,0	133,5	32,5	119,0	30,5	85,0	32,5	31,5	143,6	59,5	19,5
2004	15,0	7,0	91,0	70,5	52,5	83,2	15,0	60,5	71,0	68,5	36,0	74,0
2005	53,0	12,0	90,0	211,5	45,5	95,0	11,5	40,5	85,1	102,0	50,5	32,5
2006	62,4	17,0	156,0	89,8	51,0	11,0	35,0	75,0	85,2	74,0	40,5	103,0
2007	95,0	60,7	83,3	108,0	35,0	111,5	34,0	84,0	13,0	97,5	45,0	48,0
2008	42,5	64,0	30,5	163,7	73,5	117,0	52,0	52,0	44,0	61,5	114,5	55,0
2009	144,0	68,5	91,0	136,1	206,0	32,8	16,6	44,6	65,5	53,0	63,0	43,8
2010	85,5	45,0	48,0	104,5	72,5	39,4	38,0	28,0	52,0	119,1	36,0	52,0
2011	61,1	77,2	69,5	115,5	131,6	68,6	36,0	55,0	63,5	48,5	30,2	19,3
2012	22,0	52,9	86,5	179,0	123,0	79,5	84,1	67,6	41,1	78,5	70,6	53,3
2013	54,9	46,4	31,8	106,1	81,2	132,5	54,1	104,6	23,0	39,3	50,4	97,3
2014	60,5	18,1	116,1	41,5	64,4	96,2	40,5	61,7	53,3	26,3	58,9	74,3
2015	24,3	31,1	103,8	108,4	92,9	164,1	129,5	54,1	18,1			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.29. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO GREY" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	56,2	56,8	79,3	55,9	65,0	45,7	57,7	67,6	53,8	49,0	51,0	56,4
1981	50,8	62,7	52,4	58,9	68,8	73,4	54,6	57,2	47,7	49,3	61,5	47,8
1982	44,2	47,5	58,3	51,6	29,9	20,6	16,7	60,5	28,0	57,9	47,7	37,5
1983	39,7	33,1	47,2	77,9	60,9	35,0	36,3	30,1	43,4	48,5	75,7	24,5
1984	89,5	71,7	19,5	87,8	49,9	51,2	17,5	46,6	17,5	27,7	48,2	29,1
1985	44,1	86,6	111,3	100,3	81,6	32,4	76,5	75,1	81,7	30,2	26,2	21,5
1986	121,8	92,2	64,1	70,3	46,9	97,0	82,0	25,6	19,5	24,0	82,0	30,1
1987	57,9	82,0	22,2	38,3	28,4	60,2	47,7	29,9	22,2	43,7	49,9	27,7
1988	41,5	37,2	67,4	52,8	66,0	65,4	35,4	26,2	31,0	68,9	65,3	73,0
1989	97,3	38,6	24,0	89,4	81,3	102,4	46,3	40,8	59,9	38,6	35,5	133,8
1990	50,9	30,1	83,1	56,2	77,3	104,6	83,9	69,6	59,0	83,6	101,0	37,9
1991	27,7	57,6	151,2	129,8	38,5	54,7	40,4	73,1	48,0	28,8	40,8	45,5
1992	38,6	48,5	43,4	54,7	45,0	26,5	25,9	39,3	51,7	50,7	35,6	46,3
1993	31,5	66,8	110,2	68,2	25,9	26,5	19,3	61,2	55,0	86,1	56,1	64,9
1994	72,5	54,7	75,0	58,7	112,9	28,4	53,4	27,7	26,5	16,0	58,7	68,9
1995	30,2	51,4	56,1	74,0	71,1	33,1	64,1	47,4	59,4	20,4	35,3	43,0
1996	48,1	30,2	45,2	75,1	79,5	39,3	42,6	66,0	44,8	66,6	75,1	57,2
1997	92,7	60,1	44,5	71,1	33,5	23,8	55,4	66,7	62,1	55,4	37,2	30,2
1998	48,8	92,6	88,4	46,0	52,8	26,3	209,3	67,1	41,0	84,6	80,9	77,8
1999	61,2	75,8	33,9	52,5	68,3	26,5	90,4	60,9	67,2	37,5	21,8	105,4
2000	67,2	22,6	32,4	97,3	31,0	32,4	53,9	35,3	49,3	119,2	41,9	67,4
2001	67,8	128,2	102,3	63,8	61,6	41,2	15,3	63,3	67,1	22,1	64,4	70,7
2002	18,9	38,6	104,6	45,2	77,6	19,7	43,7	47,7	42,6	72,9	23,3	18,9
2003	49,2	70,0	109,7	36,1	99,2	34,6	74,4	36,1	35,3	117,1	55,8	26,6
2004	23,3	17,5	78,7	63,8	50,7	73,0	23,3	56,5	64,1	62,3	38,6	66,3
2005	51,0	21,1	78,0	166,6	45,5	81,7	20,7	41,9	74,4	86,8	49,2	36,1
2006	57,9	24,8	126,2	77,9	49,6	20,4	37,9	67,1	74,5	66,3	41,9	87,5
2007	81,7	56,6	73,1	91,1	37,9	93,7	37,2	73,6	21,8	83,5	45,2	47,4
2008	43,4	59,0	34,6	131,8	66,0	97,7	50,3	50,3	44,5	57,2	95,9	52,5
2009	117,4	62,3	78,7	111,6	162,6	36,3	24,5	44,9	60,1	51,0	58,3	44,3
2010	74,7	45,2	47,4	88,6	65,7	41,1	40,1	32,8	50,3	99,2	38,6	50,3
2011	56,9	68,7	63,1	170,7	85,8	62,4	26,5	52,5	58,7	47,7	34,1	20,3
2012	19,6	58,1	65,9	136,9	115,5	49,5	49,8	78,1	45,4	58,3	71,8	49,5
2013	65,5	86,1	36,5	89,8	71,6	67,6	44,1	136,7	28,0	39,5	48,6	86,0
2014	66,3	21,2	88,5	42,1	55,6	74,9	38,5	50,3	44,6	27,0	49,2	64,2
2015	33,5	30,5	109,7	97,0	85,1	101,1	119,1	42,0	16,5			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.30. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO PAINE" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980		42,7	60,4	42,0	49,2	33,9	43,4	51,2	40,3	36,6	38,2	42,4
1981	38,0	47,3	39,2	44,3	52,2	55,7	40,9	43,0	35,6	36,8	46,4	35,6
1982	32,8	35,3	43,9	38,6	25,0	18,7	16,2	45,3	23,7	43,6	36,8	30,0
1983	31,5	27,1	36,4	56,9	45,5	28,3	29,2	25,1	33,9	37,3	55,4	21,3
1984	64,6	52,7	18,0	63,5	38,3	38,3	16,6	36,1	16,6	23,4	37,1	24,4
1985	34,4	62,7	79,1	71,8	59,3	26,6	56,0	55,0	59,4	25,1	22,5	19,3
1986	86,2	66,4	47,7	51,8	36,3	69,6	59,6	22,0	18,0	21,0	59,6	25,1
1987	43,6	59,6	19,8	30,5	23,9	45,1	36,8	24,9	19,8	34,1	38,3	23,4
1988	32,7	29,8	49,9	40,2	48,9	48,6	28,6	22,5	25,6	50,9	48,5	53,7
1989	69,8	30,7	21,0	64,5	59,2	73,2	35,8	32,2	44,9	30,7	28,6	94,1
1990	38,9	25,1	60,4	42,4	56,5	74,7	60,9	51,4	44,3	60,7	72,3	30,2
1991	23,4	43,4	105,7	91,5	30,6	41,4	31,9	53,7	37,0	24,2	32,2	35,3
1992	30,7	37,3	33,9	41,4	35,0	19,9	22,3	31,2	39,5	38,7	28,7	35,8
1993	26,0	49,5	78,4	50,4	22,2	19,9	17,9	45,8	41,7	62,4	42,4	48,2
1994	53,3	41,4	55,0	44,1	80,2	23,9	40,5	23,4	19,9	15,7	44,1	50,9
1995	25,1	39,2	42,4	54,3	52,3	27,1	47,7	35,3	44,6	18,6	28,5	33,6
1996	37,0	25,1	35,1	55,0	57,9	31,2	33,4	48,9	34,9	49,3	55,0	43,1
1997	66,8	45,1	34,6	52,3	27,3	20,9	41,9	49,4	46,4	41,9	29,8	25,1
1998	37,5	66,7	63,9	35,6	40,2	22,5	144,4	49,7	32,3	61,3	58,9	56,8
1999	45,8	55,5	27,6	40,0	50,5	19,9	65,2	45,6	49,8	30,0	19,6	75,2
2000	49,8	20,1	26,6	69,8	25,6	26,6	40,9	28,5	37,9	84,4	32,9	49,9
2001	50,2	90,4	73,1	47,5	46,0	32,4	15,2	47,2	49,7	19,8	47,9	52,1
2002	17,6	30,7	74,7	35,1	56,7	18,1	34,1	36,8	33,4	53,6	20,5	17,6
2003	37,8	51,6	78,1	29,0	71,1	28,1	54,5	29,0	28,5	83,0	42,1	30,6
2004	41,2	3,4	54,8	51,8	38,8	56,9	20,5	42,6	47,7	46,5	30,7	43,2
2005	39,3	19,1	70,2	100,8	34,4	59,4	18,8	32,9	54,6	62,8	37,8	29,0
2006	43,6	21,5	89,0	56,9	38,0	18,6	30,2	49,7	54,6	49,2	32,9	63,3
2007	59,4	19,6	68,5	57,0	36,1	64,9	8,7	41,0	12,2	85,0	26,6	31,5
2008	36,3	33,5	24,4	76,5	60,0	48,2	38,5	38,5	34,6	43,1	68,9	40,0
2009	83,2	46,5	84,1	105,7	104,9	6,5	9,9	22,6	37,8	28,5	31,2	40,5
2010	101,8	31,3	32,4	79,2	49,7	37,4	23,9	26,3	23,7	71,1	30,7	38,5
2011	25,3	56,1	83,5	75,5	88,6	48,1	63,3	22,0	17,4	24,5	13,0	8,3
2012	14,8	35,7	48,6	101,4	82,5	71,3	36,5	38,9	32,3	41,0	59,1	45,6
2013	44,9	67,2	28,1	33,4	51,7	52,6	21,0	107,1	21,4	30,5	21,5	77,2
2014	51,0	16,7	56,7	32,0	45,2	78,4	27,7	64,8	40,3	19,3	56,7	47,9
2015	26,8	38,5	102,0	127,0	63,5	67,6	69,4	30,5	6,5			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.31. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO PEHOE" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	76,0	77,0	110,3	75,6	89,1	60,4	78,3	92,9	72,4	65,4	68,4	76,3
1981	68,4	85,7	70,4	80,0	94,8	101,5	73,6	77,6	63,5	65,8	83,9	63,6
1982	58,2	63,0	79,2	69,2	41,3	28,6	23,3	82,8	38,7	79,3	65,5	51,5
1983	54,6	45,6	64,7	106,5	83,3	48,1	49,9	41,5	59,6	66,5	103,4	33,9
1984	122,3	98,0	27,1	119,9	68,4	68,6	24,3	64,0	24,3	38,2	66,1	40,2
1985	60,5	118,3	151,8	136,9	111,5	44,7	104,6	102,6	111,6	41,7	36,2	29,8
1986	166,2	125,9	87,8	96,1	64,4	132,4	112,1	35,3	27,1	33,3	112,1	41,5
1987	79,3	112,1	30,8	52,6	39,2	82,4	65,5	41,2	30,8	60,0	68,4	38,2
1988	57,0	51,1	92,2	72,4	90,2	89,5	48,7	36,2	42,7	94,2	89,4	99,9
1989	132,9	53,1	33,3	122,1	111,1	139,7	63,5	56,1	82,0	53,1	48,8	182,4
1990	69,7	41,5	113,5	77,0	105,6	142,8	114,6	95,2	80,8	114,1	137,8	52,1
1991	38,2	78,9	206,0	177,0	52,9	74,9	55,6	100,0	65,8	39,7	56,1	62,5
1992	53,1	66,5	59,5	74,9	61,7	31,5	35,8	54,1	70,9	69,4	49,0	63,5
1993	43,4	91,4	150,4	93,2	35,7	31,5	26,8	83,8	75,4	117,6	76,9	88,8
1994	99,2	74,9	102,5	80,3	154,1	39,2	73,1	38,2	31,5	22,4	80,3	94,2
1995	41,7	70,4	76,9	101,2	97,2	45,6	87,8	62,9	81,3	28,3	48,6	59,0
1996	66,0	41,7	62,0	102,6	108,6	54,1	58,5	90,2	61,5	91,0	102,6	78,4
1997	126,6	82,3	61,0	97,2	46,1	33,0	75,9	91,2	85,0	75,9	51,1	41,7
1998	67,0	126,4	120,7	63,1	72,4	36,3	285,0	91,7	56,3	115,5	110,6	106,3
1999	83,8	103,6	46,6	71,9	93,4	31,5	123,5	83,4	91,9	51,6	30,3	143,8
2000	91,9	31,4	44,7	132,9	42,7	44,7	73,9	48,6	67,7	162,6	57,5	92,2
2001	92,7	174,8	139,6	87,3	84,3	56,5	21,4	86,7	91,7	30,7	88,1	96,7
2002	26,3	53,1	142,8	62,0	106,1	27,3	60,0	65,5	58,5	99,7	32,3	26,3
2003	67,5	95,7	149,7	49,6	135,3	47,6	101,6	49,6	48,6	159,7	76,4	36,7
2004	32,3	24,3	107,6	87,3	69,4	99,9	32,3	77,4	87,8	85,3	53,1	90,7
2005	69,9	29,3	106,6	227,0	62,5	111,6	28,8	57,5	101,7	118,5	67,5	49,6
2006	79,2	34,2	172,0	106,4	67,9	28,3	52,1	91,7	101,8	90,7	57,5	119,5
2007	111,6	77,6	100,0	124,4	52,1	127,9	51,1	100,7	30,3	114,0	62,0	65,0
2008	59,5	80,8	47,6	179,7	90,2	133,4	68,9	68,9	61,0	78,4	130,9	71,9
2009	160,1	85,3	107,6	152,3	221,6	49,9	33,9	61,6	82,3	69,9	79,8	60,8
2010	102,1	62,0	65,0	121,0	90,1	56,5	55,1	45,2	68,9	135,4	53,1	68,9
2011	78,0	96,2	86,3	133,3	133,1	62,3	113,6	36,7	64,2	42,9	41,9	18,0
2012	22,2	85,4	81,9	164,9	130,6	121,5	108,8	85,2	80,5	101,2	109,5	57,8
2013	63,9	66,1	37,6	141,0	101,7	178,5	68,4	147,8	40,2	0,0	67,4	113,8
2014	48,1	26,1	118,8	70,2	92,3	119,9	55,9	118,5	80,8	55,2	87,0	96,1
2015	58,1	42,8	161,6	128,7	113,5	174,3	119,3	57,2	35,3			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.32. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGO SARMIENTO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	30,9	28,4	59,1	27,1	39,6	13,1	29,6	43,1	24,2	17,7	20,4	27,7
1981	27,6	36,4	22,3	31,2	44,8	51,0	25,3	28,9	15,9	18,1	34,8	16,0
1982	11,1	15,5	30,4	21,2	28,8	12,1	13,6	29,7	22,2	59,7	37,2	13,0
1983	28,3	22,4	55,9	47,8	40,7	22,8	39,2	15,1	14,3	25,6	27,9	14,8
1984	41,1	35,7	18,2	41,5	47,8	24,8	24,4	28,3	14,7	22,1	15,0	18,9
1985	27,1	41,9	70,2	59,4	39,6	17,8	40,8	38,3	9,8	8,6	19,2	16,8
1986	31,7	59,5	18,5	37,5	29,5	73,3	51,5	11,9	8,0	14,8	38,6	15,9
1987	38,7	24,5	10,8	83,6	20,1	44,3	33,2	29,5	14,0	24,1	46,4	19,9
1988	11,2	24,6	30,5	27,6	33,1	41,6	23,6	13,0	13,1	33,0	27,7	9,3
1989	18,3	18,1	11,0	45,0	60,4	46,7	24,7	24,0	12,2	7,7	21,0	45,8
1990	22,2	7,7	55,5	38,4	79,5	63,1	33,5	42,7	26,3	56,3	43,9	48,0
1991	7,5	32,7	56,6	83,0	17,8	36,4	34,9	34,1	27,5	24,9	22,7	22,5
1992	11,7	36,3	26,0	22,4	26,3	9,0	20,6	20,1	25,8	79,6	17,8	65,7
1993	15,9	38,2	47,6	53,1	20,9	13,5	17,4	15,0	16,2	57,1	26,0	32,6
1994	24,4	32,2	29,5	27,1	69,6	22,5	11,2	7,3	24,5	7,4	10,0	21,0
1995	9,2	13,2	33,4	42,3	14,2	59,2	123,8	28,3	9,6	7,3	13,0	7,6
1996	8,0	8,0	10,1	8,0	12,6	8,4	7,9	7,9	13,0	7,8	8,7	8,8
1997	7,6	25,5	22,4	27,4	25,1	18,4	39,8	23,7	42,6	27,1	26,7	8,0
1998	23,0	77,0	47,4	11,2	13,0	13,0	66,3	66,1	25,6	39,2	33,7	38,6
1999	25,0	35,9	26,2	24,9	26,4	20,0	26,5	33,3	34,7	37,0	14,0	86,1
2000	34,7	13,0	27,9	27,5	52,6	34,3	25,5	11,9	10,0	13,5	8,7	31,4
2001	36,8	37,5	49,9	16,4	35,5	37,0	33,8	61,7	61,0	18,2	30,5	32,2
2002	14,7	21,4	104,4	63,9	38,1	13,4	32,5	64,9	37,8	39,7	16,6	28,7
2003	38,6	45,7	94,7	19,4	25,6	16,3	29,8	26,6	12,2	54,1	25,4	19,3
2004	20,0	21,8	56,0	33,9	15,5	23,1	24,9	26,6	30,2	32,7	26,8	30,7
2005	18,1	13,7	21,2	27,9	21,8	28,7	21,4	30,5	25,7	24,5	22,5	19,9
2006	27,3	12,7	41,5	24,4	15,0	15,0	13,1	13,9	10,0	24,4	13,0	17,8
2007	19,7	18,9	16,6	22,8	8,8	13,0	13,0	9,2	15,0	17,0	12,3	8,4
2008	8,0	13,5	16,6	48,1	13,9	22,8	8,3	12,3	29,5	14,7	73,5	9,2
2009	17,8	27,9	73,4	42,2	41,4	38,3	14,6	26,0	24,4	16,5	29,1	10,4
2010	52,4	34,9	29,8	51,6	28,6	30,1	33,0	32,8	19,2	40,5	15,5	25,3
2011	20,7	43,8	25,8	65,4	71,6	37,3	59,4	32,6	20,8	19,2	3,3	8,1
2012	5,9	25,2	52,7	79,9	60,8	41,2	28,9	22,3	23,8	42,2	30,3	43,0
2013	46,7	28,7	15,8	66,4	48,6	90,4	24,9	45,8	15,1	32,8	20,6	65,6
2014	36,7	14,0	57,0	19,1	20,4	44,7	29,9	34,6	23,4	22,7	22,6	26,2
2015	22,9	20,6	51,4	107,7	45,1	50,2	63,8	16,5	11,1			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.33. Serie de tiempo de precipitación para la estación "LAGUNA AZUL" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	35,4	30,7	52,9	29,8	38,8	19,7	31,6	41,3	27,7	23,0	25,0	30,2
1981	25,3	36,5	26,3	32,7	42,5	47,0	28,4	31,1	21,7	23,3	35,3	21,8
1982	18,2	21,4	32,2	25,5	3,3	13,0	13,0	32,4	1,5	30,0	20,3	10,4
1983	12,6	6,3	19,7	49,1	32,8	8,1	9,3	3,4	16,2	21,0	46,9	13,0
1984	60,1	43,1	13,0	58,5	22,3	25,0	13,0	19,2	13,0	1,1	20,7	2,5
1985	16,8	57,4	80,9	70,4	52,6	5,6	47,8	46,4	52,6	3,6	13,0	13,0
1986	91,0	62,7	35,9	41,8	19,5	67,2	53,0	13,0	13,0	13,0	53,0	3,4
1987	30,0	53,0	13,0	11,2	1,8	32,2	20,3	3,2	13,0	16,4	22,3	1,1
1988	14,3	10,2	39,0	25,1	37,7	37,1	8,5	13,0	4,2	40,4	37,0	44,4
1989	67,6	11,6	13,0	60,0	52,3	72,4	18,9	13,6	31,9	11,6	8,6	102,4
1990	23,3	3,4	54,0	28,3	48,4	74,5	54,8	41,1	31,0	54,4	71,1	10,9
1991	1,1	29,7	119,0	98,6	11,4	26,9	13,3	44,5	20,5	2,2	13,6	18,2
1992	11,6	21,0	16,1	26,9	17,6	13,0	13,0	12,3	24,1	23,0	8,7	18,9
1993	4,7	38,5	79,9	39,7	13,0	13,0	13,0	33,1	27,2	56,9	28,3	36,6
1994	43,9	26,9	46,3	30,7	82,5	1,8	25,6	1,1	13,0	13,0	30,7	40,4
1995	3,6	23,7	28,3	45,3	42,5	6,3	35,9	23,8	31,4	13,0	8,4	15,7
1996	20,6	3,6	17,8	46,4	50,5	12,3	15,4	37,7	17,5	38,2	46,4	29,3
1997	63,2	32,1	17,1	42,5	6,7	13,0	27,6	26,0	34,0	27,6	10,2	9,0
1998	38,5	125,5	69,5	19,0	25,1	13,0	215,0	38,7	35,5	45,6	8,0	27,0
1999	24,0	35,0	14,0	47,5	30,5	13,0	66,1	35,0	38,8	10,5	13,0	57,2
2000	63,0	13,0	28,0	67,6	4,2	5,6	26,2	8,4	0,0	88,5	19,0	39,0
2001	12,5	97,0	25,0	35,6	33,5	14,0	13,0	35,2	38,7	13,0	36,1	42,2
2002	8,0	11,6	74,5	17,8	15,5	0,0	0,0	12,0	37,0	44,3	13,0	10,0
2003	13,9	33,2	79,4	9,1	69,3	7,7	45,7	9,1	8,4	86,4	27,9	0,1
2004	13,0	13,0	49,8	35,6	23,0	44,4	13,0	28,6	35,9	34,2	11,6	38,0
2005	23,4	13,0	49,1	133,7	18,2	52,6	13,0	14,7	45,7	57,5	21,6	9,1
2006	29,9	13,0	95,1	49,0	22,0	13,0	10,9	38,7	45,8	38,0	14,7	58,2
2007	52,6	28,7	44,5	61,7	10,9	64,1	10,2	45,0	13,0	54,4	17,8	19,9
2008	16,1	31,0	7,7	100,4	37,7	67,9	22,7	22,7	17,1	29,3	66,2	24,8
2009	86,7	34,2	49,8	81,2	129,9	9,3	13,0	17,5	32,1	23,4	30,3	17,0
2010	46,0	17,8	19,9	59,2	35,1	13,9	12,9	6,0	22,7	69,4	11,6	22,7
2011	29,0	40,2	34,9	66,9	78,1	34,2	11,6	24,8	30,7	20,3	7,5	13,0
2012	1,8	23,3	46,7	111,1	72,1	41,8	45,0	33,6	15,1	41,1	35,6	23,6
2013	24,7	18,8	8,6	60,3	43,0	78,7	24,2	59,3	2,5	13,9	21,6	54,2
2014	28,6	13,0	67,3	24,2	31,3	53,5	14,7	29,4	23,6	4,8	27,5	38,2
2015	3,4	8,1	58,7	61,9	51,2	100,7	76,6	24,2	13,0			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.34. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	20,7	19,6	33,4	19,0	24,6	12,7	20,1	26,2	17,7	14,8	16,0	19,3
1981	19,2	23,2	16,8	20,8	26,9	29,7	18,2	19,8	14,0	14,9	22,4	14,0
1982	11,8	13,8	20,5	16,3	19,8	12,3	12,9	20,2	16,8	33,7	23,6	12,7
1983	19,5	16,9	31,9	28,3	25,1	17,1	24,4	13,6	13,2	18,3	19,4	13,5
1984	25,3	22,9	15,0	25,5	28,3	18,0	17,8	19,5	13,4	16,7	13,6	15,3
1985	19,0	25,6	38,3	33,5	24,6	14,8	25,2	24,0	11,2	10,7	15,4	14,3
1986	21,1	33,6	15,1	23,7	20,1	39,7	30,0	12,1	10,4	13,5	24,1	14,0
1987	24,2	17,8	11,7	44,4	15,9	26,7	21,7	20,1	13,1	17,6	27,7	15,8
1988	11,8	17,9	20,5	19,2	21,7	25,5	17,4	12,7	12,7	21,6	19,2	11,0
1989	15,0	14,9	11,8	27,0	34,0	27,8	17,9	17,6	12,3	10,3	16,2	27,4
1990	16,8	10,3	31,8	24,1	42,5	35,2	21,9	26,0	18,7	32,1	26,5	28,4
1991	10,2	21,5	32,3	44,1	14,8	23,2	22,5	22,2	19,2	18,0	17,0	16,9
1992	12,1	23,1	18,5	16,9	18,7	10,9	16,1	15,9	18,4	42,6	14,8	36,3
1993	14,0	24,0	28,2	30,7	16,2	12,9	14,6	13,6	14,1	32,5	18,5	21,5
1994	17,8	21,3	20,1	19,0	38,1	16,9	11,9	10,1	17,8	10,2	11,3	16,3
1995	11,0	12,7	21,8	25,8	13,2	33,4	62,5	19,5	11,1	10,1	12,7	10,2
1996	10,4	10,4	11,4	10,4	12,5	10,6	10,4	10,4	12,7	10,3	10,7	10,8
1997	10,2	18,3	16,9	19,1	18,1	15,1	24,7	17,5	26,0	19,0	18,8	10,4
1998	17,1	41,4	28,1	11,8	12,7	12,7	36,6	36,5	18,3	24,4	22,0	24,1
1999	18,0	23,0	18,6	18,0	18,7	15,8	18,7	21,8	22,4	23,4	13,1	45,5
2000	22,4	12,7	19,3	19,2	30,5	22,2	18,3	12,2	11,3	12,9	10,7	20,9
2001	23,3	23,7	29,3	14,2	22,8	23,4	22,0	34,5	34,2	15,0	20,5	21,3
2002	13,4	16,4	53,7	35,5	23,9	12,8	21,4	36,0	23,8	24,6	14,3	19,7
2003	24,2	27,3	49,4	15,5	18,3	14,1	20,2	18,8	12,3	31,1	18,2	15,5
2004	15,8	16,6	32,0	22,0	13,8	17,2	18,0	18,8	20,4	21,5	18,9	20,6
2005	6,2	1,5	37,1	62,1	10,4	14,4	6,9	22,7	18,4	35,3	9,0	4,0
2006	19,1	12,5	25,5	17,8	13,6	13,6	12,7	13,1	11,3	17,8	12,7	14,8
2007	15,7	13,9	10,4	33,1	8,8	11,0	4,5	27,1	13,6	14,5	8,9	2,6
2008	10,4	1,2	23,1	35,2	13,1	26,0	17,5	12,4	15,4	16,6	25,1	5,8
2009	18,3	25,1	20,4	33,9	42,7	3,2	5,0	15,7	15,2	12,0	15,4	0,3
2010	31,9	11,3	7,9	32,2	16,9	13,4	12,3	25,4	14,3	44,0	12,4	13,8
2011	11,2	33,3	17,0	37,6	29,4	15,1	22,0	19,3	49,4	22,7	8,6	12,1
2012	3,5	14,7	48,9	37,2	33,4	57,4	18,9	9,5	42,3	22,3	20,2	45,6
2013	14,7	13,3	7,3	22,3	37,9	57,3	14,0	27,5	12,5	23,7	7,3	36,3
2014	16,0	11,4	24,3	11,1	12,3	29,0	15,2	18,6	26,1	13,0	18,1	23,3
2015	11,1	11,4	25,8	65,1	28,8	29,4	35,6	27,9	11,5			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.35. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	64,6	59,2	110,4	57,1	77,8	33,8	61,2	83,7	52,2	41,4	45,9	58,1
1981	58,4	72,5	49,1	63,8	86,5	96,9	54,0	60,1	38,4	42,1	69,8	38,5
1982	30,4	37,8	62,5	47,2	59,9	32,1	34,5	61,4	48,9	111,4	73,9	27,7
1983	59,0	49,3	105,1	91,5	79,8	50,0	77,2	37,1	35,7	54,5	58,4	36,6
1984	80,4	71,4	42,2	81,1	91,5	53,2	52,6	59,0	36,3	48,7	37,0	43,5
1985	57,1	81,7	128,8	110,9	77,8	41,5	79,9	75,8	28,2	26,2	43,9	39,8
1986	64,7	111,0	42,7	74,3	61,0	134,0	97,7	31,7	25,3	36,6	76,2	38,4
1987	76,4	52,7	29,9	151,1	45,4	85,6	67,2	61,0	35,3	52,0	89,3	42,1
1988	30,5	49,2	71,8	60,9	70,7	81,2	51,3	27,7	33,8	66,8	58,0	27,4
1989	42,4	42,1	30,2	86,9	112,6	89,6	53,1	51,9	32,2	24,8	46,8	88,2
1990	48,9	24,8	104,4	75,9	144,4	117,0	67,7	83,0	55,8	105,7	85,0	91,8
1991	24,4	66,4	106,2	150,2	41,5	72,5	70,1	68,8	57,7	53,5	49,7	49,4
1992	31,4	72,4	55,3	49,2	55,8	26,9	46,2	45,4	54,9	144,5	41,5	121,3
1993	38,4	75,5	91,2	100,3	46,7	34,4	40,9	37,0	38,9	107,0	55,1	66,2
1994	52,6	65,5	61,0	57,1	127,8	49,4	30,6	24,2	52,7	24,3	28,6	47,0
1995	27,3	33,9	67,6	82,4	35,6	110,5	218,1	59,0	27,9	24,2	27,7	24,5
1996	25,2	25,3	28,8	25,2	33,0	25,8	25,1	25,1	27,7	24,9	26,5	26,6
1997	24,5	66,3	49,3	57,5	53,7	42,6	78,2	51,4	82,9	57,1	56,3	25,3
1998	50,2	140,1	90,8	30,5	27,7	27,7	122,3	121,9	54,6	77,2	68,1	76,2
1999	67,2	71,7	46,7	60,6	72,4	38,1	88,9	66,9	71,6	49,5	35,2	100,1
2000	71,6	27,7	45,7	57,7	44,6	69,0	54,4	31,8	28,6	34,4	26,4	64,2
2001	73,2	74,3	95,1	39,2	71,1	73,6	68,2	114,7	113,5	42,3	62,7	65,5
2002	36,3	47,5	185,9	118,3	75,4	34,3	66,0	57,1	74,9	78,0	39,6	59,7
2003	76,3	88,0	169,6	44,3	54,5	39,1	77,0	56,2	32,3	102,1	54,2	44,1
2004	45,3	48,3	105,2	68,4	37,8	50,5	53,3	56,2	62,3	68,0	56,6	64,2
2005	27,5	15,6	105,7	168,9	38,1	48,3	29,3	69,3	54,8	101,1	34,6	22,0
2006	57,4	33,1	81,1	52,6	37,0	37,0	33,8	35,0	28,6	52,6	27,7	41,5
2007	44,8	47,0	34,1	56,1	18,6	52,7	10,3	57,2	10,2	57,9	12,0	11,6
2008	22,9	14,9	25,4	70,7	57,5	39,3	52,8	22,0	20,7	25,7	55,4	17,9
2009	66,7	47,7	56,0	81,7	98,3	18,4	9,4	39,4	33,8	26,5	27,1	14,2
2010	84,2	20,2	12,4	55,2	36,4	28,1	27,1	28,7	18,9	123,1	43,2	46,7
2011	40,2	96,1	58,1	147,2	101,1	79,1	119,6	108,6	62,8	46,0	16,8	20,6
2012	21,0	69,8	96,1	180,3	161,4	145,3	135,7	82,3	88,2	83,4	93,7	111,1
2013	69,5	40,1	30,4	146,0	143,6	280,2	69,4	176,3	67,3	78,3	55,4	159,8
2014	58,8	29,2	100,2	61,3	16,8	92,9	57,2	113,6	92,0	44,6	122,4	87,2
2015	33,8	50,3	68,7	121,4	45,5	93,9	64,9	19,4	6,8			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.36. Serie de tiempo de precipitación para la estación " RIO RINCON EN_RUTA Y290" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	100,2	100,2	102,7	100,1	101,1	99,0	100,3	101,4	99,9	99,4	99,6	100,2
1981	99,6	100,9	99,7	100,5	101,5	102,0	100,0	100,3	99,2	99,4	100,7	99,2
1982	98,9	99,2	100,4	99,7	97,3	96,3	95,8	100,6	97,1	100,4	99,2	98,1
1983	98,4	97,6	99,2	102,5	100,7	97,8	98,0	97,3	98,8	99,3	102,3	96,7
1984	103,8	101,9	96,2	103,6	99,5	99,6	95,9	99,1	95,9	97,0	99,3	97,2
1985	98,8	103,5	106,2	105,0	102,9	97,6	102,4	102,2	102,9	97,3	96,9	96,4
1986	107,3	104,1	101,0	101,7	99,2	104,6	103,0	96,8	96,2	96,6	103,0	97,3
1987	100,4	103,0	96,4	98,2	97,1	100,6	99,2	97,3	96,4	98,8	99,5	97,0
1988	98,6	98,1	101,4	99,8	101,2	101,2	97,9	96,9	97,4	101,6	101,2	102,0
1989	104,7	98,2	96,6	103,8	102,9	105,2	99,1	98,5	100,6	98,2	97,9	108,6
1990	99,6	97,3	166,5	100,2	102,5	90,3	110,6	95,1	144,0	86,5	86,1	116,3
1991	89,2	130,6	107,8	114,0	91,2	113,9	67,6	72,8	113,3	87,6	102,8	121,4
1992	91,4	68,5	122,6	128,7	129,8	74,2	72,8	72,8	108,7	96,2	89,0	94,3
1993	186,2	297,0	106,1	72,8	96,8	96,9	96,1	100,7	100,0	103,4	100,2	72,8
1994	97,7	103,1	98,1	103,7	86,4	114,3	72,8	97,5	72,8	75,8	107,0	97,0
1995	87,2	87,7	98,1	86,4	106,5	70,8	88,6	72,8	77,5	86,4	79,2	73,0
1996	111,5	89,8	104,1	129,8	115,4	71,9	72,5	72,8	79,2	75,8	68,0	99,8
1997	107,6	99,8	80,8	117,0	89,8	80,3	82,5	108,1	99,2	73,6	79,3	113,7
1998	93,1	90,3	88,6	72,8	75,3	99,8	109,8	82,0	72,8	70,3	122,6	112,6
1999	80,3	98,1	88,6	74,2	93,1	88,1	93,1	72,5	91,4	104,8	88,6	84,7
2000	134,3	90,9	114,3	93,6	110,4	97,0	109,2	69,7	78,6	83,6	101,4	111,5
2001	156,6	110,9	85,9	80,3	167,2	82,5	105,9	72,8	83,1	72,8	101,1	101,8
2002	96,1	87,5	98,7	138,2	79,7	96,2	107,6	87,0	116,5	151,5	73,0	123,2
2003	137,6	73,6	190,0	89,2	120,3	109,0	108,7	79,2	104,8	104,2	90,3	133,7
2004	102,6	123,2	80,8	99,9	99,6	172,2	94,2	87,5	94,8	100,3	132,1	119,3
2005	98,7	72,8	142,5	124,3	173,3	94,8	104,2	119,8	96,4	120,9	178,3	121,5
2006	209,9	182,2	97,0	158,8	99,8	135,4	103,7	110,4	119,9	80,8	80,3	105,3
2007	102,6	88,6	123,7	114,3	90,9	95,3	92,5	74,2	141,5	103,1	94,8	111,6
2008	87,0	105,9	100,3	103,0	72,8	95,3	109,5	102,6	83,1	100,3	90,9	96,4
2009	89,8	110,9	96,4	131,0	123,2	102,6	96,7	120,9	99,6	72,8	100,4	77,4
2010	166,6	33,4	87,6	210,2	158,8	174,6	80,8	71,8	92,1	82,5	43,5	152,2
2011	137,0	113,1	72,4	96,4	82,7	112,2	38,6	3,9	72,8	15,4	5,4	1,0
2012	2,6	5,2	90,2	266,0	199,4	187,2	79,3	79,4	99,0	75,4	62,6	5,0
2013	101,2	14,2	18,9	103,8	84,6	188,2	163,0	198,0	30,2	98,3	61,9	59,9
2014	8,5	96,3	103,7	98,6	100,1	153,0	72,6	182,0	105,0	79,6	279,8	108,9
2015	25,8	47,8	106,0	77,2	103,3	105,1	107,0	136,6	112,8			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.37. Serie de tiempo de precipitación para la estación "RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	131,0	131,1	132,2	131,0	131,5	130,5	131,1	131,6	130,9	130,7	130,8	131,1
1981	130,8	131,4	130,9	131,2	131,7	131,9	131,0	131,1	130,6	130,7	131,3	130,6
1982	130,4	130,6	131,2	130,8	129,7	129,2	129,0	131,3	129,6	131,1	130,6	130,1
1983	130,2	129,9	130,6	132,2	131,3	130,0	130,0	129,7	130,4	130,7	132,1	129,4
1984	132,8	131,8	129,2	132,7	130,7	130,8	129,0	130,6	129,0	129,6	130,6	129,7
1985	130,4	132,6	133,9	133,3	132,4	129,8	132,1	132,0	132,4	129,7	129,5	129,3
1986	134,4	132,9	131,5	131,8	130,6	133,2	132,4	129,5	129,2	129,4	132,4	129,7
1987	131,1	132,4	129,3	130,1	129,6	131,3	130,6	129,7	129,3	130,4	130,7	129,6
1988	130,3	130,1	131,6	130,9	131,6	131,5	130,0	129,5	129,7	131,7	131,5	131,9
1989	133,2	130,1	129,4	132,8	132,3	133,4	130,5	130,3	131,2	130,1	130,0	135,1
1990	130,8	129,7	162,4	131,0	132,1	126,4	136,0	128,7	151,7	124,6	124,4	138,7
1991	125,9	145,4	134,7	137,6	126,8	137,5	115,7	118,1	137,2	125,1	132,3	141,1
1992	126,9	116,1	141,6	144,5	145,1	118,8	118,1	118,1	135,1	129,2	125,8	128,3
1993	171,7	224,0	133,8	118,1	129,5	129,5	129,1	131,3	131,0	132,6	131,0	118,1
1994	129,9	132,4	130,1	132,7	124,6	137,7	118,1	129,8	118,1	119,6	134,3	129,6
1995	124,9	125,2	130,1	124,6	134,0	117,2	125,6	118,1	120,3	124,6	121,1	118,2
1996	136,4	126,1	132,9	145,1	138,2	117,7	118,0	118,1	121,1	119,6	115,9	130,9
1997	134,5	130,9	121,9	139,0	126,1	121,7	122,7	134,8	130,6	118,5	121,2	137,4
1998	127,7	126,4	125,6	118,1	119,3	130,9	135,6	122,5	118,1	116,9	141,6	136,9
1999	121,7	130,1	125,6	118,8	127,7	125,3	127,7	118,0	126,9	133,2	125,6	123,8
2000	147,2	126,7	137,7	128,0	135,9	129,6	135,3	116,7	120,9	123,2	131,7	136,4
2001	157,7	136,1	124,3	121,7	162,7	122,7	133,8	118,1	123,0	118,1	131,5	131,8
2002	129,1	125,1	130,3	149,0	121,4	129,2	134,5	124,8	138,8	155,3	118,2	141,9
2003	148,7	118,5	173,5	125,9	140,5	135,2	135,1	121,1	133,2	133,0	126,4	146,9
2004	132,2	141,9	121,9	130,9	130,8	165,1	128,2	125,1	128,5	131,1	146,1	140,1
2005	130,3	118,1	151,1	142,4	165,6	128,5	133,0	140,3	129,3	140,9	167,9	141,1
2006	182,9	169,8	129,6	158,7	130,9	147,7	132,7	135,9	140,4	121,9	121,7	133,5
2007	132,2	125,6	194,1	272,8	225,2	225,1	93,0	84,0	47,9	132,5	128,5	136,4
2008	124,8	133,8	131,1	132,4	14,7	128,8	135,4	132,2	62,1	217,7	216,9	172,9
2009	284,0	178,6	208,5	44,1	141,9	132,2	163,7	162,1	106,3	158,3	173,1	41,5
2010	170,1	132,0	125,1	125,1	118,7	160,1	78,7	108,1	99,5	137,3	83,6	195,5
2011	113,0	144,0	132,9	336,4	228,6	109,7	98,2	117,5	109,2	82,1	113,8	42,2
2012	136,0	158,6	123,9	291,6	195,3	200,7	121,2	145,2	179,0	172,4	217,7	124,0
2013	178,6	147,7	37,0	177,0	125,4	2,7	17,8	82,5	12,4	57,6	74,2	39,2
2014	131,6	0,0	132,7	135,4	126,8	161,8	22,3	80,2	50,2	39,7	92,5	118,9
2015	30,4	69,4	99,1	82,2	98,5	217,5	296,2	102,7	157,9			

*meses rellenos en negrita

10.4 Series de temperatura con datos rellenos

Los datos que se encuentran en este anexo son sólo de referencia, se debe tener cuidado con su utilización ya que no se realizó el mismo proceso de comprobación exhaustivo para corroborar la concordancia de las series rellenas con las series observadas, como para el caso de caudales.

Tomar en cuenta que la información de entrada en algunas series es bien baja, por lo que se recomienda, en caso de ser necesario su uso, la elección de estaciones con los mayores números de datos de entrada.

Tabla 10.38. Serie de tiempo de temperatura para la estación "CERRO CASTILLO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	12,9	11,3	10,1	5,3	4,6	2,7	1,2	4,3	6,3	8,1	8,5	10,9
1981	12,1	11,4	10,0	7,3	4,1	2,5	2,7	4,6	5,6	8,8	9,6	11,0
1982	13,4	10,5	9,7	7,7	5,1	-1,2	-1,6	3,5	6,2	7,8	10,4	11,7
1983	13,1	11,6	10,8	7,8	4,7	2,2	2,3	4,6	5,7	8,2	10,4	13,2
1984	12,3	11,1	10,7	7,5	2,3	-0,7	0,4	3,1	7,5	7,5	10,9	13,3
1985	13,3	13,0	9,9	7,1	4,5	3,3	3,0	4,5	6,0	8,0	10,7	11,7
1986	11,9	10,7	8,9	6,0	5,1	1,0	2,5	3,5	5,6	8,8	9,4	11,3
1987	12,9	12,3	10,5	8,7	4,4	4,1	2,6	3,2	5,9	8,8	11,0	11,1
1988	11,8	13,4	9,9	7,3	4,8	2,6	1,5	3,1	6,9	7,8	10,1	10,1
1989	11,4	12,3	10,1	6,8	5,4	2,7	1,7	3,1	6,0	9,1	10,2	9,7
1990	11,1	13,5	10,5	6,5	4,7	3,5	3,6	3,9	5,8	8,4	8,4	10,9
1991	11,7	11,5	9,5	7,6	3,8	0,8	1,2	2,8	5,3	7,3	9,5	8,7
1992	13,6	10,6	10,5	7,4	3,5	0,9	0,2	3,5	5,2	5,7	10,1	10,6
1993	10,8	12,1	10,0	6,5	3,9	1,5	2,1	4,8	6,9	9,4	11,6	11,1
1994	13,4	12,3	10,6	9,3	4,0	2,5	1,1	5,0	5,0	8,9	12,6	11,4
1995	12,0	14,0	10,2	9,8	7,0	1,3	-1,3	2,1	5,8	9,0	11,3	13,0
1996	11,2	11,5	11,0	7,9	7,3	1,5	3,4	4,2	7,1	7,4	9,7	11,9
1997	11,0	10,6	10,8	7,1	2,0	1,4	-0,4	3,6	6,2	7,5	9,9	11,3
1998	11,3	13,6	10,5	8,1	6,3	2,8	5,1	5,1	5,6	8,6	10,1	11,5
1999	13,6	11,7	10,3	7,8	5,5	1,5	3,0	4,8	6,4	9,7	10,6	11,3
2000	12,2	11,4	11,2	7,6	4,8	3,5	6,0	4,2	3,7	6,5	8,0	7,4
2001	9,4	9,8	8,7	7,7	3,4	2,9	-0,6	4,3	8,2	10,2	10,9	13,5
2002	13,5	13,4	7,9	8,1	1,1	-0,1	2,4	3,6	7,3	7,2	9,7	12,6
2003	11,7	12,4	10,5	7,3	5,3	1,1	3,9	4,2	5,6	6,5	9,4	13,8
2004	13,6	14,9	11,5	8,2	7,0	5,1	3,1	2,8	6,9	8,6	11,6	11,1
2005	10,0	12,9	8,5	5,5	3,5	-1,4	0,9	2,6	6,3	5,4	10,1	11,8
2006	11,6	12,3	9,2	5,9	5,4	-0,5	0,8	1,7	5,8	8,6	7,9	9,4
2007	12,7	10,5	9,4	5,5	1,7	-0,1	1,9	3,4	7,1	7,1	9,0	12,0
2008	13,9	14,9	11,9	7,3	3,9	2,8	1,1	0,9	6,7	8,4	9,3	13,1
2009	12,2	12,7	10,3	8,7	4,8	3,4	2,3	3,3	6,5	6,9	6,7	10,3
2010	11,3	9,9	10,7	7,5	6,2	1,5	2,1	2,6	6,3	8,1	9,3	9,6
2011	12,5	13,1	9,8	7,9	6,1	1,7	0,7	1,8	5,3	8,4	9,8	13,5
2012	13,5	10,2	12,2	6,3	2,6	1,4	2,2	5,1	6,3	8,0	10,3	11,0
2013	14,1	13,2	10,9	9,3	4,4	4,0	3,9	2,3	5,2	8,6	9,0	10,8
2014	10,5	12,4	10,2	7,2	4,1	2,6	3,6	6,1	6,0	7,8	9,1	10,1
2015	12,6	12,6	10,9	7,5	7,0	4,4	3,8	3,7	5,1			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.39. Serie de tiempo de temperatura para la estación "CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	12,9	11,1	10,1	4,6	4,5	2,4	1,4	3,9	5,9	7,6	7,9	10,7
1981	11,8	11,5	10,1	7,2	3,0	2,6	2,9	4,7	4,1	7,9	8,5	10,6
1982	12,7	10,8	9,6	8,1	5,2	-1,5	-1,8	3,1	5,4	6,7	9,0	11,0
1983	13,1	11,1	9,9	7,8	5,6	1,5	2,4	3,6	4,8	7,8	9,7	12,3
1984	11,5	10,3	9,7	6,6	2,5	-1,1	-0,8	2,8	5,9	6,1	9,1	12,0
1985	11,8	11,8	9,3	6,9	4,2	3,1	2,9	4,3	5,1	6,6	10,1	10,8
1986	10,9	10,6	8,8	5,6	4,2	2,0	2,3	2,8	4,0	7,6	7,9	10,3
1987	12,0	11,5	10,8	8,2	3,3	4,6	1,3	2,2	4,9	7,7	10,4	10,8
1988	11,0	12,8	9,6	7,1	3,5	3,1	0,8	2,5	5,7	6,4	9,2	9,5
1989	11,0	11,7	9,5	6,9	5,4	1,8	1,8	2,4	5,0	8,1	9,6	9,3
1990	10,4	12,8	9,6	5,6	4,4	3,7	3,2	3,3	5,1	6,9	7,8	9,8
1991	11,2	11,2	9,0	6,8	3,4	2,0	0,1	1,9	4,7	6,5	8,8	8,1
1992	12,3	8,5	10,6	7,1	3,8	0,8	-2,2	4,2	4,9	3,8	8,4	10,9
1993	9,8	9,4	7,6	3,5	1,0	-1,5	2,1	4,9	4,9	5,0	7,1	6,8
1994	10,7	9,9	8,0	7,3	3,9	3,2	0,2	2,3	2,8	10,1	13,9	15,1
1995	17,3	11,6	10,3	9,8	7,4	1,7	-1,0	2,1	2,7	7,5	9,2	10,6
1996	8,2	10,1	8,9	7,8	6,6	2,7	2,2	3,4	8,3	6,1	9,3	11,2
1997	11,7	11,5	11,6	7,4	1,7	1,0	1,3	5,3	6,4	7,1	7,5	9,3
1998	10,0	11,8	7,7	8,3	4,1	3,6	4,5	4,3	5,3	7,8	6,0	4,5
1999	13,7	5,3	4,8	7,0	3,6	0,5	4,0	4,3	5,3	6,3	10,0	10,4
2000	11,8	9,9	9,4	7,4	4,4	0,6	0,7	3,0	3,2	7,0	8,8	9,2
2001	9,9	9,9	8,1	6,4	3,3	1,7	-1,3	1,6	5,4	7,5	8,4	9,9
2002	11,5	10,2	7,7	7,9	1,7	-0,1	0,1	0,8	5,1	6,0	7,8	11,6
2003	11,0	11,3	9,2	6,7	5,7	0,3	6,1	4,2	4,9	6,2	8,5	11,8
2004	12,8	14,6	11,0	7,9	5,2	4,4	2,0	4,5	5,8	8,2	10,6	11,6
2005	13,7	17,3	10,3	7,5	2,6	-1,1	1,4	3,5	6,3	7,4	9,8	12,3
2006	13,7	12,1	10,7	6,6	3,0	1,5	-3,1	2,8	5,3	8,3	10,2	10,6
2007	13,8	12,8	11,0	8,2	5,1	3,9	2,4	2,8	7,0	7,0	9,3	11,0
2008	13,0	14,3	10,8	8,3	4,2	2,3	1,7	2,3	6,5	7,1	8,6	13,9
2009	12,3	11,4	10,0	6,5	4,0	4,4	2,3	3,2	5,6	5,6	5,8	9,7
2010	11,9	10,3	10,8	8,1	5,1	1,9	-0,1	2,9	5,5	7,2	9,8	10,3
2011	12,7	12,8	10,0	8,4	5,7	1,6	1,6	0,2	5,2	7,3	9,4	12,4
2012	13,7	10,3	12,1	6,7	2,6	1,6	2,4	4,7	6,1	8,3	10,6	10,9
2013	14,7	13,6	11,6	8,5	4,0	5,1	4,2	2,9	5,0	9,1	9,3	11,3
2014	12,4	14,0	9,0	7,7	4,6	3,7	3,1	5,7	5,5	7,3	8,5	9,5
2015	11,9	12,0	10,3	7,0	6,5	3,9	3,3	3,3	4,6			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.40. Serie de tiempo de temperatura para la estación "LAGO DICKSON" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	12,3	10,6	9,8	4,8	4,7	2,9	2,0	4,2	6,0	7,5	7,8	10,3
1981	11,3	11,0	9,7	7,2	3,4	3,0	3,3	4,9	4,4	7,8	8,3	10,2
1982	12,1	10,4	9,4	8,0	5,4	-0,5	-0,4	2,5	4,3	7,6	10,2	11,5
1983	12,3	11,4	11,1	8,0	5,2	4,4	5,7	5,0	6,3	8,3	9,3	11,9
1984	10,8	10,3	9,2	8,2	1,4	-0,8	-0,7	1,7	6,5	7,7	10,2	11,9
1985	12,2	12,0	8,6	7,3	2,8	0,4	2,8	4,7	4,8	7,0	10,4	10,9
1986	10,8	9,3	8,3	5,2	2,7	1,7	2,0	3,6	4,9	7,3	7,8	10,5
1987	11,4	10,7	10,0	8,6	4,8	3,1	1,2	1,7	4,7	7,6	10,0	10,7
1988	11,1	12,0	10,4	6,7	5,6	4,0	0,1	0,7	5,9	6,9	9,4	9,6
1989	10,6	11,7	8,6	7,0	5,1	1,4	1,8	2,2	4,8	8,5	10,2	9,5
1990	10,6	12,4	9,8	6,6	5,0	3,6	4,4	3,9	4,8	7,9	7,6	10,2
1991	11,2	11,3	9,1	8,0	5,3	1,8	0,2	3,7	4,5	6,5	8,6	8,1
1992	13,1	9,9	9,4	7,6	3,1	-1,1	0,6	3,6	4,9	6,2	10,0	10,5
1993	10,9	11,4	9,1	5,8	3,9	0,6	2,5	5,3	6,8	8,5	9,5	9,6
1994	12,0	10,0	9,1	7,2	2,4	0,9	0,8	3,9	3,6	6,3	9,7	10,4
1995	11,4	11,6	9,1	8,4	5,7	0,4	-1,0	2,4	5,8	7,3	9,2	11,6
1996	9,8	10,2	9,8	6,9	6,9	3,5	2,9	3,5	7,2	7,1	8,7	10,8
1997	10,7	10,1	9,0	7,1	2,9	1,7	0,3	4,1	5,0	6,9	8,9	10,2
1998	11,0	12,1	10,1	6,7	3,4	3,2	4,7	5,3	4,6	7,6	8,9	9,5
1999	11,1	10,3	9,0	7,4	5,0	1,3	2,5	5,0	4,5	8,7	10,3	10,4
2000	10,7	9,8	8,9	7,7	4,4	1,2	2,2	3,5	1,9	6,6	8,1	8,1
2001	10,7	9,2	8,2	7,6	2,3	1,9	-1,2	2,7	5,9	7,1	7,7	10,9
2002	10,9	10,7	6,7	6,4	1,4	-0,1	2,0	2,5	5,3	6,3	8,2	10,8
2003	11,2	11,1	9,6	8,3	6,9	2,1	6,6	4,7	5,2	6,4	7,8	10,2
2004	12,1	14,2	10,5	7,5	6,1	4,9	1,7	4,4	5,8	7,5	9,9	10,2
2005	11,1	13,4	9,8	8,4	3,9	0,1	2,6	3,9	6,1	6,9	8,7	11,0
2006	11,8	11,8	9,7	6,9	5,4	0,1	1,7	2,8	5,1	6,8	8,4	9,7
2007	11,5	10,0	9,1	7,1	1,6	2,6	2,4	3,6	5,2	6,6	8,8	11,1
2008	12,7	13,3	11,8	7,1	4,8	2,2	2,2	2,5	6,7	8,5	8,5	11,7
2009	11,2	11,2	9,6	7,1	5,0	4,8	3,3	3,7	6,4	6,1	6,0	9,7
2010	9,2	9,6	10,0	7,7	6,5	1,7	3,7	2,7	5,9	7,9	8,4	9,6
2011	11,3	11,7	9,1	8,0	5,7	2,2	1,6	1,0	5,5	7,1	9,4	11,7
2012	12,5	9,5	11,1	6,5	3,0	2,2	2,9	4,8	6,0	7,6	9,3	10,2
2013	12,7	12,1	9,6	8,1	4,2	4,7	4,4	3,3	5,3	9,0	9,3	11,1
2014	11,0	10,7	8,5	6,4	4,6	1,9	2,4	5,7	5,3	7,6	9,2	8,6
2015	11,1	11,7	10,2	6,8	5,0	4,4	3,1	2,3	5,3			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.41. Serie de tiempo de temperatura para la estación "LAGUNA AZUL" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	15,4	13,4	9,0	-0,9	-2,9	-6,3	-9,7	-7,3	-0,4	5,0	4,5	10,2
1981	12,8	12,7	7,7	4,2	-3,1	-6,6	-6,8	-4,7	-1,7	7,3	8,1	13,3
1982	16,6	15,2	10,0	6,1	0,5	-8,6	-9,7	-6,2	-1,0	3,1	10,9	12,5
1983	15,2	12,0	10,3	5,4	-1,6	-6,7	-5,0	-2,8	0,9	4,7	9,5	14,1
1984	12,1	11,7	8,7	4,4	-9,7	-10,4	-11,5	-7,2	0,3	4,1	9,6	13,2
1985	17,5	16,0	6,6	4,7	-3,4	-5,1	-4,7	-1,1	1,6	5,7	12,2	14,6
1986	14,9	11,4	9,0	2,8	-4,4	-8,0	-6,7	-2,3	-0,6	6,7	7,9	13,9
1987	14,1	14,9	10,5	5,7	1,9	-3,2	-7,1	-6,0	-0,7	6,2	11,9	14,3
1988	14,1	16,9	13,6	4,8	1,6	-4,8	-6,5	-5,8	2,7	4,3	10,3	12,1
1989	16,2	17,2	13,2	5,2	0,9	-6,1	-5,7	-3,6	0,2	7,7	12,5	13,9
1990	14,7	18,4	11,5	2,4	1,1	-5,8	-4,5	-4,6	0,5	6,4	8,2	11,8
1991	15,6	14,5	10,1	5,1	0,6	-8,1	-9,3	-5,8	-0,6	3,8	8,9	9,2
1992	17,9	11,8	9,5	4,8	-3,2	-10,0	-11,3	-3,6	-0,6	4,7	10,9	16,4
1993	14,2	16,3	10,8	3,5	-2,4	-10,0	-4,7	-2,5	1,5	6,3	10,4	11,5
1994	17,2	13,8	10,6	6,9	-4,3	-6,8	-9,2	-2,9	-2,2	2,2	10,8	12,6
1995	15,5	14,8	8,4	6,8	0,3	-8,2	-14,8	-9,7	-1,1	6,1	9,2	14,4
1996	10,4	11,8	10,0	3,1	2,5	-5,2	-4,9	-4,5	3,2	3,9	8,6	12,1
1997	13,8	9,5	10,5	2,5	-3,1	-6,1	-10,9	-4,0	-1,1	4,1	10,9	13,9
1998	14,7	15,5	12,9	7,4	1,0	-2,3	-2,5	-3,2	-0,7	5,0	10,4	11,2
1999	15,7	14,3	9,7	6,4	-2,0	-9,0	-7,0	-5,8	-2,5	5,6	12,1	12,3
2000	13,7	12,7	9,2	6,4	-1,5	-8,7	-9,2	-3,3	-5,2	3,0	8,0	9,3
2001	11,7	10,7	5,4	6,4	-3,3	-5,5	-9,9	-5,2	6,5	6,4	8,3	14,2
2002	15,0	15,3	6,2	4,2	-6,9	-11,3	-6,9	-6,0	4,7	2,0	7,9	15,7
2003	14,1	12,2	9,9	7,1	1,7	-5,6	-1,6	-1,4	1,4	3,0	8,7	17,2
2004	18,2	19,4	12,6	6,5	4,1	0,4	-6,3	-2,5	4,0	5,4	13,0	14,5
2005	9,9	15,6	10,9	5,8	-1,0	-12,1	-4,6	-4,2	2,7	1,1	10,6	13,4
2006	17,2	15,8	12,8	2,0	1,9	-4,8	-5,7	-2,4	1,8	7,8	11,5	12,9
2007	16,0	10,8	11,5	1,1	-6,2	-5,3	-7,7	-2,9	4,2	5,4	8,6	13,7
2008	17,4	17,4	13,6	4,3	-1,0	-2,9	-5,6	-7,5	3,6	6,8	8,5	15,9
2009	14,1	14,0	10,4	7,5	0,4	-2,8	-4,9	-4,8	1,7	1,5	3,2	10,5
2010	12,5	11,4	10,9	5,1	1,1	-5,9	-7,8	-4,3	2,7	8,3	11,3	9,2
2011	13,1	15,9	13,4	5,8	3,3	-4,7	-8,2	-6,3	0,8	5,0	9,5	16,6
2012	16,7	10,3	13,5	3,0	-4,0	-8,1	-6,3	0,5	1,3	3,7	10,4	11,9
2013	17,9	16,1	11,7	8,5	-0,9	-1,8	-1,9	-6,6	0,6	7,2	8,0	11,5
2014	10,8	14,5	9,8	4,3	-1,0	-4,8	-6,2	-3,3	-0,4	4,7	8,4	12,4
2015	14,3	14,6	12,1	4,1	-1,2	-5,7	-7,4	-5,0	-1,0			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.42. Serie de tiempo de temperatura para la estación "RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	14,0	12,1	11,1	5,2	5,1	2,9	1,8	4,5	6,6	8,4	8,7	11,7
1981	12,9	12,6	11,0	8,0	3,5	3,1	3,5	5,3	4,7	8,8	9,4	11,6
1982	13,9	11,9	10,6	9,0	5,9	-1,1	-0,9	2,5	4,6	8,6	11,6	13,1
1983	14,1	13,0	12,6	8,9	5,7	4,8	6,3	5,4	7,0	9,3	10,5	13,5
1984	12,3	11,7	10,4	9,2	1,2	-1,5	-1,3	1,5	7,2	8,6	11,5	13,6
1985	13,9	13,7	9,7	8,1	2,9	0,0	2,8	5,1	5,2	7,7	11,8	12,4
1986	12,3	10,5	9,3	5,6	2,7	1,5	1,9	3,7	5,3	8,2	8,8	11,9
1987	13,0	12,2	11,3	9,7	5,2	3,1	0,9	1,6	5,1	8,5	11,4	12,1
1988	12,6	13,7	11,9	7,4	6,2	4,3	-0,4	0,4	6,5	7,7	10,6	10,9
1989	12,0	13,4	9,6	7,8	5,5	1,2	1,6	2,2	5,2	9,6	11,5	10,8
1990	12,1	14,2	11,1	7,3	5,5	3,8	4,8	4,1	5,1	8,8	8,5	11,6
1991	12,8	12,9	10,3	9,0	5,8	1,7	-0,2	3,9	4,9	7,2	9,7	9,1
1992	15,0	11,2	10,6	8,6	3,2	-1,8	0,2	3,8	5,4	6,9	11,3	11,9
1993	12,4	13,0	10,3	6,3	4,1	0,2	2,5	5,7	7,5	9,6	10,8	10,9
1994	13,7	11,3	10,2	8,0	2,3	0,5	0,4	4,2	3,7	7,0	11,0	11,8
1995	13,0	13,2	10,3	9,4	6,2	0,0	-1,6	2,3	6,3	8,1	10,5	13,3
1996	11,1	11,6	11,2	7,7	7,7	3,7	3,0	3,6	8,0	7,9	9,9	12,3
1997	12,2	11,4	10,2	7,9	2,9	1,5	-0,2	4,4	5,5	7,7	10,0	11,5
1998	12,5	13,8	11,4	7,4	3,6	3,3	5,0	5,7	5,0	8,5	10,0	10,8
1999	12,6	11,7	10,2	8,3	5,4	1,0	2,5	5,5	4,8	9,8	11,7	11,9
2000	12,1	11,1	10,1	8,6	4,7	0,9	2,1	3,7	1,7	7,3	9,1	9,1
2001	12,2	10,4	9,2	8,5	2,2	1,7	-1,9	2,7	6,4	7,9	8,6	12,4
2002	12,4	12,2	7,4	7,1	1,2	-0,6	1,9	2,5	5,8	7,0	9,2	12,2
2003	12,8	12,7	10,9	9,3	7,6	2,0	7,4	5,1	5,7	7,1	8,8	11,6
2004	13,8	16,3	12,0	8,4	6,7	5,3	1,6	4,7	6,4	8,4	11,2	11,5
2005	12,7	15,4	11,4	9,1	4,2	-0,4	2,5	4,2	6,8	7,7	9,8	12,5
2006	13,5	13,5	11,0	7,7	5,9	-0,4	1,5	2,8	5,6	7,5	9,4	11,0
2007	13,1	11,3	10,2	7,9	1,5	2,6	2,4	3,8	5,7	7,3	9,9	12,6
2008	14,5	15,3	13,5	7,9	5,2	2,1	2,1	2,5	7,4	9,5	9,5	13,4
2009	12,8	12,7	10,8	7,9	5,4	5,2	3,4	3,9	7,1	6,7	6,7	11,0
2010	10,4	10,9	11,4	8,6	7,2	1,5	3,9	2,7	6,6	8,9	9,4	10,9
2011	12,9	13,3	10,3	8,9	6,2	2,1	1,4	0,6	6,1	7,9	10,7	13,4
2012	14,3	10,8	12,6	7,2	3,1	2,1	2,9	5,2	6,6	8,5	10,5	11,6
2013	14,6	13,8	10,9	9,0	4,5	5,0	4,7	3,4	5,8	10,1	10,5	12,7
2014	12,5	12,2	9,6	7,1	5,0	1,7	2,3	6,3	5,8	8,5	10,4	9,6
2015	12,6	13,4	11,6	7,6	5,4	4,8	3,2	2,2	5,8			

*meses rellenos en negrita

Tabla 10.43. Serie de tiempo de temperatura para la estación "TORRES DEL PAINE" con meses rellenos.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	13,6	11,8	10,9	5,3	5,2	3,1	2,1	4,6	6,6	8,3	8,6	11,5
1981	12,6	12,2	10,8	7,9	3,7	3,3	3,6	5,4	4,8	8,6	9,2	11,3
1982	13,5	11,6	10,4	8,9	5,9	-0,7	-0,6	2,7	4,7	8,5	11,4	12,8
1983	13,8	12,7	12,3	8,8	5,7	4,8	6,3	5,5	7,0	9,2	10,4	13,2
1984	12,0	11,5	10,3	9,1	1,5	-1,1	-0,9	1,8	7,1	8,5	11,3	13,3
1985	13,6	13,4	9,6	8,0	3,0	0,3	3,0	5,2	5,3	7,7	11,6	12,1
1986	12,0	10,3	9,2	5,7	2,9	1,8	2,1	3,9	5,4	8,1	8,7	11,7
1987	12,7	12,0	11,1	9,5	5,3	3,3	1,2	1,8	5,2	8,4	11,2	11,9
1988	12,3	13,3	11,6	7,3	6,2	4,4	-0,1	0,7	6,6	7,6	10,4	10,7
1989	11,8	13,1	9,5	7,8	5,6	1,4	1,9	2,4	5,3	9,4	11,3	10,6
1990	11,8	13,8	10,9	7,3	5,5	3,9	4,8	4,2	5,2	8,7	8,4	11,3
1991	12,5	12,6	10,1	8,9	5,9	1,9	0,1	4,0	5,0	7,2	9,5	9,0
1992	14,6	11,0	10,4	8,5	3,4	-1,4	0,5	3,9	5,4	6,9	11,1	11,6
1993	12,1	12,7	10,1	6,3	4,3	0,5	2,7	5,8	7,5	9,4	10,6	10,7
1994	13,4	11,1	10,1	7,9	2,5	0,8	0,7	4,3	3,9	6,9	10,8	11,6
1995	12,7	12,9	10,1	9,3	6,3	0,3	-1,2	2,6	6,4	8,1	10,3	13,0
1996	10,8	11,4	10,9	7,6	7,7	3,8	3,2	3,8	7,9	7,8	9,7	12,1
1997	11,9	11,2	10,0	7,9	3,1	1,7	0,1	4,5	5,5	7,6	9,9	11,3
1998	12,2	13,5	11,2	7,4	3,7	3,5	5,1	5,8	5,0	8,4	9,9	10,6
1999	12,4	11,4	10,0	8,2	5,5	1,3	2,7	4,3	4,9	7,6	11,2	10,9
2000	11,9	10,9	9,9	8,5	4,8	1,2	1,4	4,6	1,9	7,3	9,0	9,0
2001	12,0	10,8	9,1	8,4	2,4	2,0	-2,2	2,8	6,5	7,9	8,5	12,1
2002	12,2	11,9	7,4	7,1	1,4	-0,2	2,1	2,8	6,2	7,0	9,1	12,8
2003	12,5	12,9	10,7	7,6	6,8	1,1	7,0	4,7	5,7	7,1	8,7	11,4
2004	13,9	15,1	11,2	8,1	5,7	4,8	1,8	4,8	6,4	8,3	11,0	11,7
2005	12,5	15,0	10,4	7,9	2,8	0,2	2,2	3,9	6,8	7,6	9,7	12,2
2006	13,2	13,1	10,8	7,7	5,9	0,0	1,8	3,0	5,6	7,5	9,3	10,8
2007	12,8	11,1	10,1	7,9	1,7	2,8	2,6	4,0	5,7	7,3	9,7	12,3
2008	14,1	14,9	13,2	7,8	5,2	2,3	2,3	2,7	7,4	9,4	9,4	13,1
2009	12,5	12,4	10,6	7,9	5,4	5,3	3,6	4,0	7,1	6,7	6,6	10,8
2010	10,2	10,7	11,1	8,5	7,2	1,8	4,1	5,2	7,2	8,8	9,7	9,9
2011	12,8	13,1	10,5	9,4	7,2	3,4	2,7	2,4	5,8	9,0	10,5	13,7
2012	14,2	10,6	12,4	7,5	3,9	2,9	4,5	5,7	7,3	8,9	10,4	11,0
2013	14,4	13,4	10,8	9,9	6,4	5,8	6,1	3,1	5,4	9,2	9,5	11,1
2014	10,7	12,0	9,5	7,1	5,1	1,9	2,5	6,3	5,8	8,4	10,2	9,5
2015	12,4	13,1	11,4	7,5	5,5	4,9	3,3	2,4	5,9			

*meses rellenos en negrita

10.5 Figuras de Interés

