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

IMPACTO APLICACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO MÍNIMO RETROACTIVO EN CUENCAS DE LA IV, V Y VI REGIÓN.

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

SIT N° 392

Santiago, Septiembre 2016

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Sr. Carlos Estévez Valencia

Inspector Fiscal
Sr. Héctor González

GeoHidrología Consultores Ltda.

Jefe de Proyecto
Sra. Francisca Chadwick

Especialistas
Sr. Eduardo Varas
Sr. Pablo Rengifo
Sr. David González

Coordinador de Proyecto
Sr. Ignacio Despouy

Profesionales
Srta. Gabriela Sepúlveda
Sr. Javier Uribe
Sr. Andrés Pucheu
Sr. Cristóbal Vargas

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de esta forma:

DGA (2016), Impacto Aplicación Caudal Ecológico Mínimo Retroactivo en Cuencas de la IV, V y VI Región, SIT N° 392, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: GeoHidrología Consultores Ltda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1
2 ÁREA DE ESTUDIO 3
3 RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES 8
3.1 ESTUDIOS TÉCNICOS 8
3.1.1 Estudios Generales 8
3.1.2 Estudios Cuenca Río Limarí 9
3.1.3 Estudios Cuenca Río Aconcagua 11
3.1.4 Estudios Cuenca Río Rapel 13
3.2 INFORMACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA) 15
3.2.1 Cuenca Río Limarí 15
3.2.2 Cuenca Río Aconcagua 18
3.2.3 Cuenca Río Rapel 20
3.3 REVISIÓN DE EXPEDIENTES CON CAUDAL ECOLÓGICO ESTABLECIDO 22
3.3.1 Derechos otorgados con Caudal ecológico 22
3.3.2 Caudales ecológicos por tramo 27
4 ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DE CAUDALES 31
4.1 INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA 31
4.1.1 Disponibilidad de Información 31
4.1.2 Relleno de Información Fluviométrica 41
4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS 43
4.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA CAUDALES MENSUALES 48
5 DEMANDA HÍDRICA 60
5.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CATASTRO PÚBLICO DE AGUAS 60
5.1.1 Cuenca Río Limarí 60
5.1.2 Cuenca Río Aconcagua 62
5.1.3 Cuenca Río Rapel 64
5.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DEMANDA EN TERRENO 65
5.2.1 Cuenca Río Limarí 65
5.2.2 Cuenca Río Aconcagua 70
5.2.3 Cuenca Río Rapel 71
5.3 DEMANDA HÍDRICA ORGANIZACIONES DE USUARIOS 76
5.4 ESTIMACIÓN DEMANDA DE RIEGO 82
5.5 ESTIMACIÓN DEMANDA OTROS USOS 90
5.6 CONCLUSIONES DEMANDA HÍDRICA 92
6 CAUDAL ECOLÓGICO 94
6.1 CONTEXTO LEGAL Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CAUDAL ECOLÓGICO 95
6.1.1 Marco Normativo y Estudios DGA 95
6.1.2 Decreto Supremo N° 71 (Modificación al Decreto Supremo N° 14) 99
6.1.3 Caudal Ecológico en el SEIA 103
6.1.4 Situación Actual de los Caudales Ecológicos 106
6.2 DEFINICIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO 107
7 BALANCE OFERTA-DEMANDA 124
7.1 MODELO DE SIMULACIÓN DE CAUDALES 124
7.1.1 Descripción del Modelo 124
7.1.2 Calibración del modelo de simulación 132
7.2 RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN 140

7.2.1 Balance Oferta Demanda de Largo Plazo 140
7.2.2 Balance Oferta Demanda en la Serie Histórica 144
7.3 DISCUSIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN 158
8 VALORIZACIÓN ECONÓMICA 159
8.1 EVALUACIÓN DEL PRECIO DEL AGUA 159
8.2 EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS 165
8.2.1 Actividad Agrícola 166
8.2.2 Actividad Minera 169
8.2.3 Servicio Sanitario 170
9 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 171
10 BIBLIOGRAFÍA 175
11 ANEXOS 177
- ARCHIVOS RECOPILADOS EN REUNIONES CON JUNTAS DE VIGILANCIA (ARCHIVOS EN DIGITAL) 177
- ANÁLISIS EXPEDIENTES DIGITALIZADOS CON CAUDAL ECOLÓGICO(ARCHIVOS EN DIGITAL) 177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación general cuencas de análisis 2
Figura 2-1: Cuenca del Río Limarí 4
Figura 2-2: Cuenca río Aconcagua 5
Figura 2-3: Cuenca Río Rapel 7
Figura 3-1: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Limarí 17
Figura 3-2: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Aconcagua 19
Figura 3-3: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Rapel 21
Figura 3-4: Cantidad de derechos con caudal ecológico por periodo 25
Figura 3-5: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Limarí 28
Figura 3-6: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Aconcagua 29
Figura 3-7: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Rapel 30
Figura 4-1: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca río Limarí 33
Figura 4-2: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Limarí 34
Figura 4-3: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca del río Aconcagua 36
Figura 4-4: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Aconcagua 37
Figura 4-5: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca del río Rapel 39
Figura 4-6: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Rapel 40
Figura 4-7: Disponibilidad de información fluviométrica rellenada en la cuenca del río Rapel 42
Figura 4-8: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del Limarí 45
Figura 4-9: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del río Aconcagua 46

Figura 4-10: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del río Rapel 47
Figura 4-11: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Limarí 52
Figura 4-12: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Aconcagua 55
Figura 4-13: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Rapel 58
Figura 5-1: Evolución histórica del caudal otorgado en Limarí..... 61
Figura 5-2: Evolución histórica del caudal solicitado 62
Figura 5-3: Evolución histórica del caudal otorgado en Aconcagua 63
Figura 5-4: Evolución histórica del caudal en trámite en Aconcagua 63
Figura 5-5: Evolución histórica del caudal otorgado en Rapel 64
Figura 5-6: Evolución histórica del caudal en trámite en Rapel 65
Figura 5-7: Juntas de Vigilancia Cuenca Río Limarí 79
Figura 5-8: Juntas de Vigilancia, Cuenca Río Aconcagua 80
Figura 5-9: Juntas de Vigilancia, Cuenca Río Rapel 81
Figura 5-10: Zonas de riego y subcuencas en Limarí..... 84
Figura 5-11: Demanda hídrica mensual de riego cuenca Río Limarí 85
Figura 5-12: Demanda hídrica mensual de riego, Cuenca Río Aconcagua 87
Figura 5-13: Demanda hídrica mensual de riego, Cuenca Río Rapel 89
Figura 6-1: Diagrama Determinación Caudal Ecológico de acuerdo a Decreto Supremo N° 71 102
Figura 6-2: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Limarí.....110
Figura 6-3: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Aconcagua .115
Figura 6-4: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Rapel.....120
Figura 7-1: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego.....127
Figura 7-2: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim 128
Figura 7-3: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego.....129
Figura 7-4: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim 129
Figura 7-5: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego.....131
Figura 7-6: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim 132
Figura 7-7: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-05 134
Figura 7-8: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-15 134
Figura 7-9: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-24 134
Figura 7-10: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-26.....135
Figura 7-11: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-29.....135
Figura 7-12: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-37.....135
Figura 7-13: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-47.....136
Figura 7-14: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-09.....137
Figura 7-15: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-16.....137
Figura 7-16: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-18.....137
Figura 7-17: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-34.....138
Figura 7-18: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-09.....139
Figura 7-19: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-20.....139

Figura 7-20: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-29.....139
Figura 7-21: Déficit hídrico Subcuencas Río Limarí (m^3/s).....147
Figura 7-22: Déficit hídrico Subcuencas Río Aconcagua (m^3/s) 151
Figura 7-23: Déficit hídrico Subcuencas Río Rapel (m^3/s).....154
Figura 8-1: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Limarí.....160
Figura 8-2: Valor del agua (UF/L/s) en cuenca Río Limarí 160
Figura 8-3: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Aconcagua161
Figura 8-4: Valor del agua (UF/L/s) en cuenca Río Aconcagua.....162
Figura 8-5: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Rapel.....163
Figura 8-6: Valor del agua (UF/L/s y UF/Acción) en cuenca Río Rapel.....164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Datos Organizaciones de agua 10
Tabla 3-2. Derechos de aprovechamiento de agua superficial en cuenca Río Limarí..... 15
Tabla 3-3. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Limarí..... 15
Tabla 3-4. Juntas de Vigilancia registradas en DGA Cuenca Río Limarí..... 16
Tabla 3-5. Derechos de aprovechamiento de agua superficial en cuenca Río Aconcagua 18
Tabla 3-6. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Aconcagua 18
Tabla 3-7. Juntas de Vigilancia registradas en la DGA Cuenca Río Aconcagua 19
Tabla 3-8. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Rapel 20
Tabla 3-9. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Rapel..... 20
Tabla 3-10. Juntas de Vigilancia registradas en la DGA Cuenca Río Rapel 20
Tabla 3-11. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Limarí 22
Tabla 3-12. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Aconcagua 23
Tabla 3-13. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Rapel 24
Tabla 3-14. Cantidad de derechos con caudal ecológico por periodo en la cuenca 25
Tabla 3-15. Cantidad de derechos según metodología de estimación de caudal ecológico utilizada 26
Tabla 4-1. Comparación de información fluviométrica entre cuencas 31
Tabla 4-2. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Limarí 32
Tabla 4-3. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Aconcagua 35
Tabla 4-4. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Rapel 38
Tabla 4-5. Comparación entre información original y rellenada de Rapel..... 41
Tabla 4-6. Caudal medio anual en estaciones fluviométricas seleccionadas 44
Tabla 4-7. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas cuenca río Limarí (m^3/s) ... 45
Tabla 4-8. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas Cuenca Río Aconcagua (m^3/s) 46
Tabla 4-9. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas Cuenca Río Rapel (m^3/s)... 47
Tabla 4-10. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Limarí..... 49
Tabla 4-11. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Limarí..... 49
Tabla 4-12. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Aconcagua 50
Tabla 4-13. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Aconcagua 50

Tabla 4-14. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Rapel 51
Tabla 4-15. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Rapel 51
Tabla 5-1. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Limarí por subcuenca 60
Tabla 5-2. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Aconcagua por sección 62
Tabla 5-3. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Rapel por subcuenca 64
Tabla 5-4. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Limarí 66
Tabla 5-5. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Aconcagua 70
Tabla 5-6. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Rapel 72
Tabla 5-7. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca 77
Tabla 5-8. Demanda hídrica de usuarios por sección 78
Tabla 5-9. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca en la cuenca del río Rapel 78
Tabla 5-10. Área de riego en subcuencas 83
Tabla 5-11. Evapotranspiración Potencial por subcuenca (mm) 83
Tabla 5-12. Demanda Hídrica en subcuenca (m^3/s) 83
Tabla 5-13. Área de riego en secciones de la cuenca 86
Tabla 5-14. Demanda hídrica de riego en Aconcagua 86
Tabla 5-15. Área de riego en secciones de la cuenca 88
Tabla 5-16. Demanda hídrica de riego en Rapel 88
Tabla 5-17. Demanda Hídrica Otros Usos en cuenca Limarí 90
Tabla 5-18. Demanda hídrica Otros Usos en cuenca Aconcagua 91
Tabla 5-19. Demanda hídrica Otros Usos en cuenca Rapel 91
Tabla 5-20. Situación Información CPA 92
Tabla 5-21. Resumen Levantamiento Información en terreno 93
Tabla 5-22. Demanda Hídrica y Derechos otorgados 93
Tabla 6-1. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Limarí (L/s) 108
Tabla 6-2. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Aconcagua (L/s) 108
Tabla 6-3. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Rapel (L/s) 109
Tabla 6-4. Número de estaciones según límite para caudal ecológico 109
Tabla 7-1. Parámetros del modelo de simulación de caudales 125
Tabla 7-2. Módulos *S* y sector de riego al que corresponde 126
Tabla 7-3. Módulos *S* y secciones de la cuenca a la cual corresponde 128
Tabla 7-4. Módulos *S* y subcuenca a la cual corresponde 130
Tabla 7-5. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s) 133
Tabla 7-6. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s) 136
Tabla 7-7. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s) 138
Tabla 7-8. Oferta hídrica cuenca del río Limarí estimada (m^3/s) 141
Tabla 7-9. Oferta hídrica cuenca del río Aconcagua estimada (m^3/s) 141
Tabla 7-10. Oferta hídrica cuenca del río Rapel estimada (m^3/s) 141
Tabla 7-11. Comparación entre Oferta Hídrica y Derechos Otorgados 143
Tabla 7-12. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Limarí (m^3/s) 146
Tabla 7-13. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Aconcagua (m^3/s) 146
Tabla 7-14. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Rapel (m^3/s) 146

Tabla 8-1. Precio de mercado de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Limarí (UF/L/s) 160
Tabla 8-2. Precio de mercado (UF/L/s) de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Aconcagua por año 162
Tabla 8-3. Precio de mercado (UF/L/s) de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Aconcagua (resumen de estadígrafos) 163
Tabla 8-4. Precio total estimado relacionado al déficit hídrico por cuenca 165
Tabla 8-5. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Limarí 167
Tabla 8-6. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Aconcagua 167
Tabla 8-7. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Rapel 167
Tabla 8-8 Volumen que no se produce por especie 168
Tabla 8-9 Pérdidas monetarias por concepto de exportación 169
Tabla 8-10 Déficit de agua para uso minero (m^3/s) 170
Tabla 8-11 Pérdidas en producción para CODELCO División Andina y El Teniente 170

1 INTRODUCCIÓN

Desde el año 2011 se discute en el parlamento un proyecto de ley que apunta a la modificación del Código de Aguas para mejorar el modelo de asignación de derechos de aprovechamiento de las aguas, permitiendo al Estado proteger y asegurar el agua para consumo humano y para los demás usos esenciales de desarrollo local, ambiental y territorial. Todos estos usos, no competitivos en el ámbito de las reglas de mercado, y a veces irrelevantes en términos de la productividad de corto plazo, son fundamentales para el desarrollo social y ambientalmente sustentable.

En este contexto se ha discutido la posibilidad de establecer caudales ecológicos para todos los derechos de aprovechamiento existentes, cambiando lo establecido en la Modificación al Código de Aguas Artículo 129 bis 1, Ley 20.017 año 2005, donde se indica que el establecimiento de caudales ecológicos mínimos podrá afectar sólo a los nuevos derechos que se constituyan.

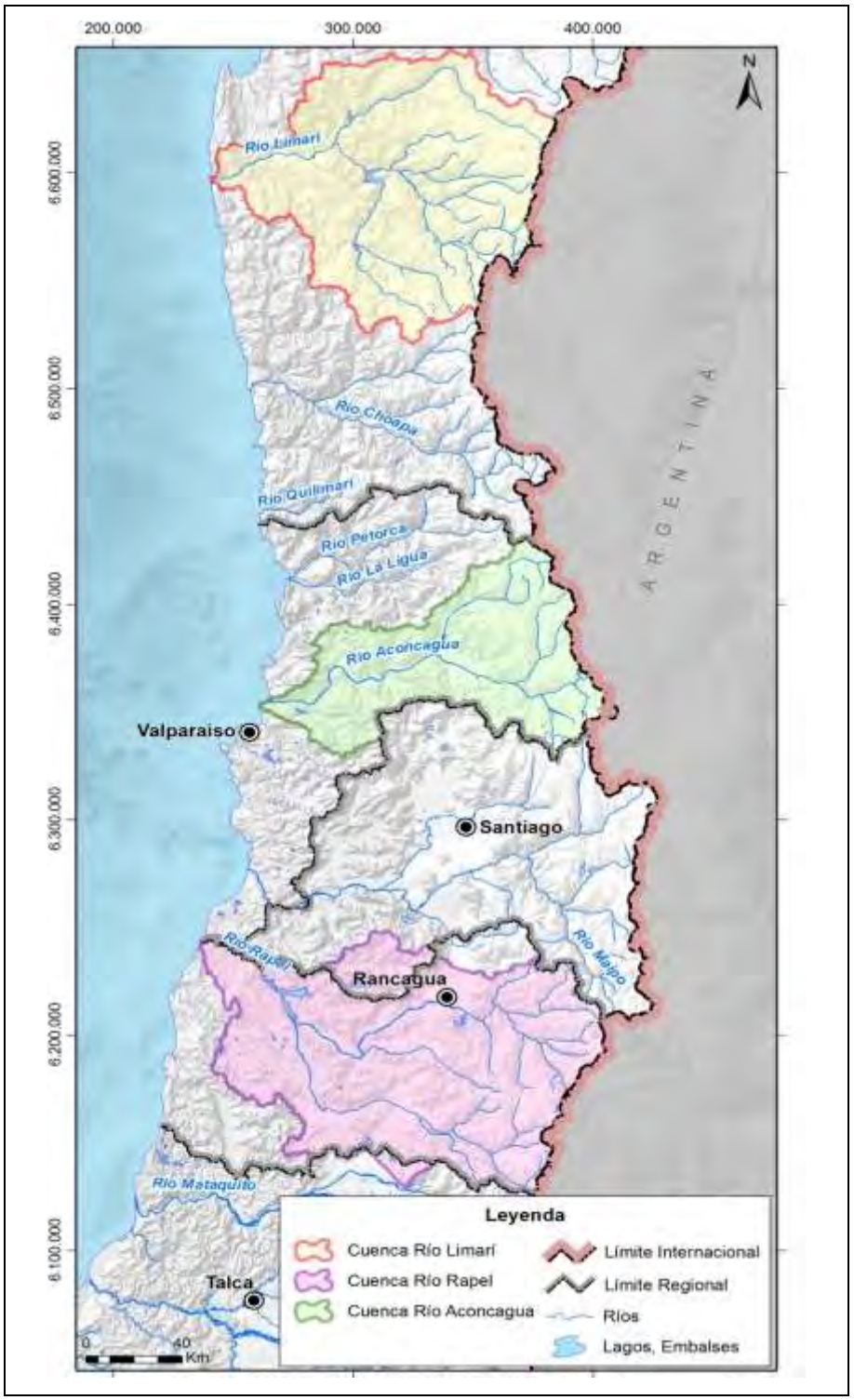
La Dirección General de Aguas (DGA), a través de su Director Nacional Sr. Carlos Estévez, solicitó a GeoHidrología Consultores la elaboración de un estudio tendiente a evaluar el impacto que tendría establecer caudales ecológicos para todos los derechos de aprovechamiento existentes, ya que la DGA estima que la aplicación retroactiva de los caudales ecológicos es un tema muy sensible, que puede afectar a una serie de actividades productivas del país, así como también políticas públicas. Más aún, considerando el actual escenario de sequía hidrológica y de cambio climático que enfrentamos.

Con este objetivo se ha definido realizar un balance de oferta y demanda en tres cuencas pilotos considerando la situación actual y el posible escenario en que se aplique caudales ecológicos a todos los derechos existentes. Las cuencas pilotos seleccionadas se ubican en la zona centro norte y corresponden a las cuencas de los ríos Limarí, Aconcagua y Rapel (Figura 1-1), ubicadas en la IV, V y VI región respectivamente.

El informe se organiza en los siguientes contenidos:

- Descripción de caudal ecológico y aplicación en el marco regulatorio chileno. Empezando por la descripción conceptual de caudal ecológico, se presentan y discuten las diversas normativas que han regulado la aplicación de caudales ecológicos en Chile, y una visión preliminar de los aspectos contrapuestos que resultan de la posible aplicación de esta iniciativa parlamentaria con el marco regulatorio actual.
- Estimación de impacto en los derechos de aprovechamiento y la demanda real. En las cuencas a estudiar existen áreas o subcuencas declaradas zonas de escasez y/o agotamiento, por lo que establecer un caudal ecológico para cada tramo de los cauces implicaría la afección de derechos ya otorgados, traducida en la disminución de la oferta hídrica. Junto a lo anterior, se realizará una valorización de los derechos de agua, de acuerdo a los valores de mercado de transferencias de derechos en cada región.
- Evaluación de impacto económico a actividades productivas. Se analizará cómo impacta la disminución de la oferta hídrica en las áreas productivas, las que serán levantadas a través del análisis de la vocación productiva regional.

Figura 1-1: Ubicación general cuencas de análisis



Fuente: Elaboración Propia

2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la zona centro norte y corresponde a las cuencas de los ríos Limarí, Aconcagua y Rapel (Figura 1-1), localizadas en la IV, V y VI región respectivamente. A continuación se presenta una breve descripción del área de estudio incluyendo límites, hidrografía, clima y principales actividades económicas.

La *Cuenca del Río Limarí* está ubicada en la Región de Coquimbo, entre el valle del río Elqui por el norte y el valle del río Choapa por el sur (Figura 2-1). El cauce más importante es el río Limarí, el cual nace de la confluencia de los ríos Grande y Hurtado, y desemboca al oeste de la ciudad de Ovalle.

El Río Grande nace en la cordillera de Los Andes, abarcando el sector noroeste de la cuenca del Río Limarí, y termina al unirse al río Hurtado, aguas abajo del Embalse La Paloma. El río Huatulame es el principal afluente del Río Grande, y está formado por la confluencia de los ríos Pama y Cogotí, los que confluyen en el embalse Cogotí. A su vez, el río Pama tiene como aporte el río Combarbalá. El Río Grande recibe además los tributos de los ríos Turbio, Tascadero, Torca, Mostazal y Rapel.

El río Hurtado abarca el sector noreste de la cuenca del Río Limarí, nace en la cordillera de Los Andes y termina aguas arriba del Embalse Recoleta.

En cuanto al clima, esta cuenca está bajo la influencia de un bio-clima con escasez de precipitaciones, presentando nueve meses del año un déficit hídrico.

En la cuenca funciona el sistema Paloma, el cual corresponde a un conjunto de obras de regadío, formado principalmente por tres embalses: Recoleta, Paloma y Cogotí, los cuales en su conjunto tienen una capacidad útil de 1.000 millones de m^3. Este sistema ha permitido la regulación de los recursos disponibles y de esta manera otorga una mayor seguridad de riego a los diferentes valles y sectores de la cuenca.

Las principales actividades económicas que se desarrollan en esta zona son la agricultura y ganadería. Se presentan importantes superficies de praderas establecidas en las terrazas altas, que permiten la existencia de ganadería mayor. Además, existe una abundante actividad hortícola, a los que se incorpora alta tecnología de riego y de manejo, mediante el empleo de goteo, invernaderos y otros. Este valle también presenta una importante superficie de viñas, orientada principalmente a la elaboración de pisco.

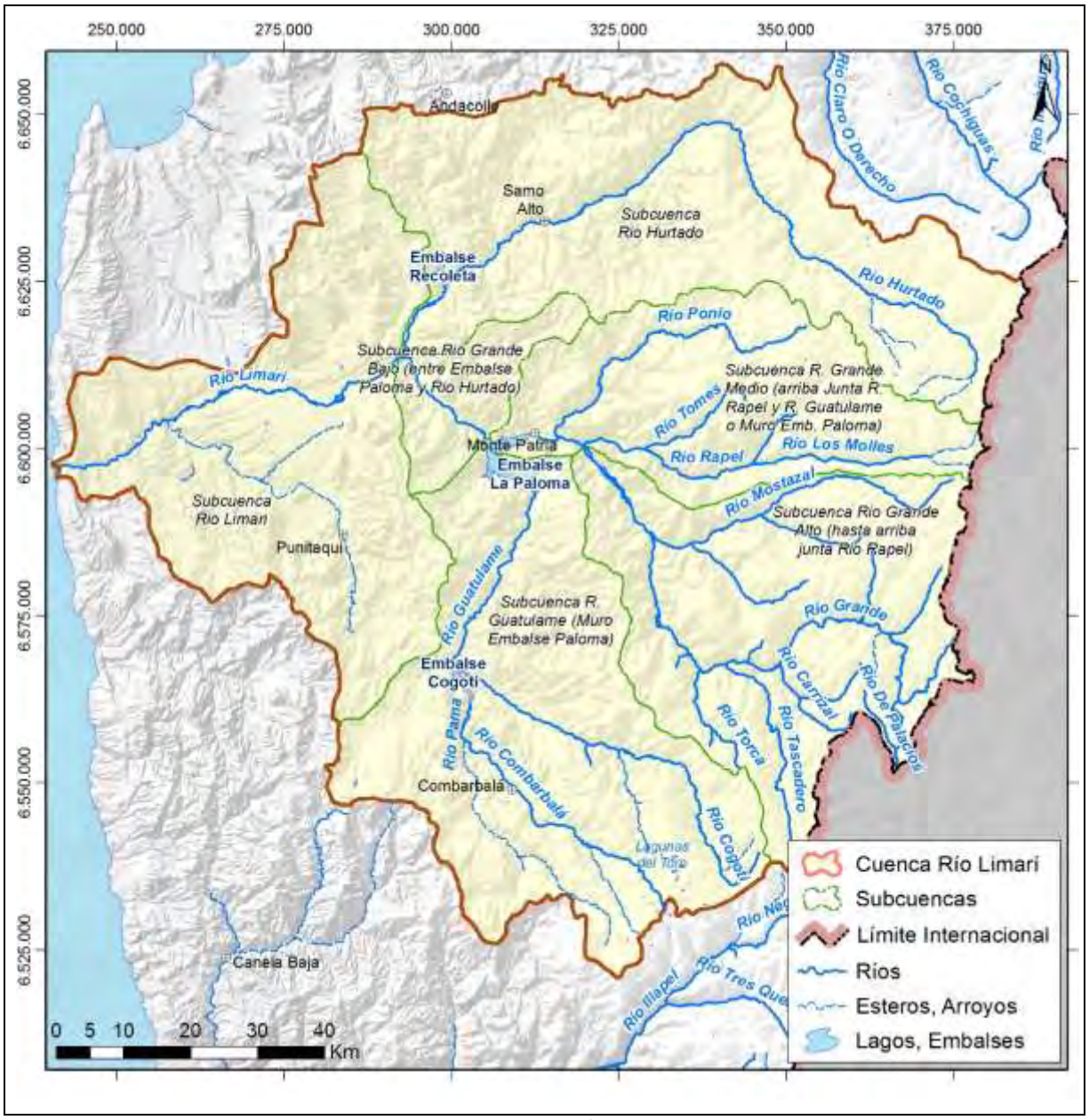
La cuenca del Río Limarí está declarada agotada para la concesión de nuevos derechos de aprovechamiento consuntivo permanentes.

La *Cuenca del Río Aconcagua* se desarrolla en el extremo sur de la zona de los valles transversales, en la Región de Valparaíso. El río Aconcagua nace de la junta de los ríos Juncal y Blanco, con importante aporte andino proveniente del río Colorado. En su recorrido recibe por el norte aportes del río Putaendo y el Estero Quilpué (o San Francisco). Poco más abajo de la junta con el río Putaendo, se presentan recuperaciones del río Aconcagua, las cuales son aprovechadas en la Segunda Sección del río.

En el curso medio recibe aportes de varios esteros de régimen pluvial: estero Catemu, El Melón, Lo Campo y Los Loros o Las vegas.

En el curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, para finalmente desembocar en el sector de Concón.

Figura 2-1: Cuenca del Río Limarí



Fuente: Elaboración Propia

Administrativamente, el río Aconcagua está subdividido en 4 secciones independientes entre sí desde el punto de vista de riego. Estas secciones se determinaron en base a los diferentes orígenes del recurso en cada tramo y los regímenes de recuperaciones y caudales afluentes. En la cuenca además está la sección del río Putaendo (Figura 2-2).

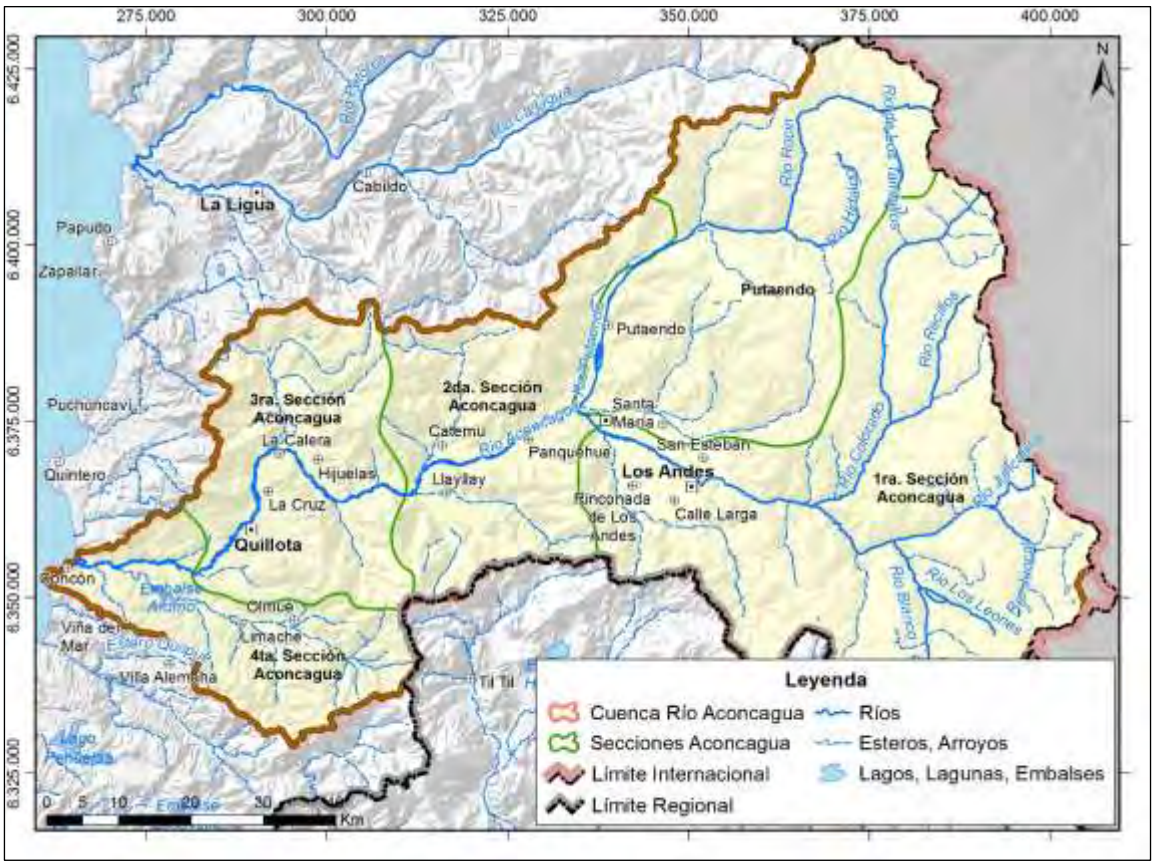
En las 3 primeras secciones de río Aconcagua, y en la sección del río Putaendo, se encuentra constituida una Junta de Vigilancia.

Los recursos de la Segunda Sección son mixtos, ya que, a los caudales superficiales que provienen de la Primera Sección y del río Putaendo, se adicionan los afloramientos de caudales subterráneos provenientes de los acuíferos de ambos sectores.

Cabe señalar que la Primera Sección del río Aconcagua y la sección del río Putaendo están declaradas legalmente agotadas para constitución de nuevos derechos permanentes.

Las aguas del río Aconcagua son ocupadas principalmente en actividades mineras, especialmente cuprífera (CODELCO, División Andina), riego del valle a lo largo de todo su recorrido, instalaciones industriales, y abastecimiento de agua potable al área intercomunal de Valparaíso.

Figura 2-2: Cuenca río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

La *Cuenca del Río Rapel* forma parte de la Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, formándose de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, que drenan los sectores norte y sur respectivamente de la cuenca. En su recorrido no recibe afluentes de importancia, y desemboca en el mar cerca del pueblo de Navidad (Figura 2-3).

El río Cachapoal recibe tributarios cordilleranos como los ríos Las Leñas, Cortaderal, Los Cipreses y el río Pangal. Cerca del pueblo Coya recibe al río homónimo y más abajo, cerca del valle central, al río Claro de Rengo. En el último tramo recibe la afluencia de varios esteros menores y el estero Antivero o Zamorano quienes, junto con el Claro, drenan el Valle Central en esta zona.

Desde el punto de vista de distribución del recurso, el río Cachapoal está dividido en tres secciones, cada una con una Junta de Vigilancia constituida.

El río Claro de Rengo drena las lagunas Negra y los Cristales. Cerca de su confluencia con el río Cachapoal, recibe al estero Guacarhue, que se alimenta de excedentes de riego. El río Claro está dividido en dos secciones, la primera de ellas cuenta con Junta de Vigilancia constituida.

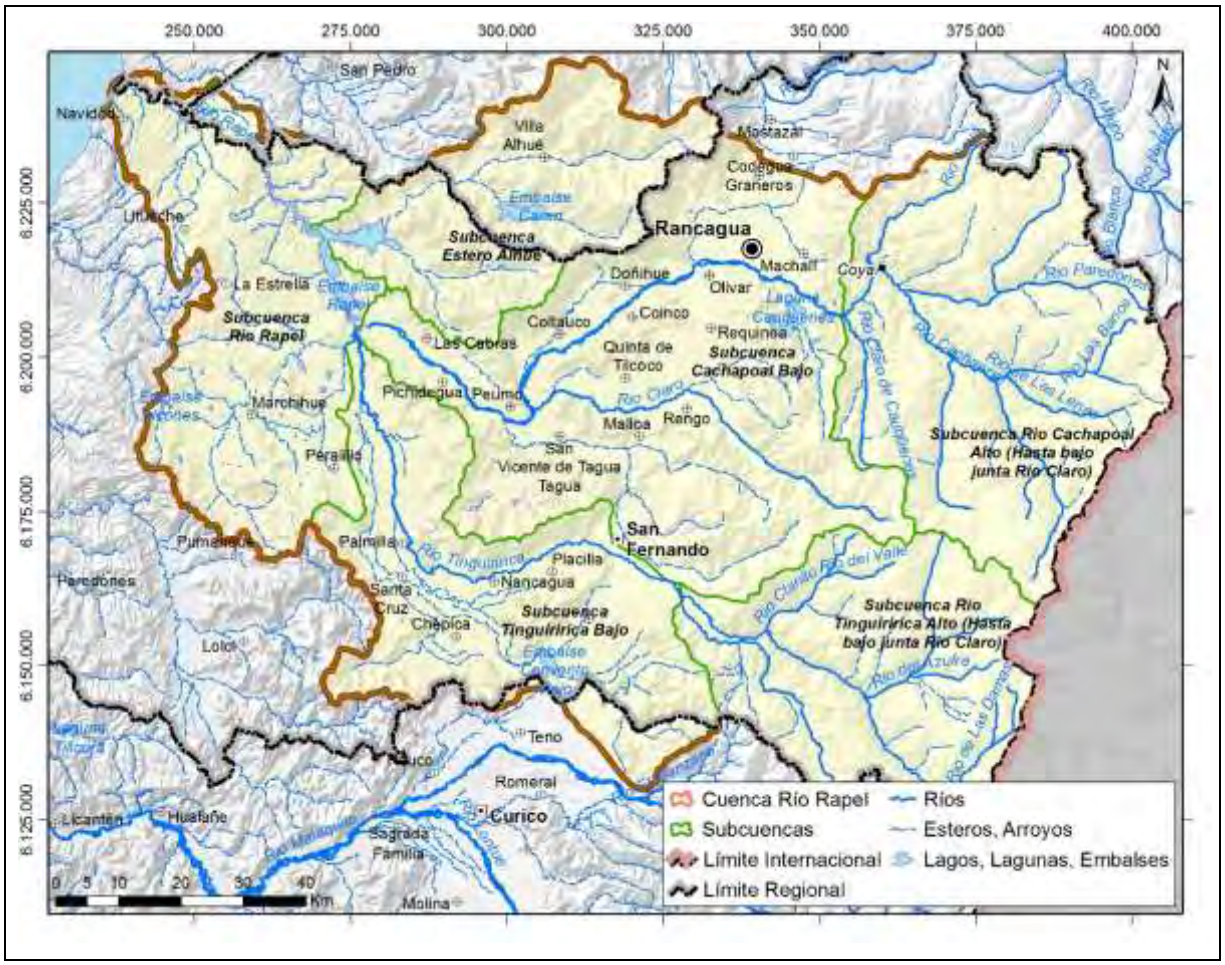
El estero Zamorano se origina en la precordillera, con el nombre de Antivero. Luego de un corto desarrollo, desemboca en el río Cachapoal, frente a Peumo, aguas abajo de la confluencia con el Claro de Rengo. En este estero hay constituida una Junta de Vigilancia.

El río Tinguiririca se forma en la cordillera de Los Andes de la confluencia de los ríos Las Damas y del Azufre. En su entrada en el Valle Central, el aporte más importante es el río Clarillo, y más abajo recibe el aporte del río Claro.

A pocos kilómetros de la ciudad de Santa Cruz se le une el estero Chimbarongo y termina uniéndose al Cachapoal en el embalse Rapel. El río Tinguiririca está dividido en dos secciones, la primera con Junta de Vigilancia Constituida, al igual que el estero Chimbarongo. El Estero Chimbarongo y la primera sección del río Tinguiririca están declarados agotados para otorgamiento de nuevos derechos consuntivos permanentes.

Las principales actividades económicas que se desarrollan en esta cuenca son la silvoagropecuaria y la minera.

Figura 2-3: Cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia

3 RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES

El siguiente capítulo presenta los antecedentes relevantes para el estudio, divididos en estudios existentes en las cuencas pilotos e información del catastro público de aguas (CPA).

3.1 ESTUDIOS TÉCNICOS

La recopilación de estudios técnicos está enfocada principalmente a revisar información que contenga caracterizaciones hidrológicas, estimación de oferta y demanda de agua, balances hídricos, catastro de usuarios de agua, catastros de obras hidráulicas y riego (bocatomas, canales, embalses) y análisis de mercados de agua, entre otros.

Las principales fuentes de información son entidades públicas como la Dirección General de Aguas (DGA), Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), Comisión Nacional de Riego (CNR), universidades, entre otras instituciones.

3.1.1 Estudios Generales

Actualización y complementación de información de organizaciones de usuarios (Aquaterra Ingenieros Ltda., 2009)

Este informe recopila información de todas las organizaciones de usuarios entre las regiones XV a VIII. La información importante de este estudio son los datos de contacto de cada Junta de Vigilancia y la información sobre cuántas organizaciones de usuarios hay por cada Junta.

Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras (Ayala, Cabrera y Asociados, 2007)

Este estudio presenta análisis de la demanda actual del agua para distintos usos en el país, por cada subcuenca. Para ello entrega información relativa a las fuentes de abastecimiento de agua potable y agua potable rural, industrias presentes en las zonas, mineras que operan en cada cuenca, cultivos y sus respectivas demandas de agua mensual, número de cabezas de ganado, centrales hidroeléctricas y la estimación de un caudal ecológico.

Para la cuenca del río Limarí, la estimación del caudal ecológico se realizó en los tramos donde se presentaba un cauce natural. Así, para la cuenca del río Hurtado se estimó un caudal ecológico de 0,25 m^3/s y en la cuenca del río Grande un caudal de 0,16 m^3/s (estación Mostazal en Cuestecita) y 0,73 m^3/s (estación Grande en Cuyano).

Para el caso de la cuenca Río Aconcagua, se replicaron los valores de caudal ecológicos estimados por DGA (Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2004).

En la cuenca Río Rapel los valores de los caudales ecológicos son 4,67 m^3/s y 0,85 m^3/s para la subcuenca Cachapoal y 4,54 m^3/s para el río Tinguiririca.

El estudio incluye además una proyección de demanda futura del agua para los distintos usos, estimado para los años 2010, 2015 y 2030. Con respecto al caudal ecológico, no presenta una estimación dado que la metodología de cálculo es única.

Los resultados de la estimación de las demandas permiten tener valores de referencia en cuanto al uso del agua en las cuencas en estudio.

3.1.2 Estudios Cuenca Río Limarí

Diagnóstico Plan Maestro para la gestión de recursos hídricos, Región De Coquimbo (CONIC-BF, 2013)

Este estudio contiene un diagnóstico de la situación hídrica en la Región de Coquimbo, incluyendo un análisis de la disponibilidad hídrica con base en la oferta y demanda del agua para cada cuenca de la región. Para el diagnóstico de la oferta hídrica se usó el modelo MAGIC, el cual permite la interacción entre caudales superficiales y aguas subterráneas.

Se concluye que en la cuenca del Río Limarí, hay un 64,7% de satisfacción de demanda promedio en el año, mientras que en verano se supliría un 55% del área.

La información relevante es la delimitación de zonas de riego, con sus respectivos tipos de cultivo, e información sobre otros usos del agua. Además entrega valores de coeficientes de cultivo y evapotranspiración específicos para la cuenca del Río Limarí.

Análisis del Manejo Operacional para escenarios críticos del Embalse La Paloma (Morales & Rojas, 2010)

En esta Memoria se explica el funcionamiento del sistema Paloma, el cual corresponde al conjunto de obras de regadío en la cuenca del Río Limarí, conformado principalmente por los embalses Recoleta, Paloma y Cogotí, los ríos Grande, Huatulame, Cogotí, Hurtado, Limarí y los respectivos canales.

El embalse Recoleta tiene una capacidad útil de 100 millones de m^3 y es administrado por la Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta. El Embalse Cogotí tiene una capacidad útil de 150 millones de m^3 y es administrado por la Asociación de Canalistas del Embalse Cogotí. Por último, el Embalse La Paloma posee una capacidad de 750 millones de m^3.

Análisis y valoración de la funcionalidad de la red fluviométrica y asignación de derechos de aprovechamiento, Anexo IV (Dirección de Planeamiento, 2006)

Este estudio tiene un anexo con entrevistas a distintas Juntas de Vigilancia de la cuenca del Río Limarí, en las que se menciona la cantidad de acciones para cada junta y su respectiva equivalencia (en L/s), además del valor de transacción por concepto de compra y venta de derechos (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Datos Organizaciones de agua

Organización	Acciones	Equivalencia (L/s)	Valor por acción ($)
Asociación de Canalistas Canal Camarico	5.500	0,13	2.500.000-3.000.000
Junta de Vigilancia Río Huatulame	12.000	0,16	3.000.000-5.000.000
Junta de Vigilancia Río Combarbalá	3.000	0,23	500.000
Junta de Vigilancia Río Pama	1.200	0,15	500.000-1.200.000
Junta de Vigilancia Río Rapel	3.622	0,14	S/I
Junta de Vigilancia Río Limarí	14.091	1	1.500.000-3.000.000
Asociación de Canalistas Embalse Recoleta	22.582	0,1	3.500.000
Junta de Vigilancia Río Hurtado	3.844	S/I	S/I

Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua, estudio de caso en la Región de Coquimbo (CAZALAC; RODHOS ASESORÍAS Y PROYECTOS LTDA., 2006)

Este estudio contiene un diagnóstico y modelo sobre el uso del agua en la cuenca del Río Limarí.

La mayoría de los canales tienen acciones permanentes sobre el río, y funcionan en base a turnos de entrega, aguas arriba de los embalses, mientras que los canales que están aguas abajo funcionan en base a una dotación volumétrica de las acciones que se define al inicio de cada temporada.

En cuanto al mercado del agua superficial, aguas arriba de los embalses se presentan traslados temporales e informales de acciones dentro de cada uno de los canales. En general, no quedan registros de transacciones en las comunidades de agua. Aguas abajo de los embalses, el traspaso de aguas es muy fluido.

Se reconocen 44.040 ha cultivadas o cultivables, de las cuales aproximadamente 10.000 se encuentran sobre embalses, sin regulación superficial. La distribución de acciones por hectárea varía entre 0,26 acciones por hectárea hasta 3,38 acciones por hectárea en el río Pama.

Las dotaciones de m^3/acción y m^3/ha al año varían desde valores muy altos sobre embalses (19.000 a 48.000 m^3/ha/año), hasta valores muy bajos (1.700 a 12.000 m^3/ha/año). Las zonas altas, reciben en promedio una mayor cantidad de agua por acción que las zonas bajas. Las zonas más desfavorecidas en cuanto a dotación de agua por hectárea, son las de Tamelcura, Camarico y Punitaqui.

Este estudio incluye coberturas en formato shape de bocatomas, canales, embalses, pozos, estaciones de monitoreo, coberturas para caracterizar la demanda hídrica, entre otras.

Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales, III Etapa (CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores, 2002)

En este estudio se realizó un catastro de bocatomas en la cuenca del Río Limarí. De acuerdo al levantamiento en terreno, en la cuenca hay 693 bocatomas efectivas, en su mayoría temporales, con uso de agua doméstico y riego. Además se menciona que hay 8 Juntas de Vigilancia, 409 comunidades de agua, 2 asociaciones de canalistas, 279 usuarios exclusivos y 3 usuarios que pertenecen a otro tipo de organización.

Este informe contiene un diagrama unifilar general del río Limarí.

3.1.3 Estudios Cuenca Río Aconcagua

Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Valparaíso (MOP, 2012)

En este estudio se realiza análisis territorial de la región de Valparaíso, enfocado en el levantamiento de la infraestructura existente y proyectada para el manejo del recurso hídrico, además de información sobre fuentes de abastecimiento de agua potable, uso del agua por parte de la minería, uso del agua en agricultura y en industria.

Actualización Catastro de usuarios/as de aguas de la primera sección de la Cuenca del Río Aconcagua (Infraestructura y Ecología S.A, 2011)

Este estudio tuvo por objetivo actualizar la información de catastro de usuarios, en la primera sección del Río Aconcagua, esto es, desde el nacimiento del río hasta la entrada sur de la ciudad de San Felipe.

Los usuarios de las aguas están organizados bajo la Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Aconcagua, la cual tiene 12.774 acciones (con rendimiento de acción de 1,8 L/s) correspondiente a derechos permanentes y 11.850 L/s correspondiente a derechos eventuales.

Se identificaron 6.209 usuarios, los cuales reciben agua a través de 163 canales (125 canales matrices, 31 canales derivados, 7 canales subderivados).

El informe contiene anexos con información de los accionistas, organizaciones de usuarios de aguas, canales, captaciones, detalle de canales, obras de captación, diagramas unifilares, entre otros.

Levantamiento e información sobre derechos no inscritos susceptibles de regularizar. Cuenca del río Aconcagua (AC Ingenieros Consultores Ltda., 2007)

El estudio recopiló, procesó y ordenó los antecedentes para generar una base de datos con el listado de los derechos de agua superficiales y subterráneos en cauces principales y afluentes de la cuenca del río Aconcagua que no se encuentran inscritos en los Conservadores de Bienes Raíces correspondientes.

Para ello se realizó un levantamiento de la información relacionada con los usos actuales de agua que son susceptibles de regularizar, encuestas con organizaciones, revisión de los derechos de aguas inscritos y registrados, levantamiento en terreno de aquellos derechos no inscritos.

Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua
(Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2004)

Este estudio tuvo como objetivo determinar la situación en que se encuentra la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Aconcagua.

Se realiza una descripción de la división administrativa del río, considerando las cuatro secciones más la sección del río Putaendo. Para cada sección se tiene información de los canales y sus derechos.

Se revisó la información de caudales medios mensuales de las estaciones fluviométricas de la DGA. Además se realizó un catastro de las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, se identificaron los derechos aprobados, regularizaciones y canales. Con dicha información, se asignó una demanda de agua superficial en cada sección.

Se determinaron caudales ecológicos a respetar en cada una de las subcuencas consideradas. Se destaca que en general los derechos de agua que se ejercen en la cuenca del río Aconcagua no están condicionados a respetar un determinado caudal ecológico, por lo que la determinación de caudales ecológicos tiene como objetivo fijar las condiciones ambientales que debieran cumplir aquellas solicitudes no resueltas. Finalmente se determinaron los siguientes caudales ecológicos:

Tramo de cauce	Cauce	Caudal Ecológico m^3/s
Entre estero Del Maitén y río Aconcagua	Río Colorado	0,86
Entre estero El Peñón y río Blanco	Río Juncal	1,25
Entre estero Polvareda y río Juncal	Río Blanco	0.90
Río Aconcagua entre ríos Blanco y Colorado	Río Aconcagua	2,00
Río Aconcagua entre río Colorado y puente Del Rey	Río Aconcagua	3,00
Estero Pocuro entre estero La Cuesta y río Aconcagua	Estero Pocuro	0,12
Río Putaendo entre ríos Rocín y Aconcagua	Río Putaendo	0,84
Río Rocín entre ríos Hidalgo y Putaendo	Río Rocín	0,64
Estero Quilpue entre estero El Cobre y río Putaendo	Estero Quilpue	0,32
Río Aconcagua entre puente Del Rey y puntilla Romeral	Río Aconcagua	3,50
Estero Lo Campo en junta río Aconcagua	Estero Lo Campo	0,12
Estero Los Loros en junta río Aconcagua	Estero Los Loros	0,32
Estero Catemu en junta río Aconcagua	Estero Catemu	0,34
Río Aconcagua entre puntilla Romeral y estero San Isidro (puente FFCC)	Río Aconcagua	3,50
Estero Rabuco en junta río Aconcagua	Estero Rabuco	0,07
Estero El Melón o Litres en junta río Aconcagua	Estero El Melón	0,66
Río Aconcagua entre estero San Isidro y desembocadura al mar	Río Aconcagua	4,30
Estero Rautén en junta río Aconcagua	Estero Rautén	0,02
Estero Limache entre embalse Los Aromos y río Aconcagua	Estero Limache	0,73

Se realizó un balance de disponibilidad de recursos, considerando la oferta de la fuente y la demanda que hay sobre ella. Se realizó un balance para cada punto de interés, para cada

cierre de subcuenca, para cada sección y un balance general integrado de toda la cuenca, que relaciona todas las subcuencas. Los balances se presentan en sus respectivos anexos.

El estudio concluye que en la primera sección del río Aconcagua no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes, que en la segunda y cuarta sección del río Aconcagua no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes, más allá de los comprometidos en estas secciones y que a pesar de existir recursos al fin de la segunda sección, estos recursos se encuentran comprometidos en la tercera sección del río Aconcagua. Para el caso de los derechos eventuales, tampoco existe la posibilidad de constituir nuevos derechos consuntivos, dado que ya no hay recursos disponibles al cierre de la cuenca.

Plan Director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua (Ayala, Cabrera y Asociados , 2001)

Este estudio corresponde al plan director de la gestión del agua en la cuenca del río Aconcagua. Incluye análisis hidrológico, estudio de la oferta de aguas superficiales y subterráneas en cada subcuenca, y una estimación de la demanda actual y futura para distintos usos del agua.

Además realiza un análisis del mercado de agua en base a las transacciones de los derechos realizados en la cuenca.

3.1.4 Estudios Cuenca Río Rapel

Diagnóstico para el desarrollo del riego en la segunda sección del río Claro de Rengo y estero Zamorano. (AQUASYS, 2011)

Dentro del estudio se presenta información de la superficie cubierta mediante distintos métodos de riego, y la superficie de los distintos tipos de cultivos presentes en las zonas de la segunda sección del río Claro de Rengo, estero Zamorano y estero Antivero.

Otro dato importante arrojado por el estudio es la cantidad de acciones que se tienen en cada fuente natural de agua y de ellas la cantidad que se encuentran distribuidas entre las comunidades de agua.

Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad (CADE-IDEPE, 2004)

En el estudio hay información sobre las superficies que las actividades agrícola y forestal poseen dentro de la cuenca del río Rapel. Para ambas se tienen datos gruesos sobre los porcentajes que los distintos cultivos representan en cada una de ellas. Esta información está basada en una carta SIG desarrollado en el estudio.

Posee un vasto estudio sobre la disponibilidad de recursos hídricos superficiales, considerando 12 estaciones fluviométricas distribuidas dentro de la cuenca. También se tiene información sobre las demandas de agua para las actividades de riego, abastecimiento de agua potable, uso industrial y minería.

Diagnóstico del riego y drenaje en la VI región (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 2003)

El estudio tiene información sobre el riego dentro de la región, principalmente sobre la infraestructura y eficiencia que se tienen en métodos utilizados. De forma más detallada se

pueden encontrar los diferentes tipos de cultivos y la superficie que éstos representan dentro de la cuenca.

Levantamiento de bocatomas en cauces naturales. Volúmenes III al VIII (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 2000)

Hay un levantamiento detallado de las bocatomas dentro de la cuenca del río Rapel, donde se tiene la ubicación en coordenadas UTM con su respectivo DATUM y algunas características de cada obra. Entre ellas se tiene si la obra se trata de una de tipo de uso permanente o eventual, material de construcción, dimensiones, estado de conservación y tipo de captación.

Por otro lado, se realizó una estimación de los caudales efectivos que capta cada obra de toma. El resultado se basó en datos obtenidos en terreno y principalmente a un método indirecto basado en cálculos hidráulicos para medir la capacidad del canal.

Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito. (Figueiredo Ferraz, 1996)

En el estudio se presenta información sobre la jurisdicción las 9 Juntas de Vigilancia dentro de la zona del río Rapel, además se tienen datos sobre su constitución y acciones de uso permanente y eventuales que poseen sus canales. También se muestran los derechos de fuente de las Asociaciones de Canalistas, y acciones y dotación pertenecientes a las Comunidades de Agua.

El estudio analiza la oferta hídrica en la zona utilizando 12 estaciones fluviométricas representativas de la cuenca. Dentro de ellas se consideran 40 años de datos para ser rellenados y obtener caudales para distintas probabilidades de excedencia.

Por otra parte, se realiza un estudio para determinar los caudales máximo que pueden captar los canales. Esto utilizando diferentes metodologías basadas en hidráulica de canales e información en terreno.

Finalmente, se estima la demanda mensual de riego para las diferentes secciones de las cuencas del río Rapel conjunto con el área considerada para riego en cada una de ellas.

Estudio de síntesis de catastro de usuarios de agua e infraestructura de aprovechamiento. (Ricardo Edwards, 1991)

El estudio presenta los diagramas unifilares para las cuencas del río Limarí, Aconcagua y Rapel, entre algunas, junto a datos gruesos sobre la información de la cuenca, infraestructura de riego, usos de agua, y organización de los usuarios.

3.2 INFORMACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA)

Se solicitó la información de derechos de aprovechamiento superficiales y solicitudes en trámite contenida en el Catastro Público de Agua (CPA) de la Dirección General de Aguas (DGA), actualizada hasta noviembre de 2014.

Cabe señalar que la base de datos que contiene las solicitudes en trámite incluye también las solicitudes de regularización de derechos de aprovechamiento (Expediente tipo NR). Estas solicitudes cuentan con informe técnico DGA, pero no se tiene conocimiento de la sentencia final emitida por el Juzgado de Letras correspondiente, por lo que no hay claridad sobre el valor del caudal aprobado. Estas regularizaciones corresponden a derechos que están siendo usados.

Por último, se solicitó información sobre las organizaciones de usuarios registradas en cada cuenca.

3.2.1 Cuenca Río Limarí

De acuerdo a la información recopilada, en la cuenca del Río Limarí hay 1.514 derechos otorgados. En la Tabla 3-2 se presentan los derechos otorgados, consuntivos y no consuntivos, de acuerdo a la unidad del caudal registrado en el CPA (acciones o L/s).

Se observa que los derechos no consuntivos tienen un caudal otorgado equivalente a 31.084 L/s, y corresponden principalmente a hidroeléctricas.

Del total de derechos, el 3% corresponde a derechos eventuales, equivalente a 5.262 L/s.

Tabla 3-2. Derechos de aprovechamiento de agua superficial en cuenca Río Limarí

Tipo Derecho	Caudal Otorgado		N° derechos		Total N° Derechos
	(acciones)	(L/s)	(acciones)	(L/s)	
Consuntivo	10.308	33.874	1.322	177	1.499
No Consuntivo		31.084		15	15
Total	10.308	64.958	1.322	192	1.514

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Tabla 3-3 se muestran las solicitudes en trámite en la cuenca, diferenciando las solicitudes que corresponden a regularizaciones de derechos de aprovechamiento (Expedientes tipo NR).

Cabe señalar que el caudal correspondiente a las regularizaciones incluye solicitudes de la Asociación de Canalistas Embalse Recoleta y Embalse Cogotí, por lo que están siendo usados actualmente. Además, hay 3 solicitudes de tipo No Consuntivo correspondientes a proyectos hidroeléctricos, presentados por las Juntas de Vigilancia de los ríos Combarbalá, Huatulame y Pama.

Tabla 3-3. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Limarí

Tipo de solicitud	Nº solicitudes	Caudal (L/s)
Solicitudes en Trámite	96	40.908
Regularizaciones	427	39.480.537

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Figura 3-1 se muestran los derechos, las solicitudes en trámite y las regularizaciones de agua superficial. Cabe señalar que del total de derechos otorgados, se pudo georreferenciar sólo el 15%. En base a esta información, se puede ver que el 53% de los derechos se encuentra en la comuna de Combarbalá, mientras que el 21% está localizado en la comuna de Monte Patria.

En cuanto a las organizaciones de usuarios, se registran 317 organizaciones, de las cuales 7 corresponden a Juntas de Vigilancia (Tabla 3-4), 5 a Asociaciones de Canalistas y 305 a Comunidades de Aguas.

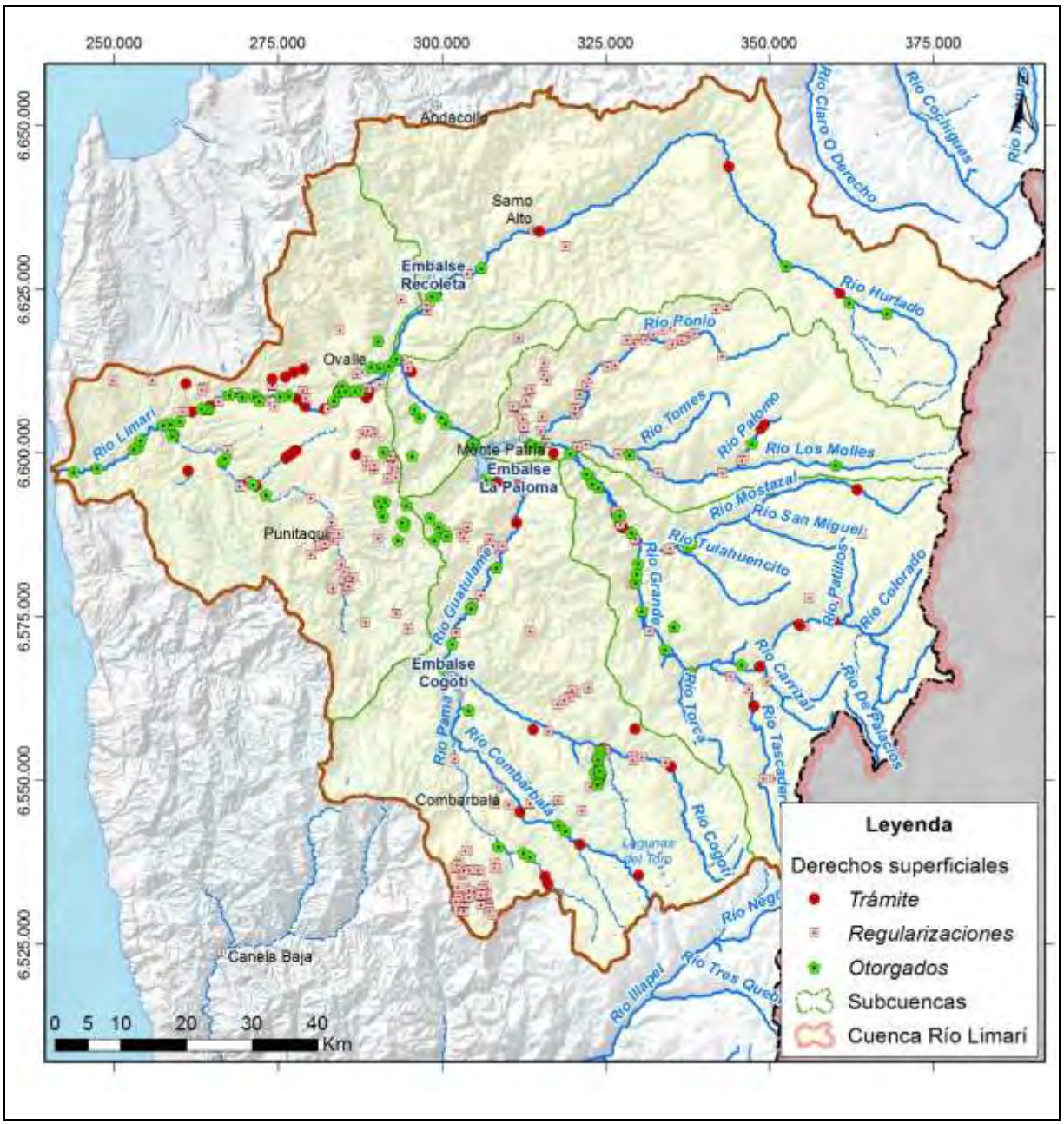
Destacan las asociaciones de canalistas Embalse Recoleta (22.589 acciones), Embalse Cogotí (12.000 acciones) y Canal Camarico (5.500 acciones).

Tabla 3-4. Juntas de Vigilancia registradas en DGA Cuenca Río Limarí

Expediente	Nombre de Organización	Acciones
NJ-0402-5	Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí y sus Afluentes	14.092
NJ-0402-2	Junta de Vigilancia del Río Mostazal y sus Afluentes	4.431
NJ-0402-6	Junta de Vigilancia del Río Hurtado y sus Afluentes	3.844
NJ-0402-4	Junta de Vigilancia del Río Combarbalá y sus Afluentes	3.606
NJ-0402-7	Junta de Vigilancia del Río Cogotí y sus Afluentes	2.123
NJ-0402-3	Junta de Vigilancia del Río Pama y sus Afluentes	1.205
NJ-0402-1	Junta de Vigilancia Río Huatulame	1.011

Fuente: Elaboración Propia, Registro de Usuarios DGA, 2014

Figura 3-1: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Limarí



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Cuenca Río Aconcagua

En base a información del CPA, en la cuenca del Río Aconcagua hay 1.017 derechos superficiales, como se muestra en la Tabla 3-5. El caudal de derechos no consuntivos corresponde principalmente a derechos de empresas mineras, como CODELCO, y compañías hidroeléctricas.

El 8% de los derechos corresponde a derechos eventuales, equivalentes a un caudal de 114.790 L/s.

Tabla 3-5. Derechos de aprovechamiento de agua superficial en cuenca Río Aconcagua

Tipo Derecho	Caudal Otorgado		N° derechos		Total N° Derechos
	(acciones)	(L/s)	(acciones)	(L/s)	
Consuntivo	5.430	203.528	159	793	951
No Consuntivo		212.380		65	66
Total	5.430	415.909	159	858	1.017

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

Con respecto a las solicitudes en trámite, hay 697 solicitudes registradas, de las cuales 521 corresponden a regularizaciones (Tabla 3-6). De las solicitudes en trámite, el 57% corresponde a tipo de derecho no consuntivo.

Como se observa, el caudal relacionado a las solicitudes en trámite asciende a 1.068.339 L/s, de los cuales el 34% corresponde a solicitudes realizadas por la DOH para el funcionamiento de los embalses proyectados en la región (derechos no consuntivos para los Embalse Puntilla del Viento y Embalse Catemu) y para generación de energía hidroeléctrica.

Tabla 3-6. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Aconcagua

Tipo de solicitud	Nº solicitudes	Caudal (L/s)
Solicitudes en Trámite	176	1.068.339
Regularizaciones	521	17.514

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Figura 3-2 se muestran los derechos y solicitudes que pudieron ser georreferenciados (20% del total).

En cuanto a organizaciones de usuarios registradas en la DGA, en la cuenca hay 108 Organizaciones de Usuarios, de las cuales 4 corresponden a Juntas de Vigilancia, 16 Asociaciones de Canalistas y 89 Comunidades de Agua.

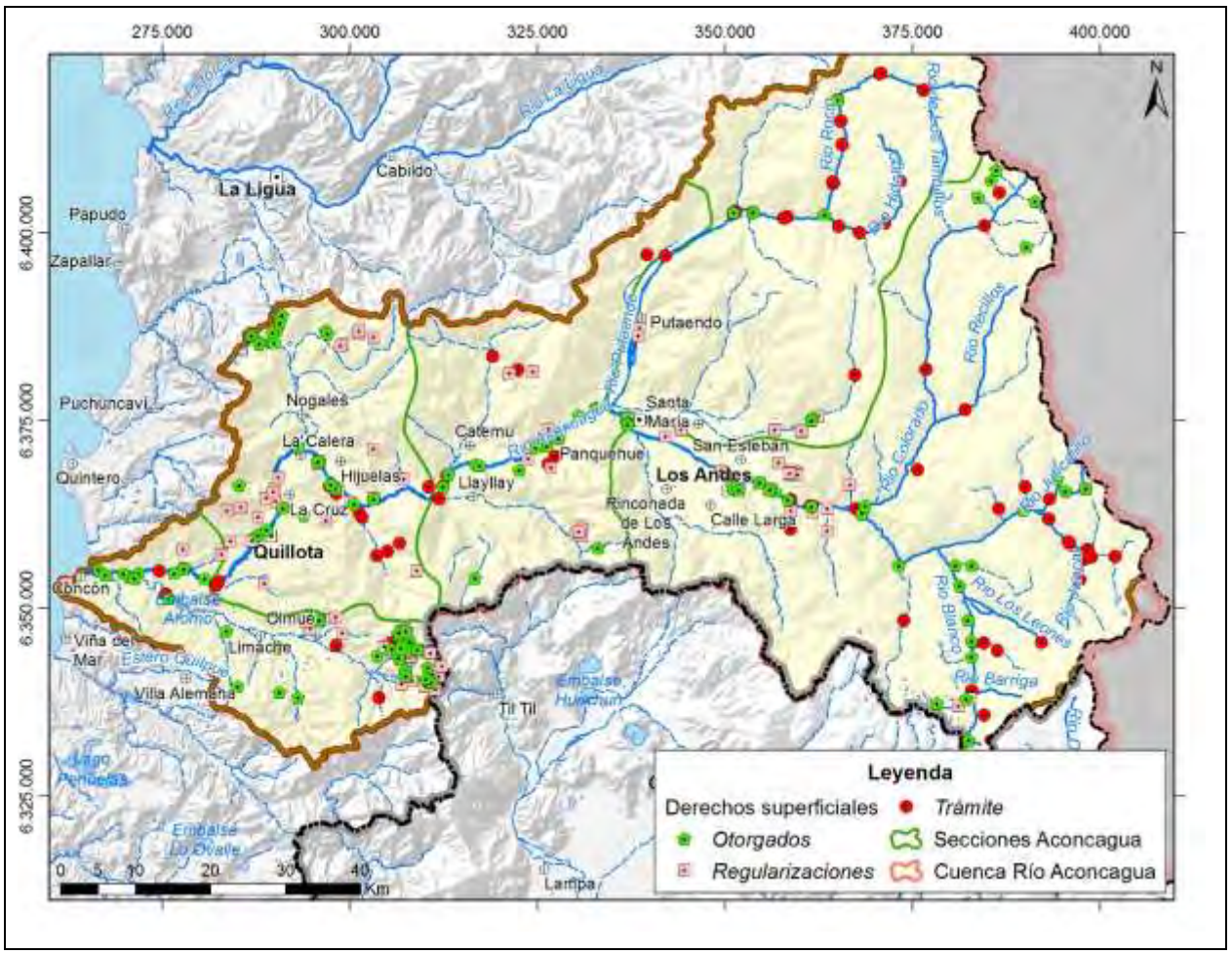
En la Tabla 3-7 se presentan las Juntas de Vigilancia registradas con sus respectivas acciones permanentes. Cabe destacar también a la Asociación de Canalistas Sociedad del canal Lorino o Peirano, que tiene 100.000 acciones.

Tabla 3-7. Juntas de Vigilancia registradas en la DGA Cuenca Río Aconcagua

Expediente	Nombre de Organización	Acciones
NJ-0502-1	Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Aconcagua	12.774
NJ-0503-1	Junta de Vigilancia del Río Putaendo	6.053
NJ-0503-2	Junta de Vigilancia de la Segunda sección del río Aconcagua	27.480
NJ-0504-1	Junta de Vigilancia del Río Aconcagua Sector Quillota (Tercera Sección)	11.772

Fuente: Elaboración Propia, Registro de Usuarios DGA, 2014

Figura 3-2: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 Cuenca Río Rapel

En la cuenca del Río Rapel hay 1.210 derechos otorgados, de los cuales el 81% corresponden a derechos de tipo consuntivo (Tabla 3-8).

El caudal relacionado a los derechos no consuntivos corresponde principalmente a uso en generación de energía hidroeléctrica.

En esta cuenca el 16% de los derechos son eventuales, relacionados principalmente a hidroeléctricas y a la DOH, equivalente a 1.455.565 L/s

Tabla 3-8. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Rapel

Tipo Derecho	Caudal Otorgado		N° derechos		Total N° Derechos
	(acciones)	(L/s)	(acciones)	(L/s)	
Consuntivo	7.994	151.829	316	667	983
No Consuntivo		1.616.237		227	227
Total	7.994	1.768.066	316	894	1.210

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Tabla 3-9 se presentan las solicitudes en trámite, de las cuales 793 corresponden a regularizaciones. De las solicitudes en trámite, el 91% corresponde a tipo no consuntivo.

Tabla 3-9. Solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Rapel

Tipo de solicitud	Nº solicitudes	Caudal (L/s)
Solicitudes en Trámite	385	3.169.378
Regularizaciones	793	97.574

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Figura 3-3 se observan los derechos y solicitudes georreferenciadas (47% del total de derechos otorgados).

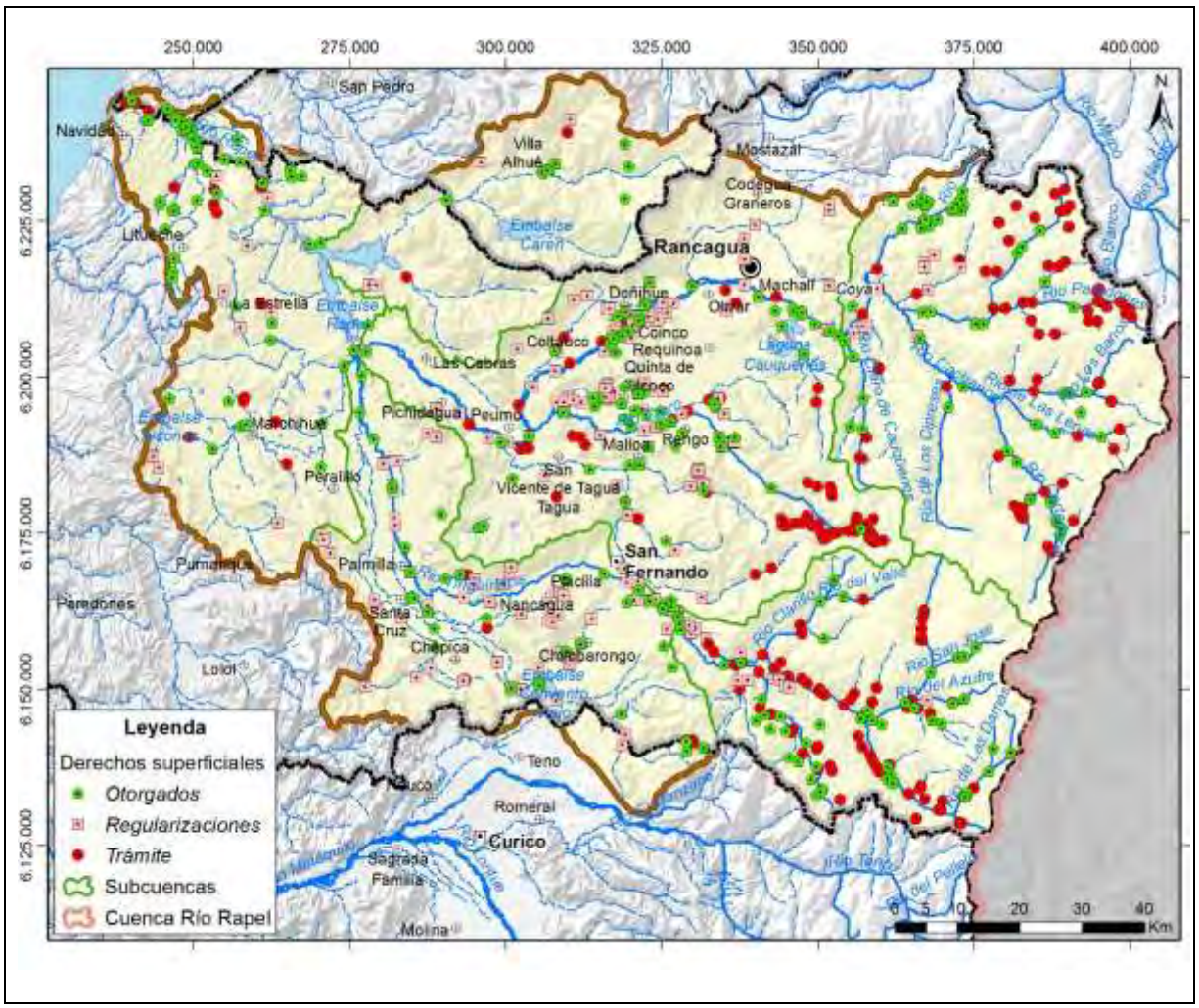
En relación a las organizaciones de usuarios, en la cuenca del Río Rapel hay 9 Juntas de Vigilancia constituidas (Tabla 3-10), 39 Asociaciones de Canalistas y 351 Comunidades de Agua.

Tabla 3-10. Juntas de Vigilancia registradas en la DGA Cuenca Río Rapel

Expediente	Nombre de Organización	Acciones
NJ-0601-2002	Junta de Vigilancia Tercera Sección río Cachapoal	4.660
NJ-0601-2006	Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas de Peumo	S/I
NJ-0601-3	Estero Zamorano	100.000
NJ-0601-4	Primera Sección del río Claro de Rengo	5.975
NJ-0601-6	Río Cachapoal segunda Sección	19.247
NJ-0601-7	Del río Cachapoal primera Sección	1.000
NJ-0602-1	El río Tinguiririca	26.375
NJ-0602-2001	Estero Puquillay o Pudimavida	1.242
NJ-0602-4	Estero Chimbarongo	23.530

Fuente: Elaboración Propia, Registro de Usuarios DGA 2014

Figura 3-3: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial en Cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia

3.3 REVISIÓN DE EXPEDIENTES CON CAUDAL ECOLÓGICO ESTABLECIDO

De acuerdo a la información contenida en el CPA, para cada cuenca en estudio existen derechos otorgados con estimación de caudal ecológico. Los expedientes asociados a estos derechos que están digitalizados fueron proporcionados por la DGA para su revisión.

3.3.1 Derechos otorgados con Caudal ecológico

En general, del total de derechos otorgados sólo el 8% posee caudal ecológico establecido. A nivel de cuenca los derechos con caudal ecológico son marginales, representando sólo un 19% en la cuenca del Río Rapel, un 4% en la cuenca del Río Aconcagua y un 1% en la cuenca del Río Limarí.

El bajo número de derechos con caudal ecológico estimado se puede explicar debido a que la mayoría de ellos corresponden a derechos otorgados antes de la década del 90, en donde no existía aún el concepto de caudal ecológico. En el Código de Aguas de 1981 sólo se hacía mención en cuanto a las condiciones de uso de los derechos de aprovechamiento, el cual establecía que no se debía perjudicar los derechos de terceros constituidos sobre las mismas aguas.

En las siguientes tablas se presenta la situación por cuenca, indicando el número de derechos otorgados con caudal ecológico estimado, asociado a alguna fuente de abastecimiento (se muestran solo las fuentes donde hay al menos un derecho con caudal ecológico estimado). También se indica el número total de derechos por subcuenca y fuente, y el caudal ecológico promedio.

En la Tabla 3-11 se presenta la cantidad de derechos con caudal ecológico (Q eco) en la cuenca del río Limarí. Solo en 3 subcuencas hay cauces con caudal ecológico estimado, donde se observa que rara el río Limarí se estima un caudal ecológico del orden de 1 m^3/s, en 6 derechos.

Tabla 3-11. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Limarí

Subcuenca	N° de derechos Subcuenca*	Fuente (con Q eco)	N° de derechos según Fuente	N° de derechos con Q eco	Q eco promedio (L/s)
Río Limarí	189	Río Limarí	145	6	1.080
		Acuífero	1	1	1
Río Grande Bajo	12	Quebrada Josecito	1	1	1
Rio Huatulame	853	Quebrada La Cantera	1	1	0,21
Subtotal	1.054	--	148	9	--

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

*Hay 3 derechos que no pudieron ubicarse en alguna subcuenca

En la Tabla 3-12 se presenta la situación en la cuenca del río Aconcagua, en donde se observa que para todas las secciones el río Aconcagua tiene un caudal ecológico estimado, aunque solo en 19 derechos. En promedio, considerando el río Aconcagua en toda su extensión, tiene un caudal ecológico estimado de 2.798 L/s. De este valor, destaca que hay

dos derechos con caudal ecológico igual a 2,4 L/s, mientras que los demás derechos tienen un caudal estimado promedio que supera los 3.100 L/s.

Considerando el total de derechos ubicados en las fuentes analizadas, el 14% de ellos tiene caudal ecológico, mientras que si se considera el total de derechos de la cuenca, se tiene que solo un 4% tiene caudal ecológico.

Tabla 3-12. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Aconcagua

Sección	N° de derechos Sección*	Fuente** (con Q eco)	N° de derechos según Fuente	N° de derechos con Q eco	Q Eco promedio (L/s)
Primera	187	Río Aconcagua	109	5	2.750
		Río Juncal	6	2	170
		Río Juncalillo	6	4	32
		Río Blanco	16	1	540
Segunda	41	Rio Aconcagua	23	6	3.383
		Estero Aguas Claras	1	1	20
		Estero el Tabon	3	3	20
		Estero Lo Campo	5	1	60
		Vertiente sin Nombre	2	2	50
Tercera	91	Rio Aconcagua	55	1	3.500
		Quebrada Las Canteras	2	2	1
Cuarta	110	Rio Aconcagua	54	5	1.721
		Estero Limache	11	1	893
Putaendo	584	Río Aconcagua	3	2	3.500
		Río Rocín	6	5	593
Subtotal	1.013	--	302	41	--

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

*Valor considerando derechos que pudieron ubicarse en alguna sección (4 derechos sin sección)

**Valor considerando los derechos que tienen fuente de abastecimiento asociada (97% de los derechos tiene información de fuente de abastecimiento)

En la cuenca del río Rapel hay mayor cantidad de derechos con caudal ecológico asociado, por lo que la información que se presenta en la Tabla 3-15 se agrupa por subcuenca y no por fuente de abastecimiento, dado la gran cantidad de ríos y esteros donde se ubican los derechos.

Para desglosar la información en esta cuenca, se describe en general el comportamiento del caudal ecológico aprobado para cada subcuenca. El río Cachapoal en la subcuenca Río Cachapoal Bajo tiene un caudal ecológico promedio estimado de 18.610 L/s (asociado a derechos de tipo No consuntivo), pero al estimar un caudal promedio, da un caudal ecológico menor, asociado a esteros y vertientes ubicados en la zona. Mientras que en la subcuenca Río Cachapoal Alto el río homónimo presenta un caudal ecológico menor

(5.416 L/s). En la cuenca Río Rapel, el río principal presenta un caudal ecológico estimado de 13.354 L/s, con variaciones de acuerdo al año de otorgamiento, mientras que los otros cauces con caudal estimado corresponden a esteros. Por último el río Tinguiririca tiene estimado un caudal ecológico promedio de 1.605 L/s, solo presente en la cuenca de río Tinguiririca Alto.

Tabla 3-13. Derechos otorgados con caudal ecológico Cuenca Rapel

Subcuenca	N° de derechos Subcuenca*	N° de derechos con Q eco	Q eco promedio (L/s)
Río Cachapoal Alto	162	61	1.728
Río Cachapoal Bajo	402	14	2.863
Río Rapel	134	55	7.064
Río Tinguiririca Alto	178	87	852
Río Tinguiririca Bajo	291	8	1.184
Subtotal	1.167	225	--

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

*Valor considerando derechos que pudieron ubicarse en alguna sección (18 derechos sin ubicación)

Para efectos de revisión y análisis, los derechos otorgados que tienen caudal ecológico estimado fueron agrupados de acuerdo a tres periodos, en base al año de resolución de otorgamiento del derecho. Los periodos definidos son los siguientes:

- Primer periodo (<2002): corresponde al periodo antes de mayo 2002, dado que en ese año se promulgó el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos".
- Segundo periodo (2002-2008): corresponde al periodo posterior a mayo 2002 y previo a diciembre 2008. En este año se promulgó el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" en donde incorpora el caudal ecológico a nivel mensual.
- Tercer periodo (2008-2012): corresponde al periodo posterior a diciembre 2008 y previo a mayo 2012. En este año se promulgó el Decreto N°14 por parte del Ministerio del Medio Ambiente.
- Cuarto periodo (>2012): corresponde al periodo posterior al año 2012.

La Tabla 3-14 y

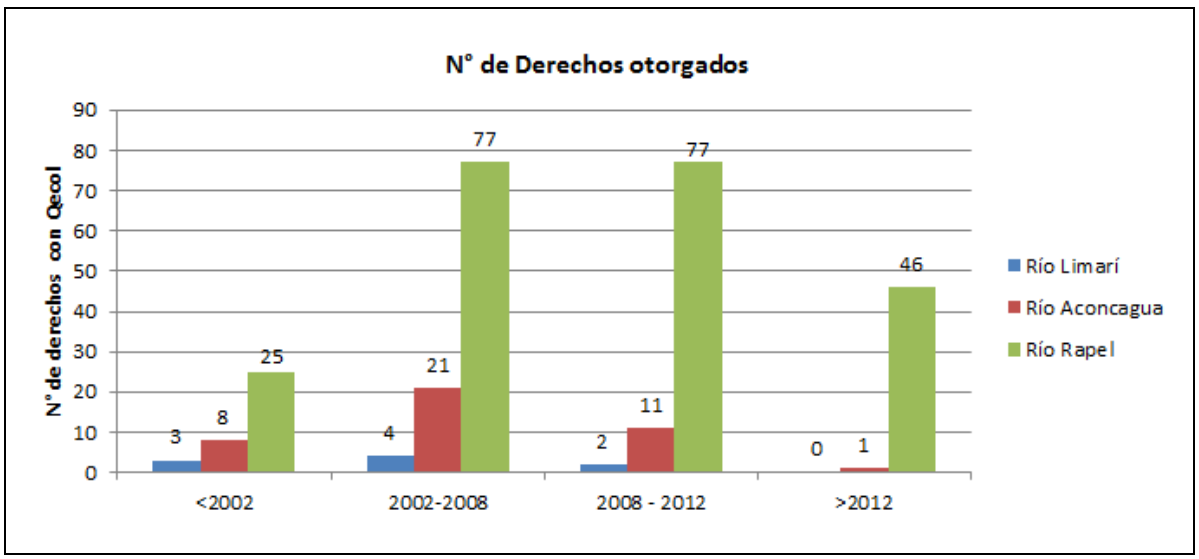
Figura 3-4 presentan la cantidad de derechos con caudal ecológico para cada cuenca y periodo (periodo en base a la fecha de resolución). Se observa que en el segundo y tercer periodo se concentra la mayor cantidad de derechos otorgados en todas las cuencas con cerca del 70% de todos los derechos otorgados con caudal ecológico. Destaca además, que para el último periodo las cuencas de Limarí y Aconcagua el otorgamiento de derechos con caudal ecológico es casi despreciable.

Tabla 3-14. Cantidad de derechos con caudal ecológico por periodo en la cuenca

Periodo	Río Limarí	Río Aconcagua	Río Rapel
	N° de derechos con Q ecológico	N° de derechos con Q ecológico	N° de derechos con Q ecológico
<2002	3	8	25
2002-2008	4	21	77
2008-2012	2	11	77
>2012	0	1	46
Total	9	41	225

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

Figura 3-4: Cantidad de derechos con caudal ecológico por periodo



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

Para revisar y analizar las metodologías usadas en la estimación de caudal ecológico, se solicitaron los expedientes correspondientes a cada derecho. Del total de derechos otorgados con caudal ecológico, se obtuvieron 111 expedientes digitalizados, lo que corresponde a un 40% del total de los derechos con caudal ecológicos registrado en las tres cuencas.

La revisión estuvo enfocada en analizar los informes técnicos incluidos en los expedientes, los cuales contienen el método de cálculo y resultados del caudal ecológico. De los 111 expedientes revisados, nueve de ellos no contaban con informe técnico, por lo que en estos casos se consideró el año de resolución del otorgamiento del derecho.

En la Tabla 3-15 se muestran los derechos otorgados de acuerdo a la metodología utilizada en la estimación del caudal ecológico, además del periodo en el que fue realizado el informe técnico para el otorgamiento del derecho.

Se observa que en la cuenca del río Aconcagua el 83% de los expedientes está digitalizado, mientras que en río Rapel sólo el 30% lo está. Es relevante mencionar, que de todos los derechos otorgados posterior al año 2012 el 100% pertenecen a la cuenca del Río Rapel.

De acuerdo a lo revisado, en el 37% de los expedientes no se indica la metodología usada para la estimación del caudal ecológico, mientras que en el 23% de los casos se calcula como el 10% del caudal medio anual. En el periodo posterior al año 2012 sólo dos expedientes hacen uso de la metodología 2012.

Tabla 3-15. Cantidad de derechos según metodología de estimación de caudal ecológico utilizada

Periodo	Cuenca		Limarí	Aconcagua	Rapel	TOTAL
	Derechos con Q ecológico		9	41	225	275
	Expedientes digitalizados		7	34	68	109
	% Expedientes digitalizados		78%	83%	30%	40%
<2002	Metodología utilizada*	1	0	3	0	3
		2	0	6	1	7
		6	1	8	5	14
	Total		1	17	6	24
2002-2008	Metodología utilizada*	1	3	1	13	17
		2	1	0	3	4
		3	0	0	1	1
		6	2	12	10	24
	Total		6	13	27	46
2008-2012	Metodología utilizada*	1	0	4	1	5
		2	0	0	2	2
		3	0	0	15	15
		4	0	0	1	1
		5	0	0	1	1
		6	0	0	8	8
	Total		0	4	28	32
>2012	Metodología utilizada*	3	0	0	4	4
		4	0	0	2	2
		6	0	0	1	1
	Total		0	0	7	7

Fuente: Elaboración Propia

*Metodología Utilizada
1: Caudal igual al 10% del caudal medio anual
2: Caudal igual al 50% del caudal mínimo de estiaje del año asociado a una probabilidad de excedencia del 95%
3: Incorporación de caudales mensuales (2008)
4: Decreto N°14 (2012)
5: Otra metodología
6: Sin Metodología

3.3.2 Caudales ecológicos por tramo

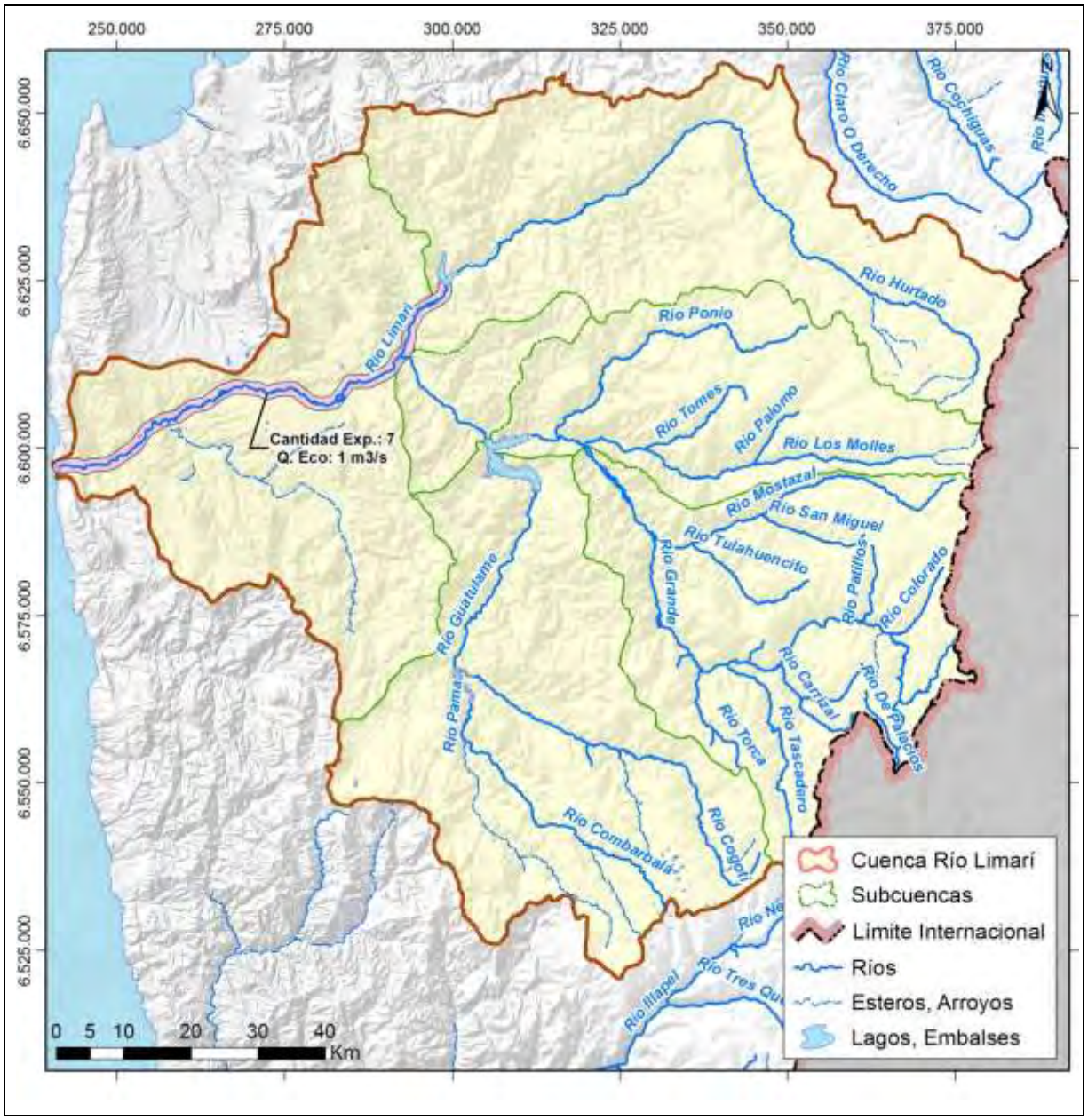
Para conocer y analizar la distribución de los caudales ecológicos en cada cuenca, se georreferenciaron los derechos con caudal ecológico estimado para ver su ubicación en algún tramo de los cauces. Cabe señalar que se consideran sólo los derechos con información de coordenadas.

El análisis se realizó sobre los principales cauces, verificando la cantidad de derechos con caudal ecológico asociados a éstos. En las Figura 3-5 a Figura 3-7 se muestran los tramos de río analizados. Como se observa, en la cuenca del Río Limarí, el único tramo que tiene caudal ecológico es el Río Limarí (sector bajo el embalse Recoleta), con un caudal asociado de 1 m^3/s.

En la cuenca del río Aconcagua se agruparon los derechos en tramos del río Aconcagua y en los afluentes con caudales ecológicos homogéneos, como el río Blanco, cuyo caudal ecológico es de 0,52 m^3/s, y corresponde a la zona donde se emplaza la faena de CODELCO. En la sección del río Putaendo, sólo el afluente Rocín tiene caudal ecológico homogéneo, el cual se encuentra entre los 0,37 y 0,74 m^3/s.

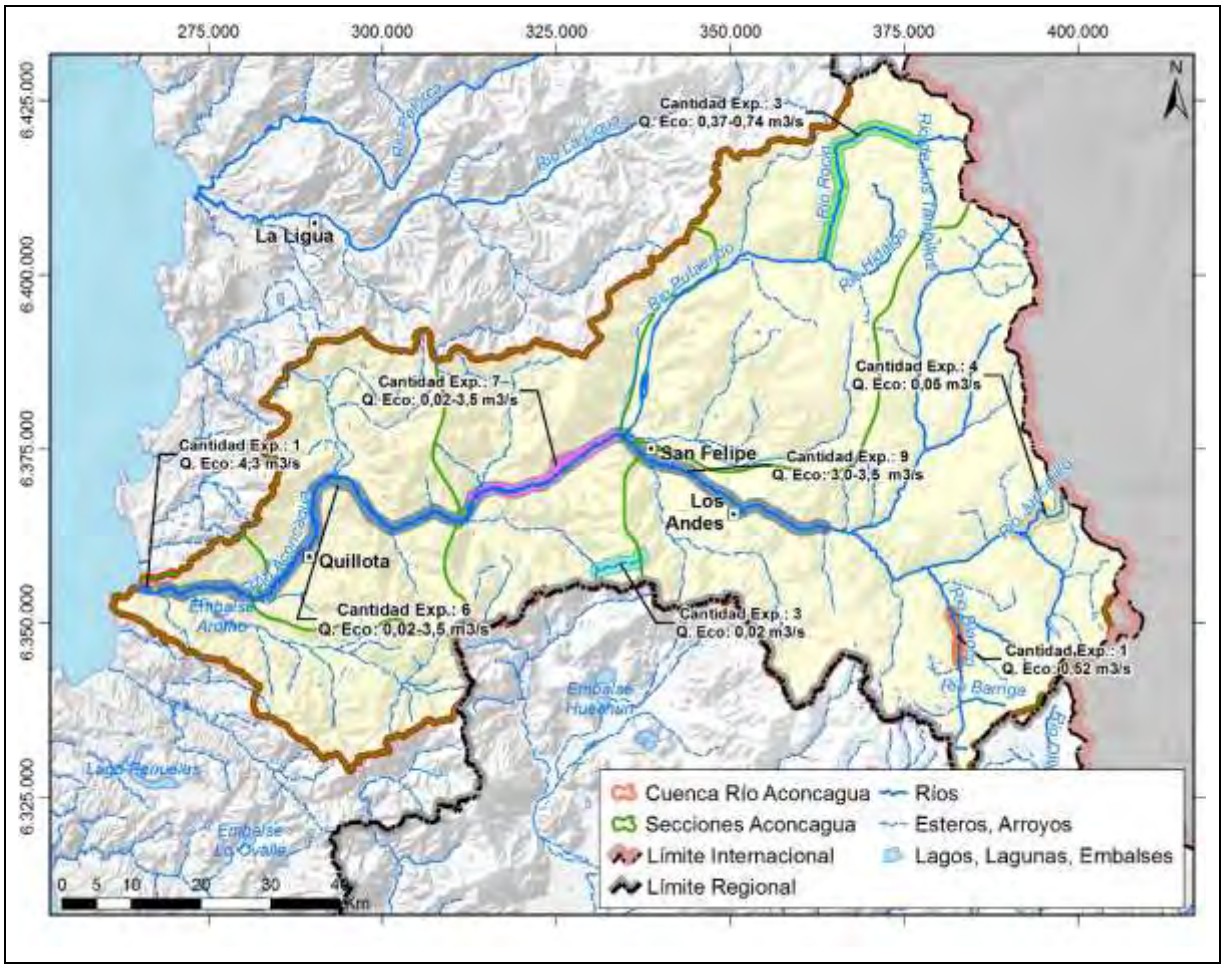
En la cuenca del río Rapel, como ya se mencionó en el apartado anterior, se presenta una mayor cantidad de derechos con caudal ecológico estimado, por lo que se definieron varios tramos de cauces. El tramo con mayor caudal ecológico estimado corresponde al río Rapel, con caudales que se encuentran entre los 12 y 22 m^3/s para 11 de los derechos asignados, seguido por un tramo del Río Cachapoal, ubicado en la parte central de la cuenca, con caudales entre los 16,93 y 18,61 m^3/s para 6 derechos establecidos.

Figura 3-5: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Limarí



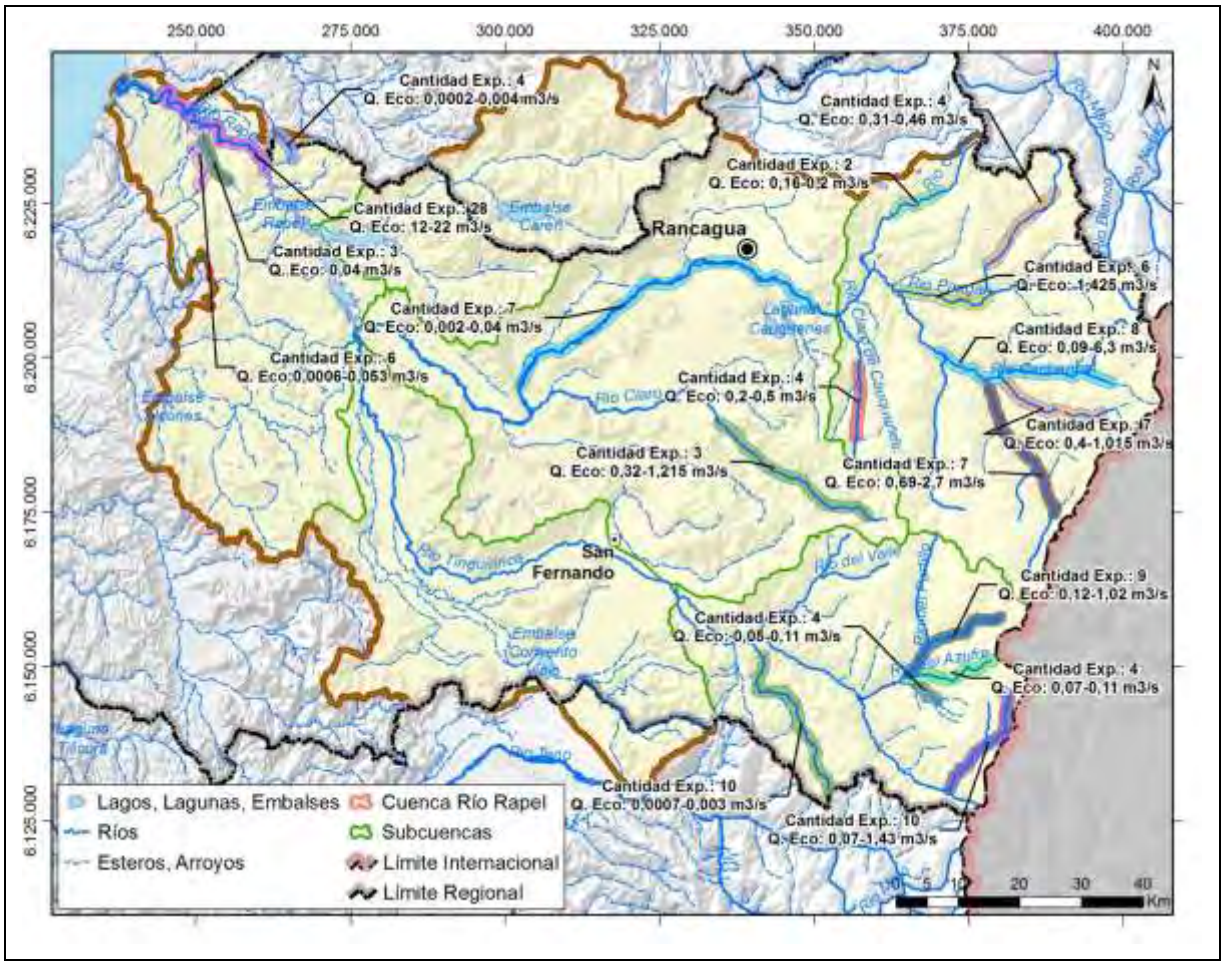
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-6: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-7: Situación Caudal ecológico en Cuenca del Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia

4 ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DE CAUDALES

Se realizó una estimación de la oferta hídrica, definida para el estudio como la disponibilidad de caudal superficial en los cauces para las series históricas de información fluviométrica disponible, pertenecientes a la red de monitoreo de la DGA.

Esta estimación se desarrolló analizando los caudales medios mensuales por medio de análisis de frecuencia.

4.1 INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

4.1.1 Disponibilidad de Información

Para el análisis de oferta hídrica superficial, se solicitó a la DGA la información fluviométrica existente para las cuencas de los ríos Limarí, Aconcagua y Rapel. En la Tabla 4-1 se presenta como resumen el total de las estaciones en las cuencas, cantidad de estaciones vigentes y suspendidas y la cantidad de años de registro que tienen en promedio éstas.

Tabla 4-1. Comparación de información fluviométrica entre cuencas

Cuenca	Número de estaciones	Estaciones vigentes	Estaciones suspendidas	Promedio años registro	Promedio años vigentes
Limarí	35	20	15	35	48,6
Aconcagua	34	11	23	18	40,4
Rapel	23	17	6	18	19,8

Fuente: Elaboración Propia, BNA

El mejor registro lo presenta la cuenca del Limarí con la mayor cantidad de estaciones vigentes y el mejor promedio de años registrados.

Para las cuencas de Limarí y Aconcagua se tiene un registro bastante completo sobre la información de caudales, con un valor promedio para los años en las estaciones vigentes mayor a 40 años, mientras que en la cuenca del río Rapel este valor no supera los 20 años.

A continuación, en la Tabla 4-2, Tabla 4-3 y Tabla 4-4 se presenta la información correspondiente a las estaciones dentro de las cuencas en estudio y en las Figura 4-1, Figura 4-3 y Figura 4-5 se observan sus ubicaciones geográficas.

La disponibilidad de información histórica de caudales mensuales en las estaciones fluviométricas, se presenta en la Figura 4-2, Figura 4-4 y Figura 4-6. En estas se puede observar que para la cuenca del río Limarí se cuenta con información completa para varias estaciones a partir del año 1960, las que dan una buena representación hidrológica de la zona. Por otro lado, la cuenca del río Aconcagua cuenta con un conjunto suficiente de estaciones con registro completo desde la década del 1970. Finalmente en la cuenca del río Rapel la información que se tiene registrada hasta el año 1985 es deficiente e incompleta; posterior al año 2000 ingresan nuevas estaciones al registro fluviométrico pero continúa siendo deficiente para la caracterización de caudales en el largo plazo.

Tabla 4-2. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Limarí

Estación Fluviométrica	Código BNA DGA	Código estudio	UTM (m) Norte	UTM (m) Este	Altitud (msnm)	Años de Registro
Río Hurtado en San Agustín	04501001-5	LI-01	6.628.943	352.522	2.035	52
Río Hurtado en Las Breas	04501002-3	LI-02	6.637.602	346.264	1.645	17
Río Hurtado en La Cortadera	04502001-0	LI-03	6.642.905	330.160	900	15
Río Hurtado en angostura de Pangue	04503001-6	LI-05	6.630.860	307.719	485	54
Río Hurtado en entrada embalse Recoleta	04506002-0	LI-06	6.626.464	301.367	410	23
Canal Tuqui en salida embalse Recoleta	04506003-9	LI-07	6.624.327	299.113	380	43
Canal alimentador Recoleta entrada embalse	04506004-7	LI-08	6.623.942	301.652	400	6
Canal alimentador Recoleta en bocatoma	04506005-5	LI-09	6.602.054	318.025	450	8
Río Grande en Las Ramadas	04511002-8	LI-10	6.567.981	349.060	1.380	53
Río Tascadero en desembocadura	04512001-5	LI-11	6.567.834	341.105	1.370	52
Río Grande en Cuyano	04513001-0	LI-12	6.577.404	330.580	870	54
Río Mostazal en Cuestecita	04514001-6	LI-13	6.589.984	345.718	1.250	45
Río Mostazal antes junta río Tulahuencito	04515001-1	LI-14	6.586.207	336.100	685	7
Río Mostazal en Carén	04515002-K	LI-15	6.586.494	330.781	700	41
Río Grande en Coipo	04516001-7	LI-16	6.593.002	325.626	575	18
Canal Palqui en Semita	04516002-5	LI-17	6.589.305	329.406	660	23
Río Los Molles en Ojos de Agua	04520001-9	LI-19	6.597.878	362.256	2.355	44
Canal central Los Molles en cámara DGA	04520002-7	LI-20	6.595.214	345.350	2.465	44
Río Rapel en Paloma	04522001-K	LI-23	6.598.785	345.219	1.190	13
Río Rapel en Junta	04522002-8	LI-24	6.601.205	320.649	485	53
Río Grande en Agua Chica	04523001-5	LI-25	6.601.808	318.030	440	23
Río Grande en Puntilla San Juan	04523002-3	LI-26	6.601.491	315.694	420	54
Río Cogotí en Fragüita	04530001-3	LI-27	6.556.413	320.235	1.065	43
Río Cogotí en Cogotí 18	04531001-9	LI-28	6.559.468	313.449	810	23
Río Cogotí entrada embalse Cogotí	04531002-7	LI-29	6.564.958	305.262	670	54
Río Combarbalá en Ramadillas	04532001-4	LI-30	6.543.496	317.834	1.430	39
Río Pama en Valle Hermoso	04533002-8	LI-33	6.539.206	310.447	850	27
Río Pama entrada embalse Cogotí	04534001-5	LI-34	6.559.275	302.846	680	23
Río Huatulame en salida embalse Cogotí	04535002-9	LI-35	6.568.626	300.445	625	54
Canal matriz Cogotí en bocatoma	04535003-7	LI-36	6.581.535	307.215	485	6
Río Huatulame en El Tomé	04537001-1	LI-37	6.590.792	311.543	410	51
Canal Camarico aguas abajo compuertas	04540003-4	LI-41	6.601.801	303.655	319	54
Estero Punitaqui en Chalinga	04556001-5	LI-45	6.595.558	268.647	175	15
Estero Punitaqui antes junta río Limarí	045 57002-9	LI-46	6.603.949	257.925	170	51
Río Limarí en panamericana	04558001-6	LI-47	6.604.551	257.272	165	53

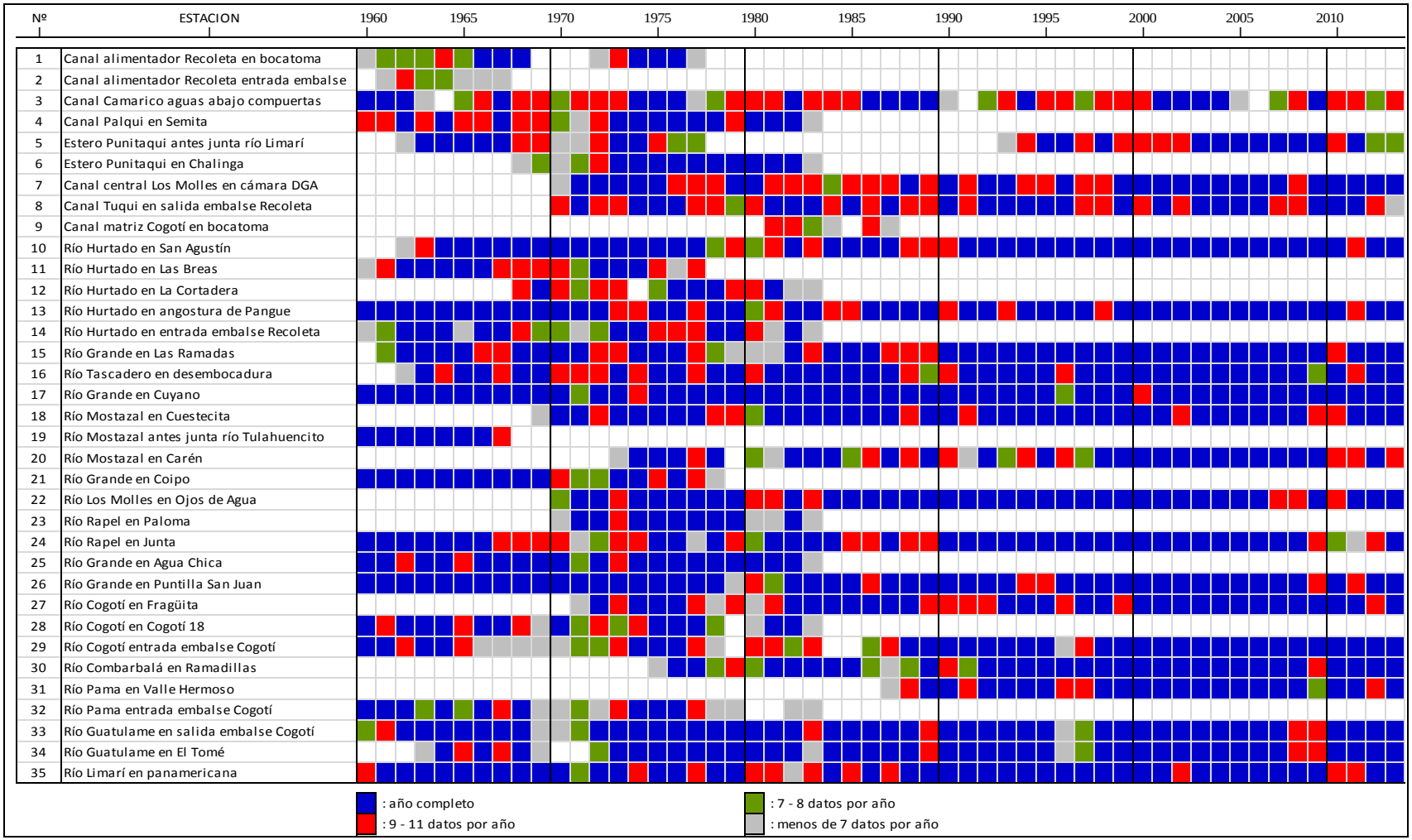
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-1: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca río Limarí

ID	COD. BNA	NOMBRE
LI-1	04501001-5	RIO HURTADO EN SAN AGUSTIN
LI-2	04501002-3	RIO HURTADO EN LAS BREAS
LI-3	04502001-0	RIO HURTADO EN LA CORTADERA
LI-4	04502002-9	RIO HURTADO EN HURTADO
LI-5	04503001-6	RIO HURTADO EN ANGOSTURA DE PANGUE
LI-6	04506002-0	RIO HURTADO EN ENTRADA EMBALSE RECOLETA
LI-7	04506003-9	CANAL TUQUI EN SALIDA EMBALSE RECOLETA
LI-8	04506004-7	CANAL ALIMENTADOR RECOLETA ENTRADA EMBALSE
LI-9	04511001-K	RIO GRANDE EN LAS PEGAS
LI-10	04511002-8	RIO GRANDE EN LAS RAMADAS
LI-11	04512001-5	RIO TASCADERO EN DESEMBOCADURA
LI-12	04513001-0	RIO GRANDE EN CUYANO
LI-13	04514001-6	RIO MOSTAZAL EN CUESTECITA
LI-14	04515001-1	RIO MOSTAZAL ANTES JUNTA RIO TULAHUENCITO
LI-15	04515002-K	RIO MOSTAZAL EN CAREN
LI-16	04516001-7	RIO GRANDE EN COIPO
LI-17	04516002-5	CANAL PALQUI EN SEMITA
LI-18	04516003-3	RIO GRANDE EN ZEMITA
LI-19	04520001-9	RIO LOS MOLLES EN OJOS DE AGUA
LI-20	04520002-7	CANAL CENTRAL LOS MOLLES EN CAMARA DGA
LI-21	04520003-5	RIO LOS MOLLES EN BOCATOMA
LI-22	04520004-3	RIO RAPEL EN LOS MOLLES
LI-23	04522001-K	RIO RAPEL EN PALOMA
LI-24	04522002-8	RIO RAPEL EN JUNTA
LI-25	04523001-5	RIO GRANDE EN AGUA CHICA
LI-26	04523002-3	RIO GRANDE EN PUNTILLA SAN JUAN
LI-27	04530001-3	RIO COGOTI EN FRAGUITA
LI-28	04531001-9	RIO COGOTI EN COGOTI 18
LI-29	04531002-7	RIO COGOTI ENTRADA EMBALSE COGOTI
LI-30	04532001-4	RIO COMBARBALA EN RAMADILLAS
LI-31	04532002-2	RIO COMBARBALA EN COMBARBALA
LI-32	04533001-K	QUEBRADA PANA EN FONDITOS
LI-33	04533002-8	RIO PAMA EN VALLE HERMOSO
LI-34	04534001-5	RIO PAMA ENTRADA EMBALSE COGOTI
LI-35	04535002-9	RIO GUATULAME EN SALIDA EMBALSE COGOTI
LI-36	04536004-5	RIO GUATULAME EN SAN MARCOS
LI-37	04537001-1	RIO GUATULAME EN EL TOME
LI-38	04537002-K	RIO GUATULAME EN HUANILLA
LI-39	04540001-8	RIO GRANDE EN PALOMA 1
LI-40	04540002-6	RIO GUATULAME EN DESEMBOCADURA EMBALSE LA PALOMA
LI-41	04540003-4	CANAL CAMARICO AGUAS ABAJO COMPUERTAS
LI-42	04550001-2	RIO LIMARI EN PUNTILLA DE OVALLE
LI-43	04550003-9	RIO LIMARI EN PEDONES BAJOS
LI-44	04554001-4	RIO PUNITAQUI EN DELIRIO
LI-45	04556001-5	ESTERO PUNITAQUI EN CHALINGA
LI-46	04557002-9	ESTERO PUNITAQUI ANTES JUNTA RIO LIMARI
LI-47	04558001-6	RIO LIMARI EN PANAMERICANA
LI-48	04716003-0	CANAL TAMELCURA

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-2: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Limarí



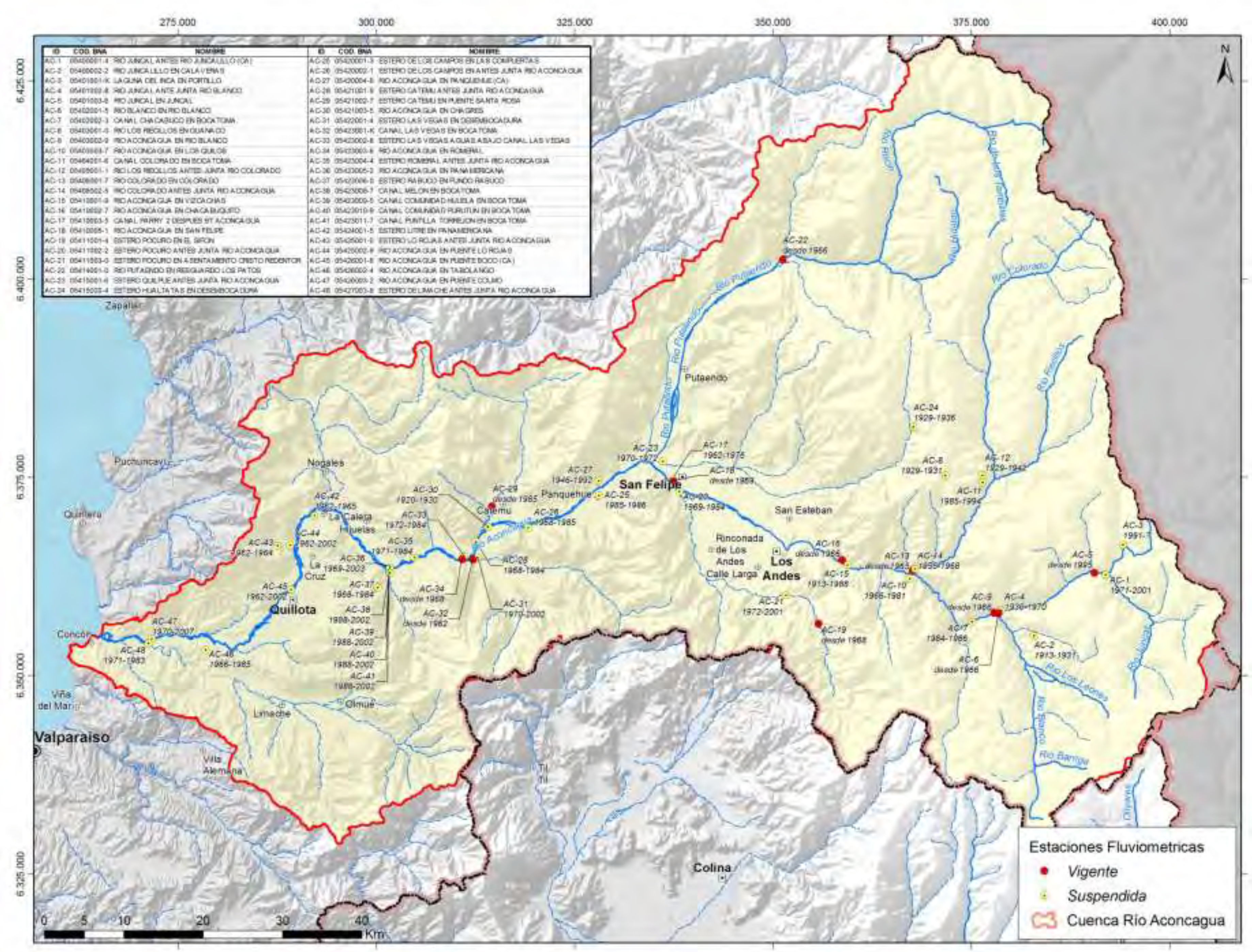
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Tabla 4-3. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Aconcagua

Estación Fluviométrica	Código BNA DGA	Código estudio	UTM (m) Norte	UTM (m) Este	Altitud (msnm)	Años de Registro
Río Juncal en Juncal	05401003-6	AC-05	6.363.297	390.760	1.800	41
Río Blanco en río Blanco	05402001-5	AC-06	6.358.196	378.630	1.420	42
Canal Chacabuco en bocatoma	05402002-3	AC-07	6.357.108	375.318		1
Río Aconcagua en río Blanco	05403002-9	AC-09	6.358.251	378.084	1.420	39
Río Aconcagua en Los Quilos	05403003-7	AC-10	6.362.549	367.450	1.062	14
Río Colorado en Colorado	05406001-7	AC-13	6.363.602	367.852	1.062	42
Río Aconcagua en Chacabuquito	05410002-7	AC-16	6.364.246	358.743	950	54
Canal Parry 2 después bocatoma Aconcagua	05410003-5	AC-17	6.375.043	337.606	630	8
Río Aconcagua en San Felipe	05410005-1	AC-18	6.374.237	337.307	650	37
Estero Pocuro en el sifón	05411001-4	AC-19	6.356.875	355.965	1.000	45
Estero Pocuro antes junta río Aconcagua	05411002-2	AC-20	6.373.547	338.412	830	16
Río Putaendo en resguardo Los Patos	05414001-0	AC-22	6.402.800	351.459	1.218	48
Estero Quilpué antes junta río Aconcagua	05415001-6	AC-23	6.377.333	336.320	530	4
Estero de Los Campos en las compuertas	05420001-3	AC-25	6.373.037	328.268		1
Estero de Los Campos antes junta río Aconcagua	05420002-1	AC-26	6.368.966	319.336	550	19
Estero Catemu antes junta río Aconcagua	05421001-9	AC-28	6.367.211	312.760	510	20
Estero Catemu en puente Santa Rosa	05421002-7	AC-29	6.371.655	314.810	510	27
Estero Las Vegas en desembocadura	05422001-4	AC-31	6.365.211	312.954		36
Canal Las Vegas en bocatoma	05423001-K	AC-32	6.364.955	312.412	320	42
Estero Las Vegas aguas abajo canal Las Vegas	05423002-8	AC-33	6.365.332	311.233		3
Río Aconcagua en Romeral	05423003-6	AC-34	6.364.546	310.416	365	27
Estero Romeral antes junta río Aconcagua	05423004-4	AC-35	6.365.211	304.992	544	15
Río Aconcagua en Panamericana	05423005-2	AC-36	6.363.980	301.922	210	6
Estero Rabuco en fundo Rabuco	05423006-0	AC-37	6.361.421	300.385	300	14
Canal Melón en bocatoma	05423008-7	AC-38	6.363.301	301.908	210	0
Canal Comunidad Hijuela en bocatoma	05423009-5	AC-39	6.363.301	301.908	210	0
Canal Comunidad Purutun en bocatoma	05423010-9	AC-40	6.363.301	301.908	210	0
Canal Puntilla Torrejón en bocatoma	05423011-7	AC-41	6.363.301	301.908	210	0
Estero Litre en Panamericana	05424001-5	AC-42	6.370.501	292.392	220	0
Estero Lo Rojas antes junta río Aconcagua	05425001-0	AC-43	6.366.706	287.788	170	1
Río Aconcagua en puente Lo Rojas	05425002-9	AC-44	6.366.739	289.349	170	1
Río Aconcagua en puente Boco (CA)	05426001-6	AC-45	6.361.195	289.469	120	2
Río Aconcagua en Tabolango	05426002-4	AC-46	6.353.562	278.714	60	4
Estero de Limache antes junta río Aconcagua	05427003-8	AC-48	6.354.414	271.472	120	10

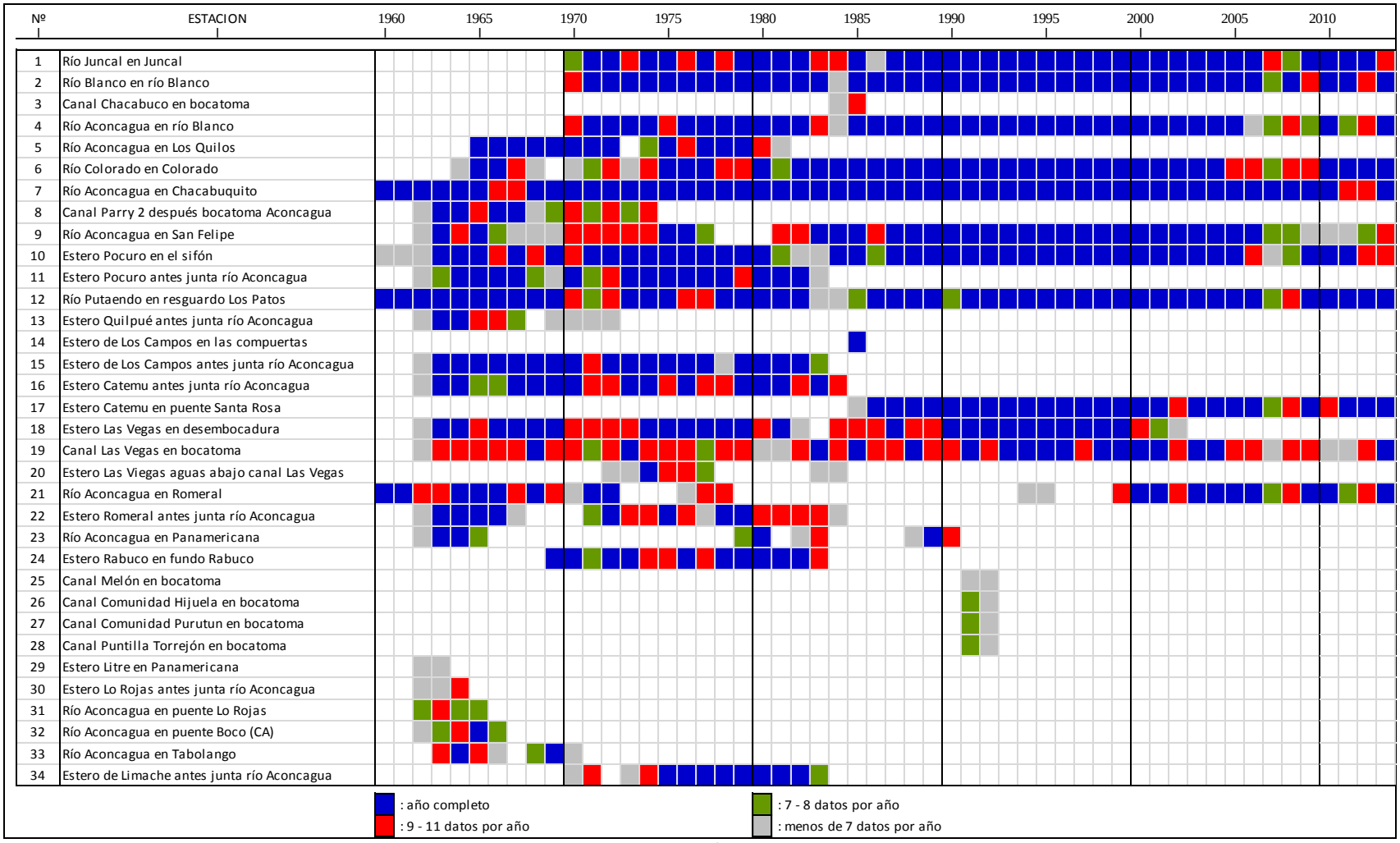
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-3: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca del río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-4: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Aconcagua



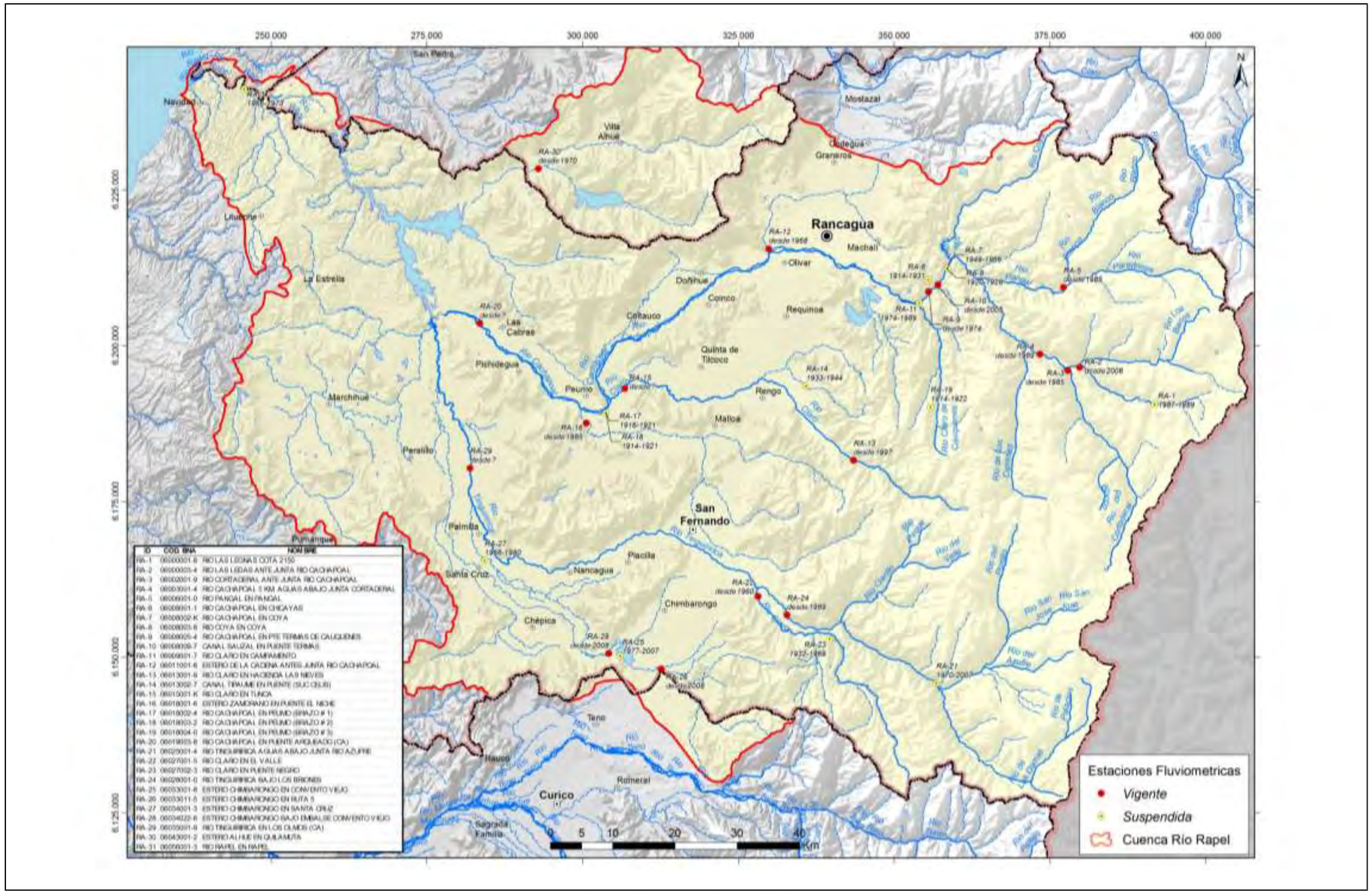
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Tabla 4-4. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Rapel

Estación Fluviométrica	Código BNA DGA	Código estudio	UTM (m) Norte	UTM (m) Este	Altitud (msnm)	Años de Registro
Río Las Leñas cota 2150	06000001-8	RA-01	6.190.835	391.992	2150	2
Río Las Leñas antes junta río Cachapoal	06000003-4	RA-02	6.196.787	379.940	1296	6
Río Cortaderal antes junta río Cachapoal	06002001-9	RA-03	6.196.301	378.081	1200	11
Río Cachapoal 5 km. Aguas abajo junta Cortaderal	06003001-4	RA-04	6.198.518	373.401	1127	18
Río Pangal en Pangal	06006001-0	RA-05	6.209.636	377.703	1500	24
Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes	06008005-4	RA-09	6.208.954	355.733	700	11
Canal Sauzal en puente Termas	06008009-7	RA-10	6.210.055	357.201	750	6
Río Claro en Campamento	06009001-7	RA-11	6.207.083	354.228	664	0
Estero de La Cadena antes junta río Cachapoal	06011001-8	RA-12	6.215.829	330.097	440	25
Río claro en Hacienda Las Nieves	06013001-9	RA-13	6.181.890	343.650	720	49
Río Claro en Tunca	06015001-K	RA-15	6.193.405	306.945	480	15
Estero Zamorano en puente El Niche	06018001-6	RA-16	6.187.850	300.777	900	22
Río Cachapoal en puente Arqueado (CA)	06019003-8	RA-20	6.204.962	281.652	115	10
Río Tinguiririca aguas abajo junta río Azufre	06025001-4	RA-21	6.146.143	356.936	1024	15
Río Claro en El Valle	06027001-5	RA-22	6.160.046	328.337	476	38
Río Tinguiririca bajo Los Briones	06028001-0	RA-24	6.156.581	332.727	560	45
Estero Chimbarongo en Convento Viejo	06033001-8	RA-25	6.150.483	306.210	245	24
Estero Chimbarongo en Ruta 5	06033011-5	RA-26	6.148.400	312.813	275	3
Estero Chimbarongo en Santa Cruz	06034001-3	RA-27	6.165.783	284.433	225	21
Estero Chimbarongo bajo embalse Convento Viejo	06034022-6	RA-28	6.150.906	304.393	245	4
Río Tinguiririca en Los Olmos (CA)	06035001-9	RA-29	6.180.649	282.096	223	11
Estero Alhué en Quilamuta	06043001-2	RA-30	6.228.680	293.058	130	39
Río Rapel en Rapel	06056001-3	RA-31	6.241.370	245.814	7	6

Fuente: Elaboración Propia, BNA

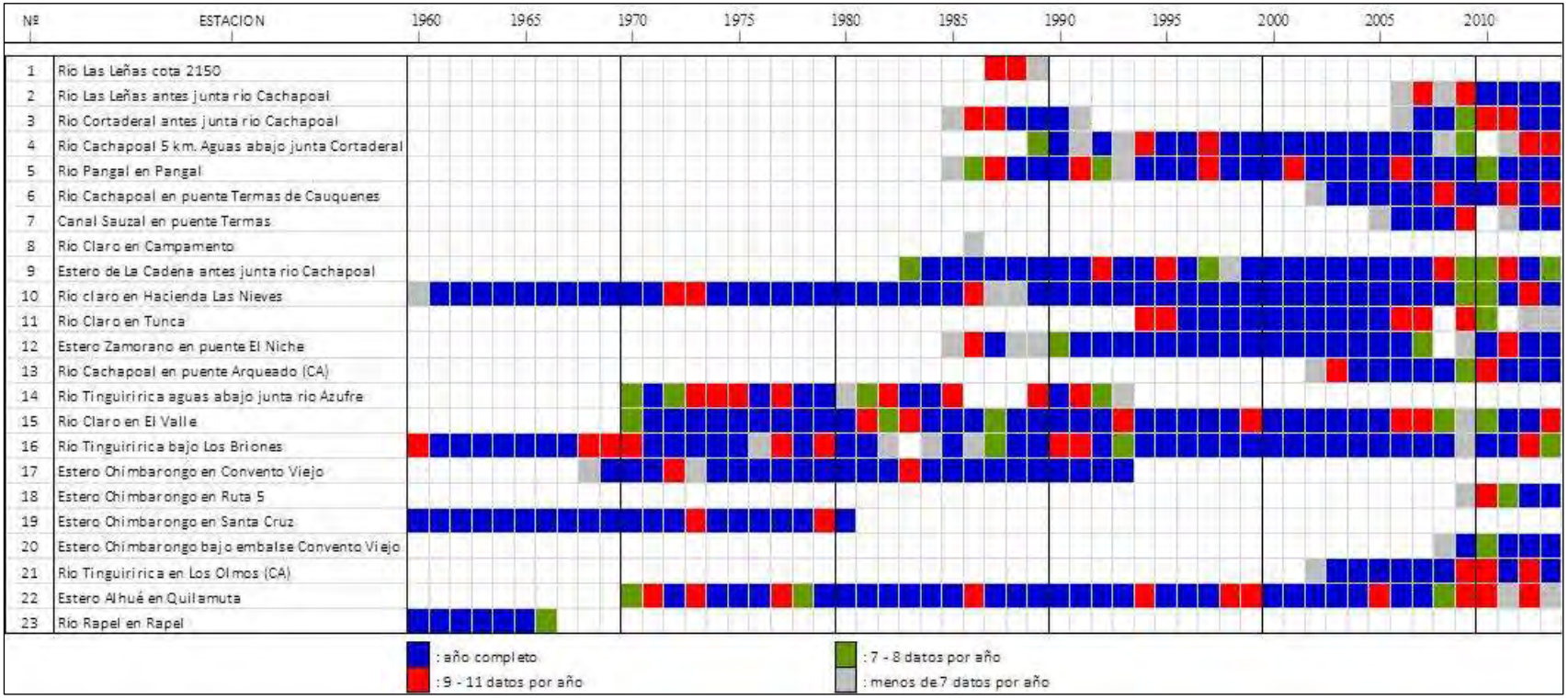
Figura 4-5: Estaciones fluviométricas DGA en la cuenca del río Rapel



ID	COD BNA	NOMBRE
RA-1	06000001-8	RIO LAS LEONAS COTA 2150
RA-2	06000003-4	RIO LAS LEONAS ANTE JUNTA RIO CACHAPOAL
RA-3	06002001-9	RIO CORTADERAL ANTE JUNTA RIO CACHAPOAL
RA-4	06003001-4	RIO CACHAPOAL 1 KM AGUAS ABAJO JUNTA CORTADERAL
RA-5	06006001-0	RIO PANGAL EN PANGAL
RA-6	06008001-1	RIO CACHAPOAL EN CHICAYAS
RA-7	06008002-K	RIO CACHAPOAL EN COYA
RA-8	06008003-8	RIO COYA EN COYA
RA-9	06008005-4	RIO CACHAPOAL EN PTE TERMAS DE CAUQUENES
RA-10	06008009-7	CANAL SAUZAL EN PUENTE TERMAS
RA-11	06008001-7	RIO CLARO EN CAMPAMENTO
RA-12	06011001-6	ESTERO DE LA CADENA ANTES JUNTA RIO CACHAPOAL
RA-13	06013001-9	RIO CLARO EN HACIENDA LAS NIEVES
RA-14	06013002-7	CANAL TINAJUME EN PUENTE (SUC CELIS)
RA-15	06013001-K	RIO CLARO EN TUNCA
RA-16	06018001-6	ESTERO ZAMORANO EN PUENTE EL NICHE
RA-17	06018002-4	RIO CACHAPOAL EN PEUMO (BRAZO # 1)
RA-18	06018003-2	RIO CACHAPOAL EN PEUMO (BRAZO # 2)
RA-19	06018004-0	RIO CACHAPOAL EN PEUMO (BRAZO # 3)
RA-20	06018005-9	RIO CACHAPOAL EN PUENTE ARQUEADO (CA)
RA-21	06021001-4	RIO TINGUIRIRICA A GUAS ABAJO JUNTA RIO AZUFRE
RA-22	06027001-5	RIO CLARO EN EL VALLE
RA-23	06027002-3	RIO CLARO EN PUENTE NEGRO
RA-24	06028001-0	RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRONES
RA-25	06033001-8	ESTERO CHIMBARONGO EN CONVENTO VIEJO
RA-26	06033011-5	ESTERO CHIMBARONGO EN RUTA 5
RA-27	06034001-3	ESTERO CHIMBARONGO EN SANTA CRUZ
RA-28	06034022-8	ESTERO CHIMBARONGO BAJO EMBALSE CONVENTO VIEJO
RA-29	06035001-8	RIO TINGUIRIRICA EN LOS OLMOS (CA)
RA-30	06043001-2	ESTERO ALHUE EN QUILAMUTA
RA-31	06050001-3	RIO RAPEL EN RAPEL

Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-6: Disponibilidad de información fluviométrica en la cuenca del río Rapel



Fuente: Elaboración Propia, BNA

4.1.2 Relleno de Información Fluviométrica

Se analizó la información de caudales históricos de las estaciones fluviométricas dentro de las cuencas estudiadas, para verificar la consistencia y cantidad de datos que presentan cada una de ellas. No se rellenaron las estadísticas de las cuencas de los ríos Limarí y Aconcagua, dado que la cantidad y calidad de información es adecuada para el análisis.

Las estadísticas de la cuenca del río Rapel se rellenaron debido al registro esporádico e incompleto de caudales que se tiene en esta cuenca, mediante la metodología explicada a continuación.

Se consideraron las estaciones con mayor cantidad y continuidad de registros para formar parte de las estaciones bases, las que luego se utilizaron para el relleno, corrección y extensión de las estadísticas de estaciones que presenten características geográficas e hidrológicas similares.

Dentro de la cuenca se presentaron distintos regímenes hidrológicos que deben ser considerados para la elección de las estaciones bases. En general, para las partes alta e intermedia de la cuenca se puede encontrar un régimen Nivo-Pluvial y para las zonas bajas y costeras un régimen netamente Pluvial.

Mediante correlaciones y regresiones lineales simples entre estaciones, se rellenan los datos incompletos y se extendió la información para aquellas estaciones que presentan un registro insuficiente.

La disponibilidad de información fluviométrica para la estadística de caudales rellenada de la cuenca del río Rapel se muestra en la Figura 4-7. En la Tabla 4-5 se tiene un cuadro comparativo entre los años de registro y parámetros estadísticos entre la información original obtenido desde la DGA y la nueva obtenida posterior al relleno.

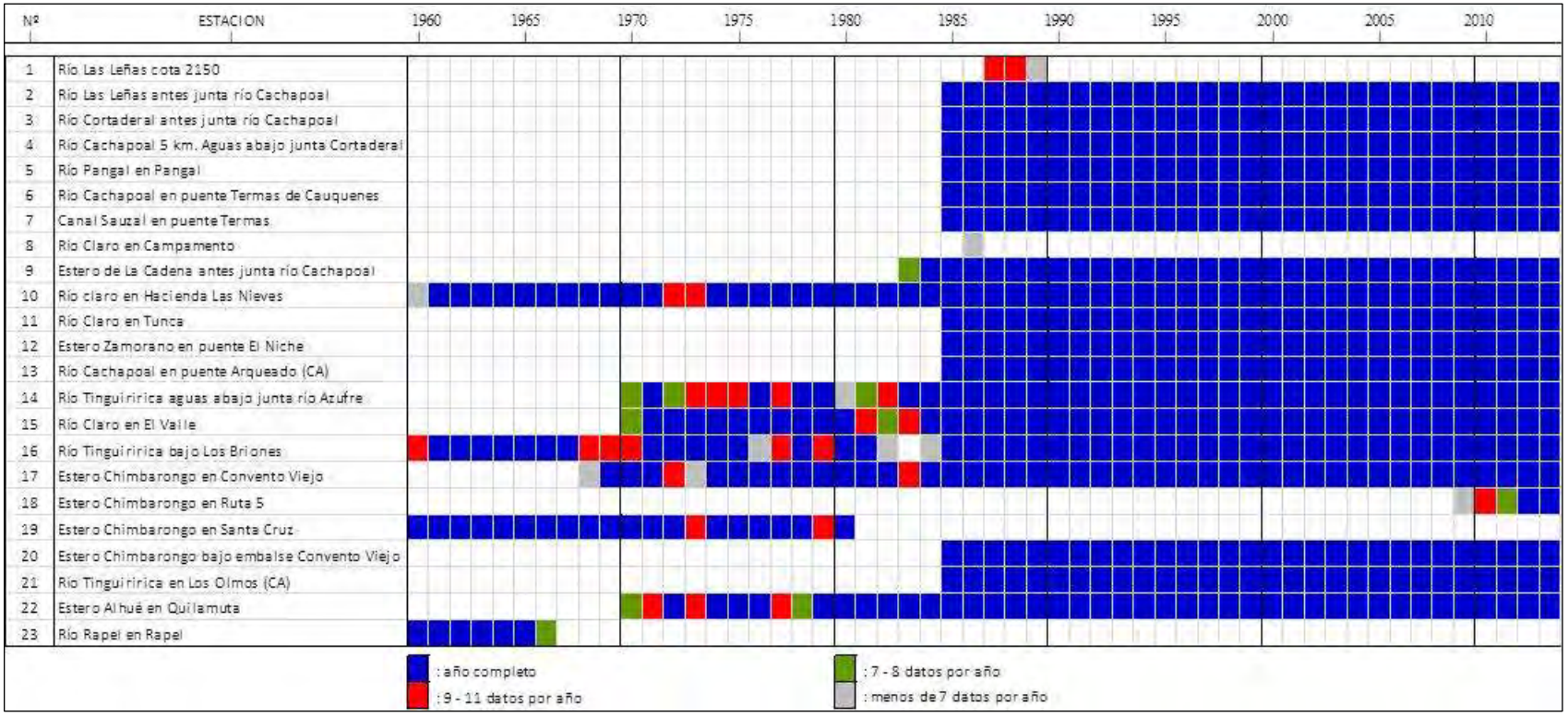
Este relleno permite contar con información de caudales en la cuenca a partir de 1985 y de esta manera es posible representar y caracterizar su comportamiento hídrico superficial en el largo plazo.

Tabla 4-5. Comparación entre información original y rellenada de Rapel

	Años registro original	Años registro rellenado	Promedio original m^3/s	Promedio rellenado m^3/s	DS original m^3/s	DS rellenado m^3/s
RA-03	11	29	17,7	19,8	4,6	4,3
RA-04	18	29	43,8	45,3	11,1	10,0
RA-05	24	29	15,4	15,5	4,1	3,8
RA-09	11	29	33,4	46,7	20,5	22,4
RA-12	25	30	11,7	11,1	3,9	4,0
RA-13	49	53	8,3	8,3	3,4	3,3
RA-15	15	29	28,4	26,8	6,4	9,1
RA-16	22	29	18,0	19,1	9,1	10,9
RA-20	10	29	83,5	88,8	43,5	35,0
RA-21	15	40	37,1	41,9	8,1	10,5
RA-22	38	42	10,6	10,7	4,6	4,6
RA-24	45	50	49,0	49,3	12,0	11,6
RA-25	24	44	43,8	41,6	18,0	14,5
RA-27	21	21	24,2	24,2	15,8	15,8
RA-29	11	29	56,5	67,1	24,6	25,8
RA-30	39	42	5,4	5,4	4,9	4,7

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-7: Disponibilidad de información fluviométrica rellenada en la cuenca del río Rapel



Fuente: Elaboración Propia, BNA

4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS

Dada la cantidad de información disponible y considerando los criterios planteados por la DGA para análisis hidrológico, es que se seleccionaron las estaciones fluviométrica vigentes y con una cantidad de datos suficiente para la caracterización fluviométrica.

En Tabla 4-6 se presenta para cada estación el caudal medio anual (el cual se calcula considerando sólo aquellos años con 9 o más meses con información), la desviación estándar, el caudal anual máximo y mínimo, la cantidad de años con información suficiente y la cantidad de meses de la serie que no cuentan con información. Para este análisis se considera el periodo comprendido entre enero 1985 y diciembre de 2013 para las cuencas del Limarí y Rapel, y desde enero de 1970 a diciembre de 2013 para la del Aconcagua. Esto debido a la cantidad y calidad de la información recopilada y necesaria para los análisis de caudales presentados más adelante.

Para la cuenca del río Limarí se observa una alta variabilidad interanual en los caudales registrados; para las otras cuencas de estudio, esta variabilidad es menor.

A nivel mensual se estimó el caudal medio mensual para cada estación, los cuales se presentan en la Tabla 4-7 (Limarí), Tabla 4-8 (Aconcagua) y Tabla 4-9 (Rapel) y en la Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10 se grafica para algunas estaciones representativa del comportamiento de cada cuenca.

Se observa que la cuenca del Limarí se caracteriza por un régimen nival de caudales, influenciado por el derretimiento de la nieve en meses de verano acumulada durante el invierno. Esto se puede observar en las estaciones que se encuentran en las cabeceras de la cuenca, como LI-01, LI-10, LI-19 y LI-30. Hacia aguas abajo (LI-24 y LI-47), se observa un aumento en los caudales de inviernos, lo cual podría estar influenciado por el aumento de precipitaciones líquidas a menores cotas y por el menor uso hídrico.

En la cuenca del Aconcagua se observa un comportamiento similar a la cuenca del río Limarí, donde los caudales medios máximos se registran entre noviembre y enero, debido al derretimiento de nieve, aunque en la red hídrica del río Putaendo (AC-22) se aprecia una influencia pluvial en los escurrimientos y su aumento desde el mes de junio. Del mismo modo que en Limarí, hacia aguas abajo se observa un régimen mixto (AC-34) o pluvial (AC-48) debido al aumento de precipitaciones líquidas a menores cotas y al menor uso hídrico.

La cuenca del río Rapel se caracteriza por tener un régimen fluvial mixto, con registro de caudales mayores en invierno y verano en estaciones de cabecera de cuenca (RA-03 y RA-21), o nival como el observado en el río Pangal (RA-05).

Tabla 4-6. Caudal medio anual en estaciones fluviométricas seleccionadas

	Estación Fluviométrica	Años de registro	Meses sin registro	Prom m^3/s	Desviación Estándar m^3/s	Máximo m^3/s	Mínimo m^3/s
Limarí	LI-01	29	5	2,7	1,7	6,4	0,8
	LI-05	29	7	3,0	3,0	13,5	0,4
	LI-07	28	30	1,5	0,4	2,6	0,8
	LI-10	29	5	3,9	2,9	13,4	0,9
	LI-11	27	15	1,2	1,6	4,6	0,2
	LI-12	28	6	7,2	5,7	24,3	1,4
	LI-13	29	5	1,6	1,1	4,3	0,3
	LI-15	25	39	1,2	1,4	5,5	0,3
	LI-19	29	3	0,1	0,2	0, 8	0,1
	LI-20	29	15	0,7	0,3	1,2	0, 3
	LI-24	27	18	1,8	1,9	6,4	0, 8
	LI-26	29	5	9,3	9,8	38,0	0, 7
	LI-27	29	8	2,3	2,5	11,4	0,3
	LI-29	26	10	2,6	4,1	18,7	0,6
	LI-30	25	26	0,5	0, 7	2,8	0,0
	LI-33	25	15	0,3	0,5	2,4	0,0
	LI-37	27	16	2,0	4,4	20,0	0,0
	LI-46	18	23	0,3	0,2	0,8	0,5
	LI-47	29	9	9,8	14,5	58,8	0,4
Aconcagua	AC-05	41	27	6,1	1,6	11,0	3,5
	AC-06	42	23	7,6	4,4	16,7	0,8
	AC-09	39	42	15,9	9,0	33,7	1,2
	AC-10	14	28	13,7	6,0	23,4	3,4
	AC-13	42	64	7,3	5,5	21,6	0,1
	AC-16	54	6	32,6	11,5	62,9	11,8
	AC-18	37	133	20,6	11,3	49,3	2,0
	AC-19	45	54	0,9	0,7	2,9	0,1
	AC-20	16	23	3,6	0,9	4,7	1,7
	AC-22	48	40	7,8	4,7	22,4	1,4
	AC-26	19	15	1,1	0,2	1,5	0,8
	AC-28	20	18	3,5	0,7	4,8	1,8
	AC-29	27	10	1,3	0,8	3,6	0,2
	AC-31	36	41	3,1	1,2	7,0	1,9
	AC-32	42	97	1,3	0,2	1,8	0,8
	AC-34	27	313	27,7	14,9	61,3	6,6
	AC-35	15	81	0,6	0,2	1,2	0,4
	AC-37	14	12	0,4	0,1	0,7	0,2
	AC-48	10	26	2,7	1,7	5,8	0,3
Rapel	RA-03	29	0	19,8	4,3	26,9	11,3
	RA-04	29	0	45,3	10,0	60,5	25,1
	RA-05	29	0	15,5	3,8	21,9	8,3
	RA-09	29	0	46,7	22,4	87,1	10,0
	RA-12	30	0	11,1	4,0	19,2	3,8
	RA-13	53	4	8,3	3,3	20,3	2,1
	RA-15	29	0	26,8	9,1	57,1	15,2
	RA-16	29	0	19,1	10,9	55,5	3,0
	RA-20	29	0	88,8	35,0	140,6	34,3
	RA-21	40	28	41,9	10,5	73,6	27,6
	RA-22	42	10	10,7	4,6	18,9	3,1
	RA-24	50	48	49,3	11,6	73,7	20,7
	RA-25	44	14	41,6	14,5	68,6	11,0
	RA-27	21	4	24,2	15,8	57,1	5,2
	RA-29	29	0	67,1	25,8	111,0	24,1
	RA-30	42	10	5,4	4,7	16,9	0,7

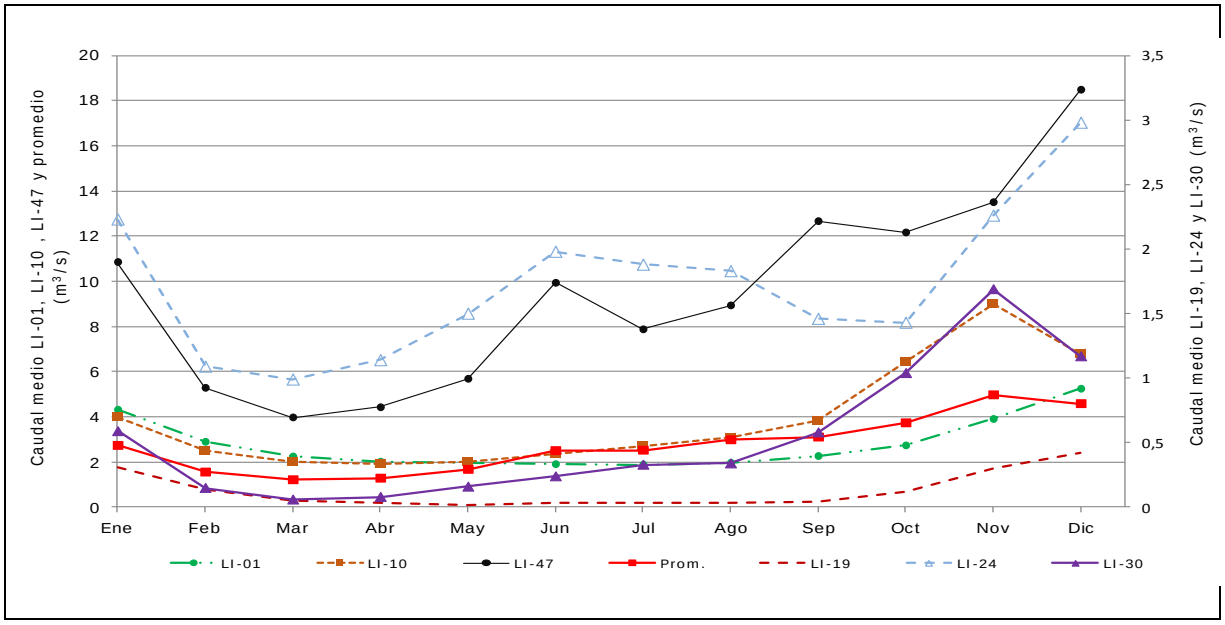
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Tabla 4-7. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas cuenca río Limarí (m^3/s)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
LI-01	4,32	2,90	2,25	2,02	1,95	1,91	1,89	1,97	2,27	2,74	3,91	5,25	2,75
LI-05	3,01	2,25	1,68	1,86	2,61	3,09	3,24	3,36	2,95	2,89	4,04	5,07	3,00
LI-07	1,98	1,89	1,71	1,43	1,08	0,98	1,25	1,33	1,43	1,43	1,56	1,88	1,50
LI-10	3,98	2,50	2,02	1,92	2,00	2,34	2,69	3,08	3,84	6,45	9,00	6,79	3,88
LI-11	0,99	0,67	0,48	0,48	0,59	0,72	0,82	1,08	1,32	1,91	3,19	2,40	1,23
LI-12	6,74	4,06	3,31	3,37	4,10	5,27	5,68	7,25	8,27	11,12	14,83	10,89	7,24
LI-13	1,88	1,02	0,90	0,84	0,97	1,02	1,09	1,19	1,49	2,19	3,22	2,93	1,57
LI-15	1,43	0,75	0,44	0,53	0,84	1,41	2,55	2,31	1,24	1,56	2,28	2,05	1,19
LI-19	0,31	0,14	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,12	0,30	0,42	0,13
LI-20	0,84	0,81	0,67	0,63	0,54	0,55	0,53	0,59	0,69	0,83	0,83	0,83	0,70
LI-24	2,23	1,09	0,99	1,14	1,50	1,98	1,88	1,83	1,46	1,43	2,26	2,98	1,78
LI-26	7,60	3,91	3,03	4,04	5,84	9,04	9,54	11,86	11,17	14,08	19,22	14,88	9,34
LI-27	2,01	1,04	1,00	0,90	1,15	1,60	2,07	2,51	2,87	3,81	4,99	3,58	2,29
LI-29	1,67	0,47	0,29	0,39	0,90	2,09	2,58	3,24	3,01	3,78	5,22	3,46	2,56
LI-30	0,59	0,15	0,06	0,08	0,16	0,24	0,33	0,34	0,58	1,04	1,69	1,17	0,52
LI-33	0,15	0,15	0,04	0,08	0,26	0,75	0,25	0,44	0,22	0,51	0,64	0,43	0,31
LI-37	1,51	0,41	0,21	0,20	1,43	4,26	3,19	4,99	3,12	2,69	3,86	3,59	1,96
LI-46	0,04	0,05	0,06	0,15	0,29	0,57	0,60	0,49	0,47	0,35	0,11	0,06	0,30
LI-47	10,86	5,29	3,98	4,43	5,69	9,94	7,88	8,94	12,67	12,17	13,51	18,49	9,83
Prom.	2,74	1,56	1,22	1,29	1,68	2,51	2,53	2,99	3,11	3,74	4,98	4,59	2,74

Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-8: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del Limarí



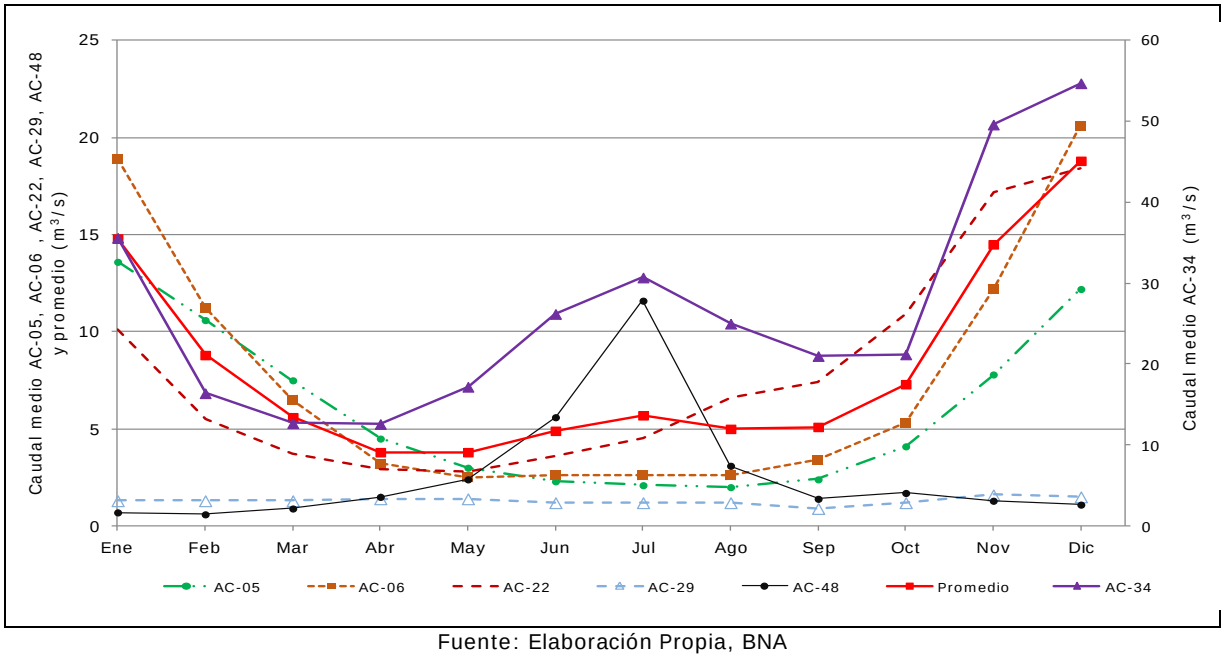
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Tabla 4-8. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas Cuenca Río Aconcagua (m^3/s)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
AC-05	13,6	10,6	7,5	4,5	3,0	2,3	2,1	2,0	2,4	4,1	7,8	12,2	6,1
AC-06	18,9	11,2	6,5	3,2	2,5	2,6	2,6	2,6	3,4	5,3	12,2	20,6	7,6
AC-09	34,2	22,7	14,1	7,8	6,7	6,4	6,4	6,6	7,5	11,6	23,9	37,1	15,9
AC-10	36,9	22,4	10,0	2,4	1,6	2,3	2,5	2,9	4,8	11,1	28,6	43,2	13,7
AC-13	14,3	5,0	2,1	1,1	1,6	0,9	1,8	2,9	4,5	8,9	18,3	22,5	7,3
AC-16	62,7	39,7	24,4	15,4	13,0	14,3	15,2	16,4	20,3	32,2	59,6	79,1	32,6
AC-18	38,4	19,0	9,4	6,0	7,1	12,0	13,0	12,6	11,0	15,3	38,2	50,8	20,6
AC-19	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	1,3	1,5	1,5	1,5	1,4	0,9	0,9
AC-20	4,6	3,2	2,6	2,6	2,2	2,7	2,8	2,7	2,9	3,9	5,3	5,6	3,6
AC-22	10,1	5,5	3,7	2,9	2,8	3,6	4,5	6,6	7,4	10,9	17,2	18,4	7,8
AC-26	0,7	0,6	0,8	1,1	1,5	2,1	2,3	1,7	0,9	0,6	0,7	0,7	1,1
AC-28	3,4	3,3	3,6	3,6	3,4	3,5	3,5	3,1	3,0	3,3	3,7	3,6	3,5
AC-29	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	0,9	1,2	1,6	1,5	1,3
AC-31	2,9	3,0	3,3	3,4	3,6	4,0	3,6	2,7	2,7	3,3	3,4	3,2	3,1
AC-32	1,7	1,6	1,6	1,5	1,1	0,9	0,5	0,5	1,0	1,5	1,6	1,7	1,3
AC-34	35,6	16,4	12,7	12,6	17,2	26,2	30,7	25,0	21,0	21,2	49,6	54,7	27,7
AC-35	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
AC-37	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4
AC-48	0,7	0,6	0,9	1,5	2,4	5,6	11,6	3,1	1,4	1,7	1,3	1,1	2,7
Promedio	14,8	8,8	5,6	3,8	3,8	4,9	5,7	5,0	5,1	7,3	14,5	18,8	8,3

Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-9: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del río Aconcagua



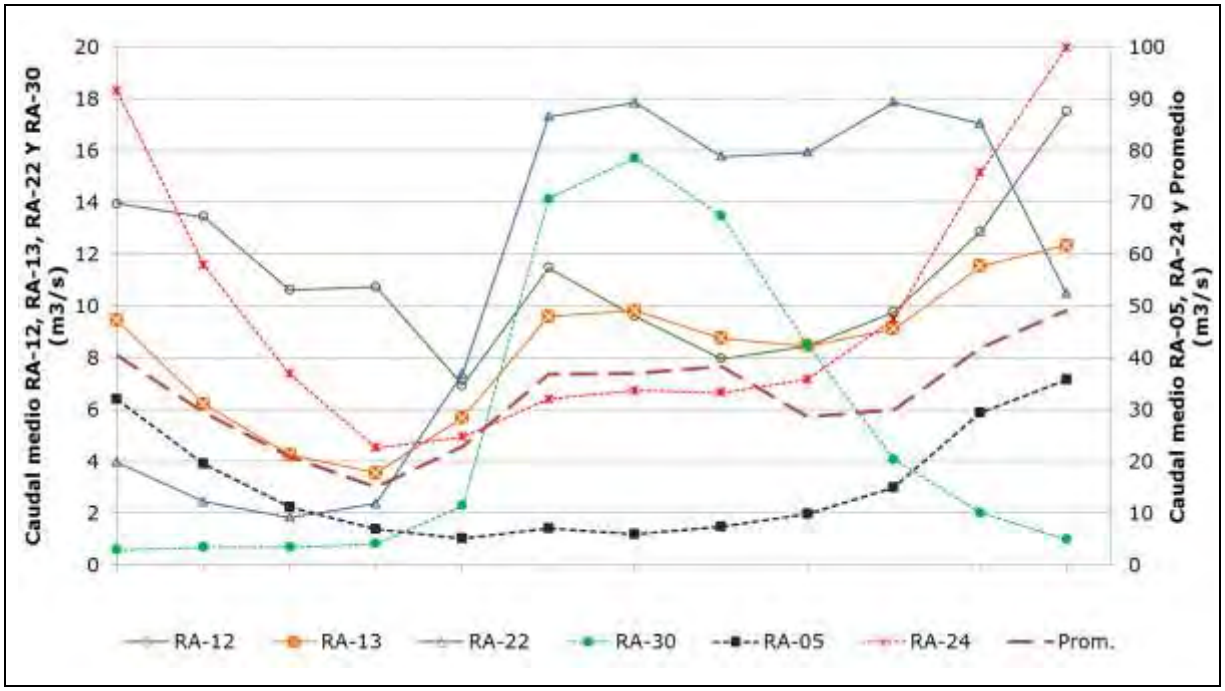
Fuente: Elaboración Propia, BNA

Tabla 4-9. Caudal medio mensual estaciones seleccionadas Cuenca Río Rapel (m^3/s)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
RA-03	44,8	36,9	23,3	13,4	10,7	23,4	9,7	8,0	9,4	12,7	21,5	24,2	19,8
RA-04	75,7	63,8	44,5	25,1	23,6	24,9	29,6	19,5	21,8	41,2	64,5	109,6	45,3
RA-05	32,0	19,6	11,2	6,9	5,2	7,2	6,0	7,5	9,8	15,0	29,5	35,8	15,5
RA-09	131,2	59,0	10,6	3,9	5,9	19,4	16,1	11,6	9,0	24,4	124,0	145,7	46,7
RA-12	14,0	13,4	10,6	10,7	6,9	11,5	9,6	8,0	8,5	9,8	12,9	17,5	11,1
RA-13	9,4	6,2	4,2	3,6	5,7	9,6	9,8	8,8	8,5	9,1	11,5	12,3	8,3
RA-15	14,8	23,0	20,6	26,2	32,3	36,0	42,5	35,1	23,2	27,2	17,8	22,5	26,8
RA-16	5,7	6,3	9,5	12,0	16,8	54,5	43,2	35,2	16,6	11,5	11,7	6,8	19,1
RA-20	59,0	62,3	98,4	31,5	82,8	95,4	128,1	137,6	87,4	67,4	103,1	112,3	88,8
RA-21	80,0	58,8	34,3	18,7	18,6	43,6	25,4	24,7	25,9	36,5	59,4	72,8	41,9
RA-22	4,0	2,5	1,8	2,4	7,4	17,3	17,9	15,8	15,9	17,9	17,1	10,5	10,7
RA-24	91,5	57,9	36,9	22,6	24,8	32,0	33,7	33,3	35,8	47,4	75,7	99,9	49,3
RA-25	40,9	17,0	12,2	25,6	42,7	64,8	63,8	43,9	58,2	48,8	33,0	41,4	41,6
RA-27	10,8	5,1	5,1	11,5	23,9	37,8	46,6	42,8	29,8	24,4	25,5	27,5	24,2
RA-29	32,2	39,7	11,4	25,5	56,1	97,6	95,2	167,1	89,7	81,9	61,0	47,3	67,1
RA-30	0,6	0,7	0,7	0,8	2,3	14,1	15,7	13,5	8,5	4,1	2,0	1,0	5,4
Promedio	40,4	29,5	21,0	15,0	22,9	36,8	37,1	38,3	28,6	29,9	41,9	49,2	32,6

Fuente: Elaboración Propia, BNA

Figura 4-10: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del río Rapel



Fuente: Elaboración Propia, BNA

4.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA CAUDALES MENSUALES

Se realizó un análisis de frecuencia a los caudales medios mensuales para determinar los caudales asociados a distintas probabilidades de excedencia. Por la buena representación para los caudales medios mensuales, las series se ajustaron a partir de una distribución de probabilidades Log-Normal.

A continuación, en las Tabla 4-10 a Tabla 4-15 se presentan los caudales mensuales para 85% y 95% por ser valores utilizados por la DGA para la gestión de agua. El primero es utilizado para definir la disponibilidad hídrica de un cauce (sección 0); el segundo para determinar el caudal ecológico mínimo (sección 0). Además en las Figura 4-11 a Figura 4-13 se presentan los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia.

Este análisis consideró, para cada cuenca, las series completas registradas en cada estación fluviométrica, de manera de aumentar el número de datos y tener un análisis de frecuencia más preciso.

En la cuenca del Limarí, las subcuencas del río Grande (LI-10) y Hurtado (LI-01) son las generan un mayor aporte hídrico al sistema, en cambio la subcuenca del río Huatulame (LI-30, LI-33 y LI-27), la de menor aporte. En las estaciones de cabecera de cuenca, se observa que la disponibilidad hídrica tiene una variabilidad anual baja y un comportamiento distinto al régimen de los ríos, en que durante el verano se observan caudales menores. Esto se debe principalmente al aumento de la demanda hídrica durante este periodo, que en épocas de escasez (el 15% que no excede el caudal 85%), se vuelve más crítica.

En la cuenca del río Aconcagua, al analizar los caudales para distintas probabilidades de excedencia, en distintos tramos del río Aconcagua, se observa una considerable disminución en la disponibilidad hídrica en tramo previo a la confluencia con el río Putaendo (entre AC-16 y AC-18), debido mayoritariamente a la demanda hídrica de ese sector. Hacia aguas abajo el río recibe diversos aportes (el principal desde el río Putaendo) con que se obtiene un aumento en los caudales, salvo para los meses de mayor escasez hídrica y mayor demanda (diciembre y enero).

La mayor diversidad en el régimen fluvial de la cuenca del río Rapel, se refleja en un comportamiento heterogéneo en la disponibilidad hídrica, manifestada en sectores con una mayor escasez hídrica durante periodos de invierno (Río Cachapoal, RA-09) y otro en periodos de verano, mayormente influencia por el aumento de demanda hídrica.

Tabla 4-10. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Limarí

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
LI-01	0,77	0,79	0,82	0,87	0,92	1,00	1,08	1,09	1,14	1,01	0,92	0,82	1,12
LI-05	0,13	0,13	0,17	0,32	0,70	1,10	1,06	1,00	0,65	0,36	0,25	0,16	0,67
LI-07	0,79	0,65	0,67	0,48	0,28	0,18	0,14	0,22	0,38	0,64	0,68	0,65	0,60
LI-10	0,94	0,89	0,93	1,03	1,12	1,27	1,15	1,14	1,54	1,70	1,68	1,02	1,49
LI-11	0,11	0,11	0,10	0,13	0,15	0,25	0,29	0,31	0,33	0,28	0,24	0,14	0,28
LI-12	1,02	0,92	0,96	1,10	1,67	2,15	2,29	2,29	2,46	2,43	1,98	1,25	2,45
LI-13	0,30	0,27	0,30	0,30	0,38	0,45	0,50	0,49	0,55	0,52	0,46	0,33	0,51
LI-15	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,15	0,30	0,22	0,11	0,08	0,07	0,04	0,14
LI-19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
LI-20	0,28	0,27	0,24	0,27	0,30	0,32	0,33	0,36	0,40	0,39	0,32	0,29	0,38
LI-24	0,01	0,01	0,02	0,05	0,10	0,31	0,40	0,27	0,13	0,04	0,02	0,02	0,21
LI-26	0,21	0,16	0,23	0,51	1,26	2,17	2,55	2,42	2,07	1,39	1,03	0,34	1,79
LI-27	0,27	0,25	0,23	0,23	0,26	0,37	0,53	0,50	0,54	0,67	0,54	0,36	0,64
LI-29	0,03	0,02	0,01	0,01	0,05	0,19	0,21	0,20	0,22	0,22	0,15	0,05	0,30
LI-30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	0,02	0,04
LI-33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01
LI-37	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,11	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,05
LI-46	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,08	0,08	0,07	0,05	0,02	0,01	0,09
LI-47	0,19	0,20	0,20	0,24	0,37	0,79	1,07	0,80	0,52	0,45	0,31	0,23	0,84
Prom	0,27	0,25	0,26	0,30	0,40	0,57	0,64	0,61	0,59	0,54	0,46	0,30	0,61
Máx.	1,02	0,92	0,96	1,10	1,67	2,17	2,55	2,42	2,46	2,43	1,98	1,25	2,45
Mín.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-11. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Limarí

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
LI-01	0,42	0,48	0,54	0,60	0,66	0,77	0,85	0,85	0,84	0,66	0,52	0,42	0,76
LI-05	0,05	0,05	0,08	0,17	0,42	0,76	0,68	0,65	0,38	0,17	0,10	0,06	0,38
LI-07	0,54	0,42	0,45	0,31	0,17	0,09	0,06	0,10	0,21	0,44	0,45	0,41	0,40
LI-10	0,53	0,58	0,66	0,76	0,86	0,97	0,75	0,69	1,01	0,96	0,82	0,49	0,95
LI-11	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,16	0,19	0,19	0,18	0,13	0,09	0,05	0,15
LI-12	0,52	0,53	0,59	0,70	1,18	1,52	1,54	1,45	1,46	1,26	0,88	0,55	1,52
LI-13	0,15	0,16	0,19	0,20	0,25	0,32	0,36	0,33	0,35	0,28	0,21	0,15	0,31
LI-15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,14	0,10	0,04	0,03	0,02	0,01	0,06
LI-19	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
LI-20	0,18	0,17	0,15	0,19	0,23	0,26	0,27	0,29	0,32	0,27	0,20	0,18	0,29
LI-24	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,16	0,21	0,13	0,05	0,01	0,00	0,00	0,09
LI-26	0,06	0,06	0,09	0,25	0,72	1,27	1,47	1,33	1,07	0,57	0,36	0,10	0,91
LI-27	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,21	0,30	0,26	0,27	0,32	0,23	0,15	0,37
LI-29	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,05	0,01	0,14
LI-30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
LI-33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LI-37	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
LI-46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,05
LI-47	0,07	0,08	0,08	0,09	0,15	0,32	0,46	0,32	0,19	0,17	0,10	0,07	0,35
Prom.	0,14	0,14	0,16	0,19	0,26	0,37	0,39	0,36	0,34	0,28	0,21	0,14	0,36
Máx.	0,54	0,58	0,66	0,76	1,18	1,52	1,54	1,45	1,46	1,26	0,88	0,55	1,52
Mín.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-12. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Aconcagua

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
AC-05	8,25	7,09	5,22	3,14	2,13	1,75	1,60	1,61	1,90	2,98	5,58	7,73	4,55
AC-06	4,65	2,34	1,41	0,82	0,73	0,79	0,90	0,91	1,07	1,55	3,63	6,14	2,71
AC-09	7,43	4,20	2,54	1,76	1,59	1,88	2,09	2,21	2,60	3,71	6,90	10,40	5,50
AC-10	13,18	12,15	4,20	0,65	0,30	0,24	0,32	0,46	1,03	2,07	6,63	12,90	7,00
AC-13	0,37	0,12	0,07	0,07	0,09	0,11	0,13	0,18	0,34	0,89	2,03	0,93	1,19
AC-16	28,06	22,18	14,71	10,10	8,13	7,76	8,17	8,88	11,10	16,70	29,98	33,48	20,46
AC-18	5,79	3,45	1,83	1,37	1,20	2,88	3,93	1,74	0,91	1,26	3,68	7,69	8,31
AC-19	0,14	0,12	0,11	0,13	0,15	0,16	0,20	0,29	0,31	0,33	0,35	0,20	0,27
AC-20	2,54	0,71	0,49	0,62	0,54	0,67	0,88	1,05	0,67	1,17	1,89	3,51	2,52
AC-22	2,38	2,06	1,59	1,45	1,57	1,76	1,70	1,99	2,60	3,48	5,13	3,97	3,34
AC-26	0,35	0,38	0,47	0,62	1,04	1,41	1,46	1,21	0,36	0,37	0,37	0,46	0,92
AC-28	2,50	2,40	2,63	2,49	2,28	2,31	2,10	1,95	2,03	2,28	2,57	2,56	2,75
AC-29	0,43	0,43	0,42	0,43	0,41	0,50	0,34	0,30	0,33	0,41	0,52	0,47	0,48
AC-31	1,89	2,07	2,09	2,07	2,10	1,95	1,57	1,28	1,52	1,95	2,04	2,01	2,12
AC-32	1,27	1,22	1,15	1,07	0,75	0,38	0,16	0,13	0,46	0,98	1,20	1,32	1,04
AC-34	4,17	4,82	4,23	4,73	6,99	9,22	11,14	6,17	3,81	3,37	8,18	5,97	11,50
AC-35	0,20	0,19	0,24	0,27	0,25	0,29	0,37	0,20	0,13	0,21	0,29	0,25	0,39
AC-37	0,15	0,10	0,10	0,13	0,21	0,27	0,26	0,18	0,11	0,15	0,14	0,15	0,23
AC-48	0,11	0,09	0,24	0,52	0,75	0,89	1,48	0,71	0,49	0,45	0,50	0,48	0,88
Prom.	4,41	3,48	2,30	1,71	1,64	1,85	2,04	1,66	1,67	2,33	4,30	5,30	4,01
Máx.	28,06	22,18	14,71	10,10	8,13	9,22	11,14	8,88	11,10	16,70	29,98	33,48	20,46
Mín.	0,11	0,09	0,07	0,07	0,09	0,11	0,13	0,13	0,11	0,15	0,14	0,15	0,23

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-13. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Aconcagua

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
AC-05	6,46	5,79	4,33	2,61	1,78	1,51	1,39	1,43	1,68	2,54	4,69	6,17	3,90
AC-06	2,52	1,22	0,75	0,46	0,43	0,48	0,56	0,57	0,64	0,90	2,11	3,57	1,70
AC-09	3,86	2,08	1,26	0,94	0,87	1,11	1,27	1,35	1,61	2,23	3,94	5,85	3,38
AC-10	8,18	9,02	2,80	0,36	0,16	0,11	0,15	0,22	0,54	1,00	3,36	7,29	5,05
AC-13	0,10	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,14	0,35	0,80	0,27	0,55
AC-16	19,48	16,79	11,46	8,18	6,46	5,82	6,07	6,62	8,30	12,18	21,58	22,57	16,18
AC-18	2,72	1,76	0,96	0,75	0,57	1,59	2,35	0,79	0,34	0,46	1,32	3,44	5,45
AC-19	0,09	0,08	0,07	0,09	0,10	0,08	0,10	0,15	0,16	0,18	0,20	0,11	0,16
AC-20	1,89	0,37	0,24	0,34	0,29	0,36	0,52	0,68	0,36	0,69	1,16	2,77	2,10
AC-22	1,33	1,34	1,08	1,05	1,19	1,26	1,12	1,24	1,66	2,13	3,04	2,11	2,26
AC-26	0,26	0,29	0,36	0,47	0,86	1,15	1,15	1,01	0,23	0,28	0,27	0,36	0,82
AC-28	2,11	2,02	2,24	2,07	1,85	1,88	1,63	1,55	1,67	1,88	2,12	2,13	2,42
AC-29	0,27	0,26	0,25	0,25	0,23	0,33	0,21	0,18	0,21	0,25	0,31	0,28	0,31
AC-31	1,52	1,70	1,67	1,63	1,61	1,39	1,07	0,91	1,15	1,51	1,59	1,60	1,73
AC-32	1,11	1,05	0,96	0,89	0,61	0,26	0,09	0,07	0,32	0,80	1,03	1,16	0,92
AC-34	1,83	2,86	2,56	2,99	4,54	5,69	6,99	3,36	1,87	1,59	3,88	2,50	7,65
AC-35	0,13	0,12	0,16	0,19	0,17	0,21	0,25	0,12	0,07	0,13	0,21	0,16	0,31
AC-37	0,12	0,07	0,07	0,09	0,17	0,21	0,16	0,11	0,06	0,10	0,09	0,12	0,19
AC-48	0,05	0,04	0,13	0,32	0,46	0,44	0,64	0,39	0,30	0,26	0,32	0,32	0,52
Prom.	2,84	2,47	1,65	1,25	1,18	1,26	1,36	1,10	1,12	1,55	2,74	3,30	2,93
Máx.	19,48	16,79	11,46	8,18	6,46	5,82	6,99	6,62	8,30	12,18	21,58	22,57	16,18
Mín.	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,10	0,09	0,11	0,16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-14. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Rapel

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
RA-03	31,84	25,96	18,53	10,62	7,78	7,54	5,33	5,03	7,12	8,08	9,28	9,07	15,10
RA-04	42,08	38,54	30,93	17,59	15,39	16,19	16,68	11,59	14,77	21,51	40,89	60,28	34,40
RA-05	18,20	12,64	7,56	3,84	2,64	1,72	1,72	3,49	4,88	8,54	16,89	20,47	11,41
RA-09	39,52	19,56	2,11	0,00	0,00	2,48	0,00	3,05	2,51	2,84	18,20	47,12	21,60
RA-12	5,64	9,07	2,91	4,73	2,32	2,21	2,45	1,67	4,40	5,40	4,83	7,60	6,88
RA-13	5,12	3,60	2,57	1,52	1,22	2,09	3,01	2,48	3,97	5,15	6,77	6,69	4,99
RA-15	6,07	17,16	15,34	20,80	17,58	0,00	17,71	14,40	10,72	17,69	8,81	14,40	18,39
RA-16	0,62	2,67	5,69	7,43	7,38	10,65	9,73	4,48	2,70	3,28	5,61	0,00	8,37
RA-20	12,21	19,70	37,78	8,01	40,67	14,25	38,10	72,83	48,15	19,43	34,99	32,14	52,22
RA-21	52,51	42,81	23,58	13,54	12,55	11,20	12,55	12,16	14,69	17,02	42,55	53,64	31,52
RA-22	1,23	0,85	0,64	0,66	1,50	3,16	5,13	5,44	7,82	9,95	7,61	2,96	5,86
RA-24	58,86	38,59	25,91	14,13	12,48	13,14	15,14	15,22	20,38	29,62	51,61	61,10	36,92
RA-25	14,46	8,90	6,17	11,79	19,39	29,28	32,55	20,30	23,07	12,52	0,00	9,50	25,50
RA-27	2,12	1,53	2,09	2,67	10,70	16,83	16,53	15,53	6,89	3,79	3,57	4,69	10,07
RA-29	0,00	3,35	0,00	8,95	26,77	39,38	43,29	81,08	36,00	20,36	12,68	2,67	40,59
RA-30	0,09	0,09	0,11	0,20	0,27	0,69	1,91	1,82	1,45	1,12	0,60	0,24	1,57
Prom.	18,16	15,31	11,37	7,91	11,17	10,68	13,86	16,91	13,10	11,64	16,56	20,79	20,34
Máx.	58,86	42,81	37,78	20,80	40,67	39,38	43,29	81,08	48,15	29,62	51,61	61,10	52,22
Mín.	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	1,45	1,12	0,00	0,00	1,57

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-15. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (m^3/s) Cuenca Río Rapel

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
RA-03	26,66	21,65	16,35	9,37	6,58	4,54	4,00	4,01	6,14	6,44	6,17	0,00	13,07
RA-04	31,58	29,84	25,64	14,66	12,39	13,01	12,59	9,00	12,12	15,67	32,38	44,92	29,71
RA-05	13,81	10,15	6,19	2,87	1,89	0,92	0,99	2,44	3,46	6,48	12,83	15,56	9,72
RA-09	18,00	11,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	0,00	0,00	5,53	22,31	14,98
RA-12	0,00	7,44	0,00	3,28	0,00	1,17	1,40	0,00	3,23	4,03	2,48	5,22	5,40
RA-13	3,81	2,76	2,00	1,04	0,47	1,14	1,81	1,44	2,78	3,88	5,19	4,97	3,89
RA-15	4,03	14,67	13,14	18,37	13,33	0,00	12,00	9,74	7,50	14,20	6,29	11,49	15,19
RA-16	0,00	1,80	4,42	5,84	5,06	5,49	5,31	0,00	0,00	0,00	3,92	0,00	5,69
RA-20	4,46	11,84	24,13	3,38	29,19	0,00	22,60	54,03	36,08	8,45	21,30	18,28	40,18
RA-21	42,50	36,31	19,46	11,47	10,30	6,49	9,08	8,82	11,19	11,81	35,78	45,73	27,14
RA-22	0,74	0,54	0,23	0,34	0,79	1,59	3,01	3,40	5,59	7,46	5,18	1,70	4,37
RA-24	47,19	31,41	21,60	11,20	9,07	8,82	10,50	10,66	15,49	23,32	42,36	47,81	31,70
RA-25	9,14	6,55	2,99	8,18	13,37	20,27	23,69	14,25	14,93	6,56	0,00	4,95	19,95
RA-27	1,12	0,91	1,40	1,48	7,49	11,61	10,56	9,89	3,70	1,74	1,64	2,32	6,77
RA-29	0,00	1,25	0,00	5,59	18,94	26,13	30,14	57,44	23,54	10,70	0,00	0,00	31,63
RA-30	0,05	0,04	0,06	0,11	0,05	0,24	0,84	0,83	0,34	0,65	0,35	0,13	0,93
Prom.	12,69	11,82	8,60	6,07	8,06	6,34	9,28	11,70	9,13	7,59	11,34	14,09	16,27
Máx.	47,19	36,31	25,64	18,37	29,19	26,13	30,14	57,44	36,08	23,32	42,36	47,81	40,18
Mín.	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-11: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Limarí

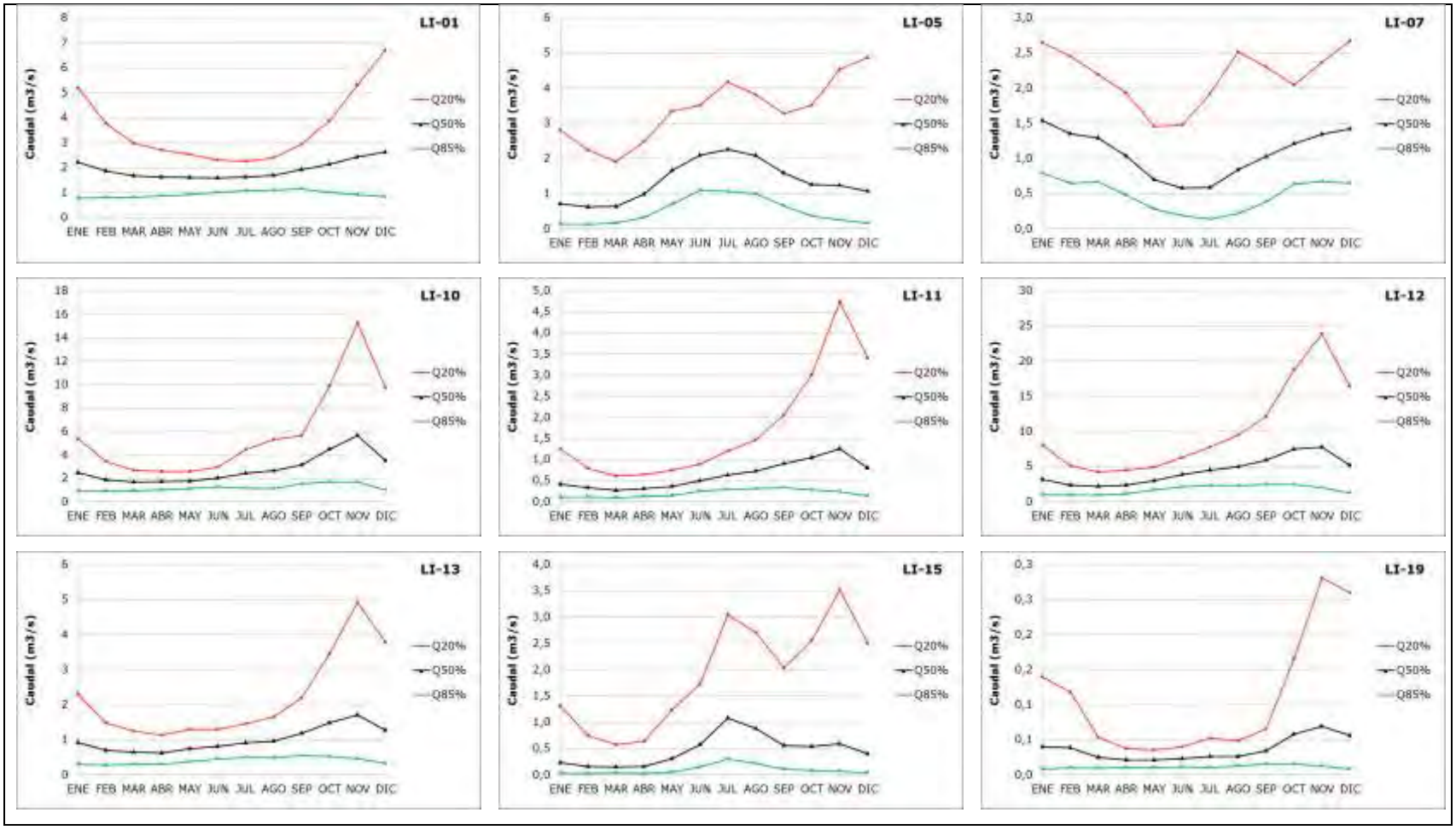


Figura 4-11: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Limarí (Continuación)

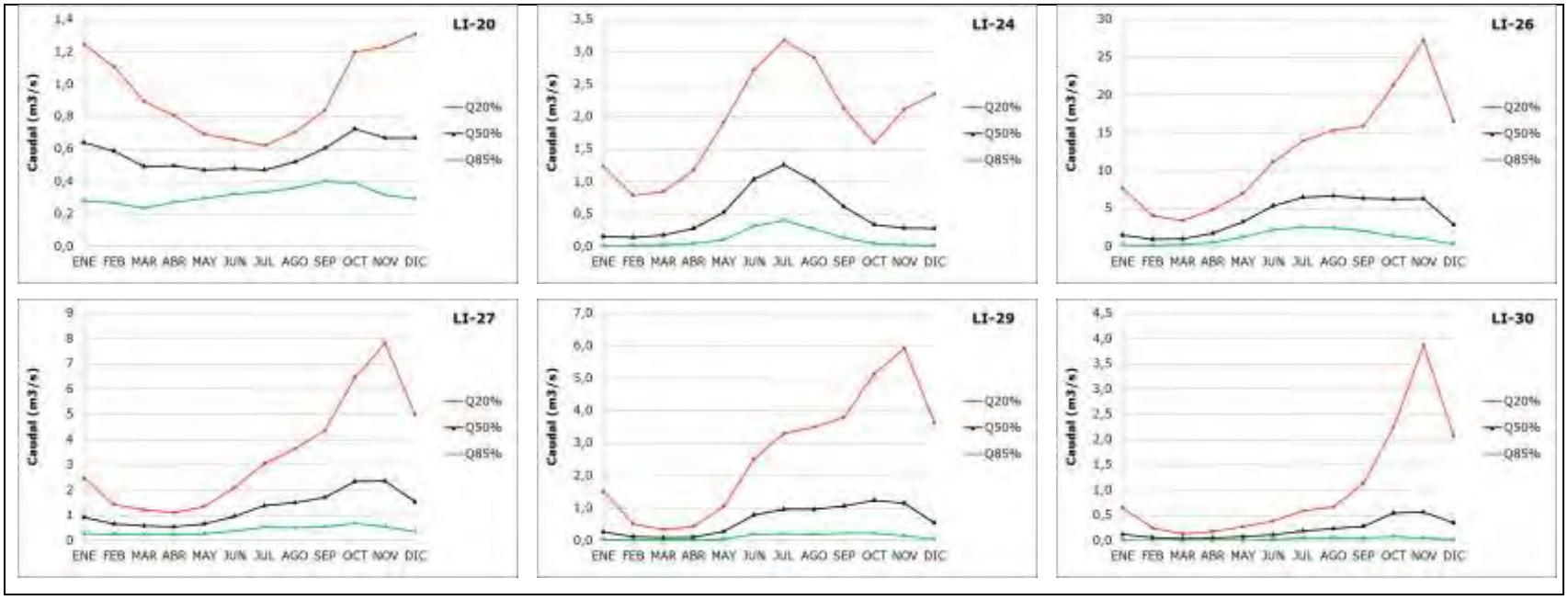
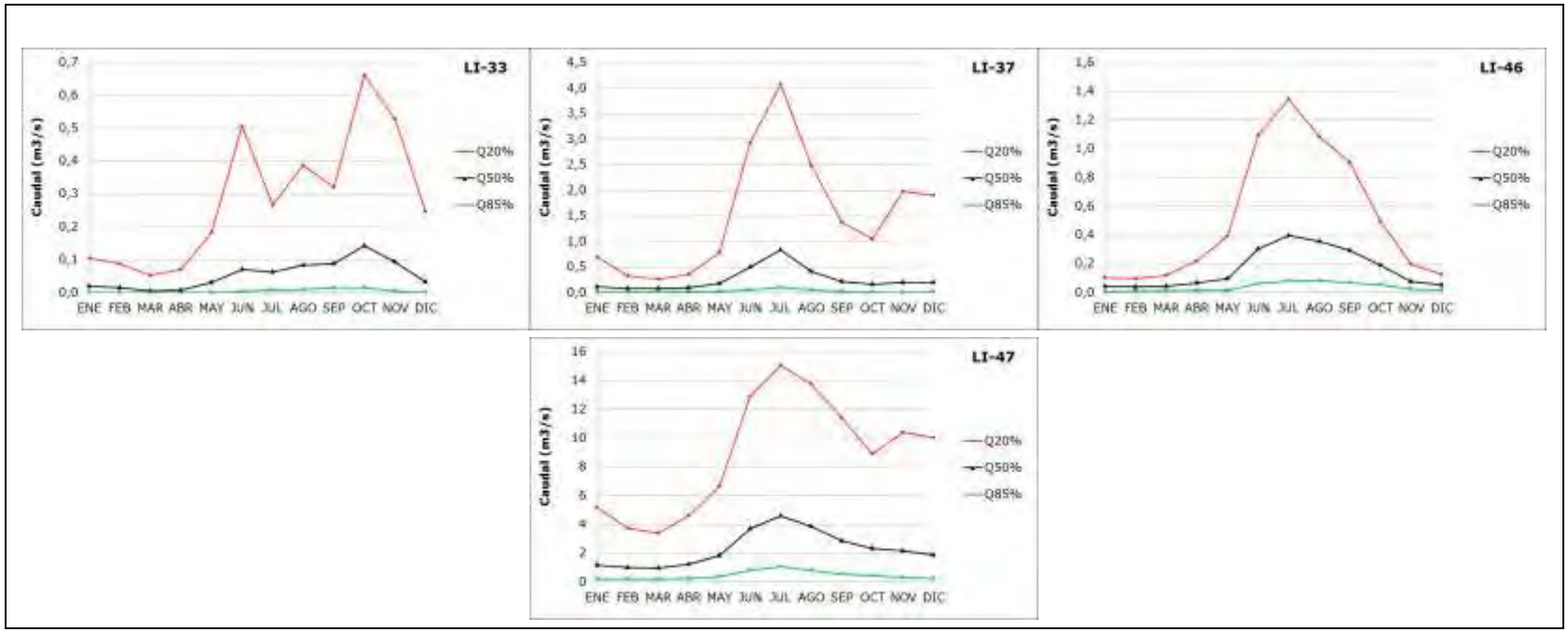


Figura 4-11: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Limarí (Continuación)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-12: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Aconcagua

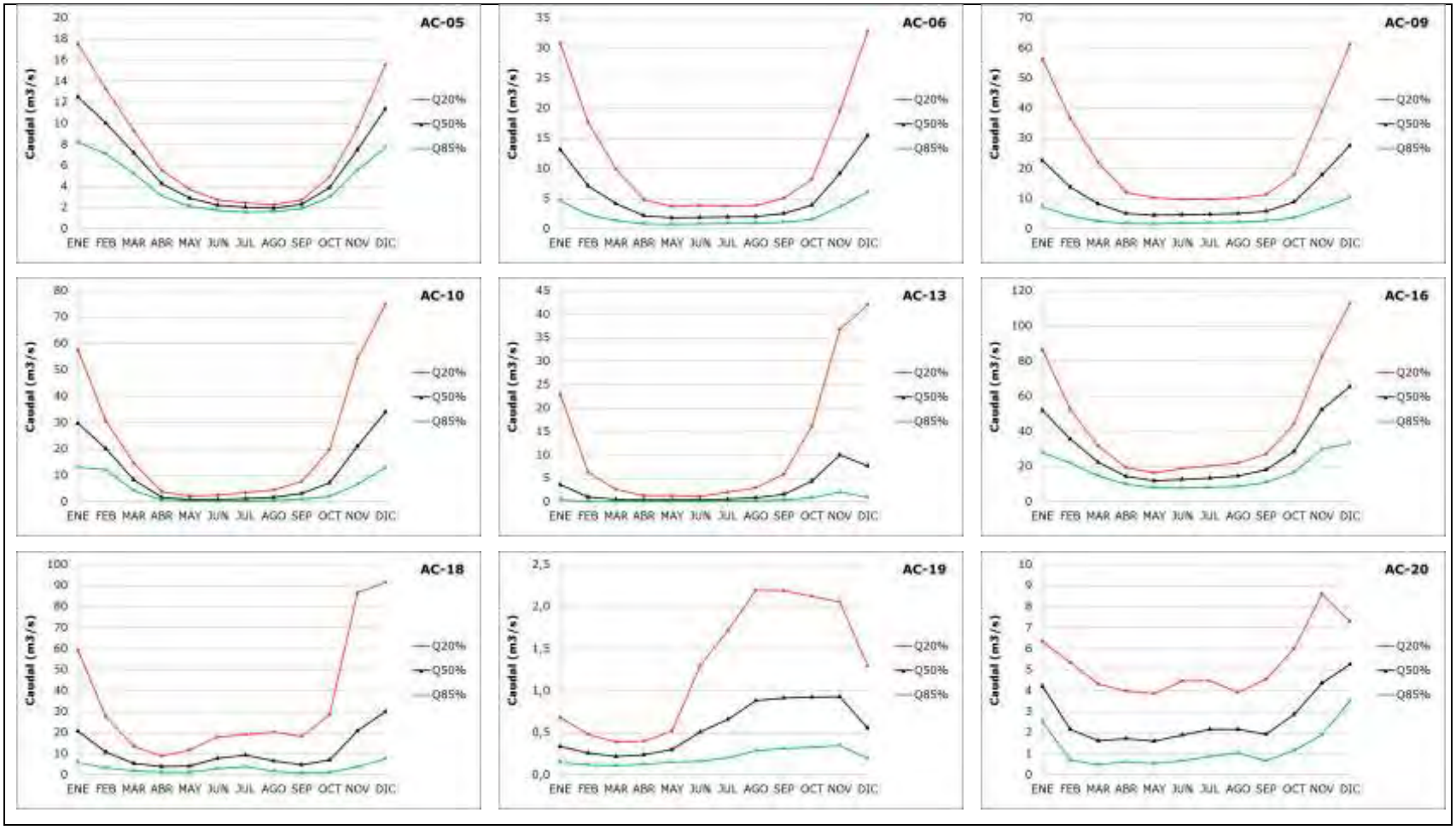


Figura 4-12: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Aconcagua (Continuación)

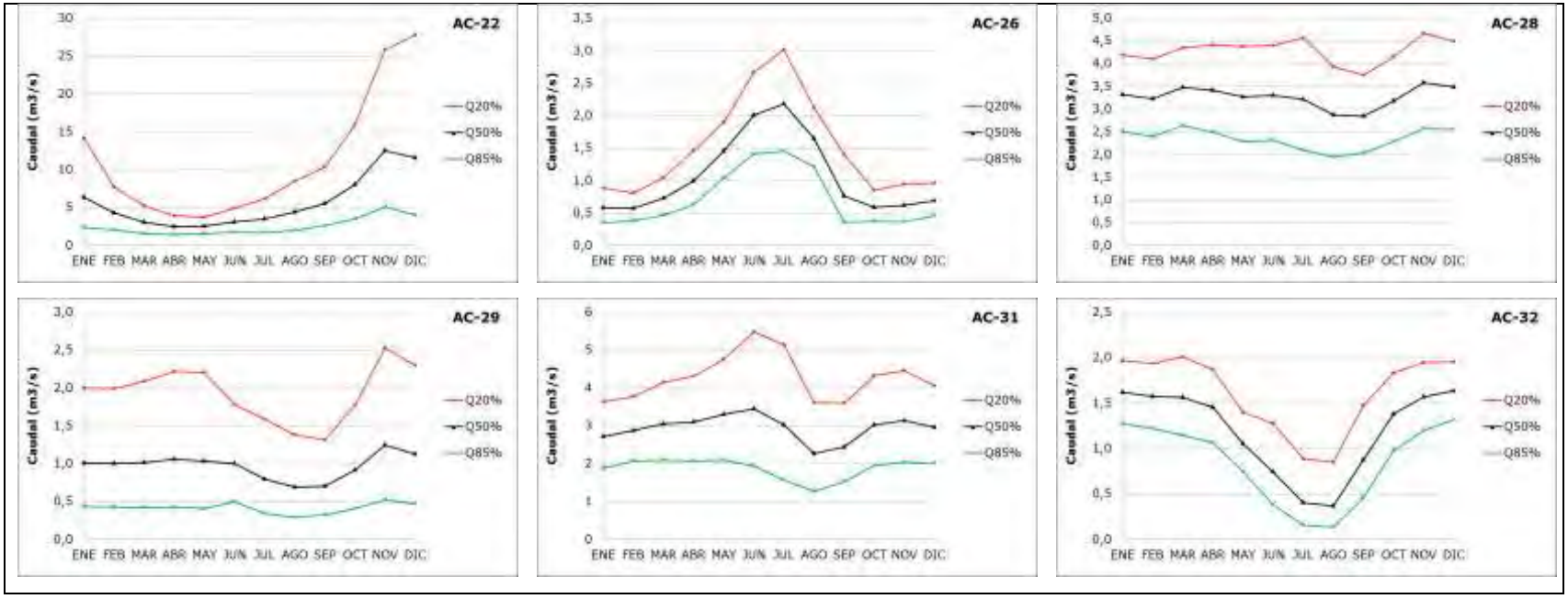
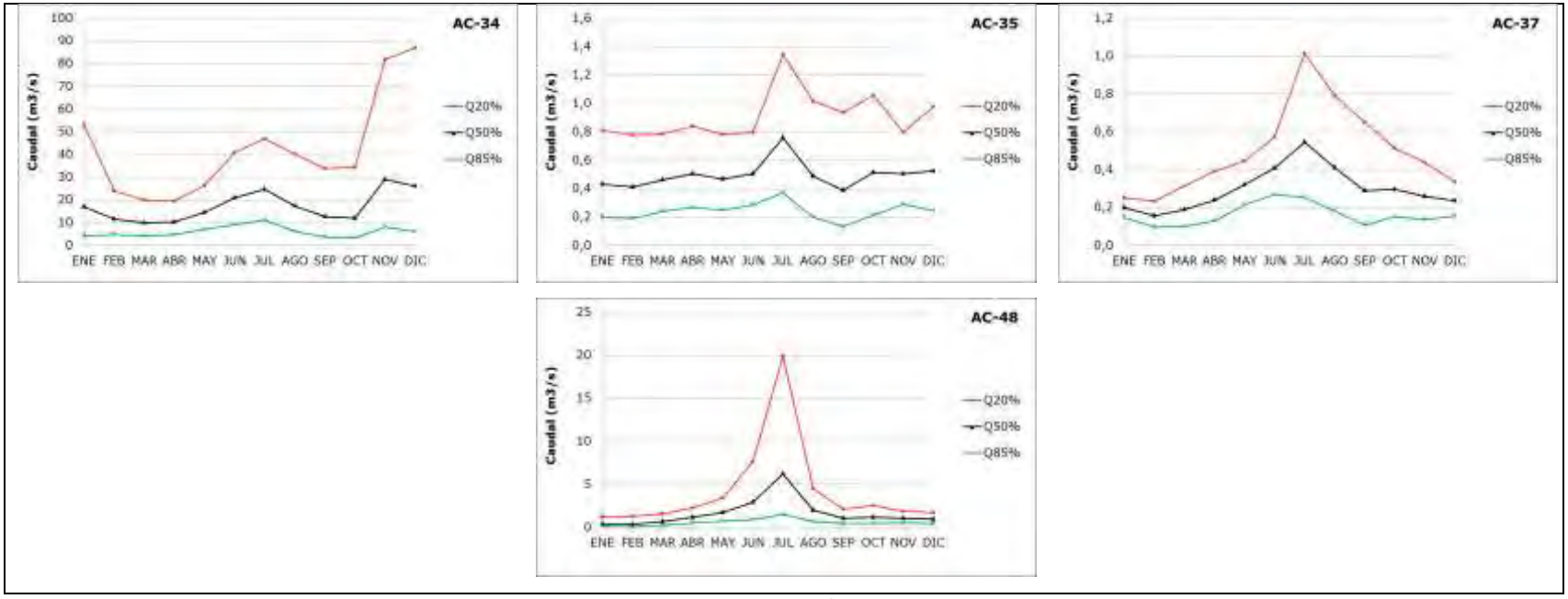


Figura 4-12: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Aconcagua (Continuación)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-13: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Rapel

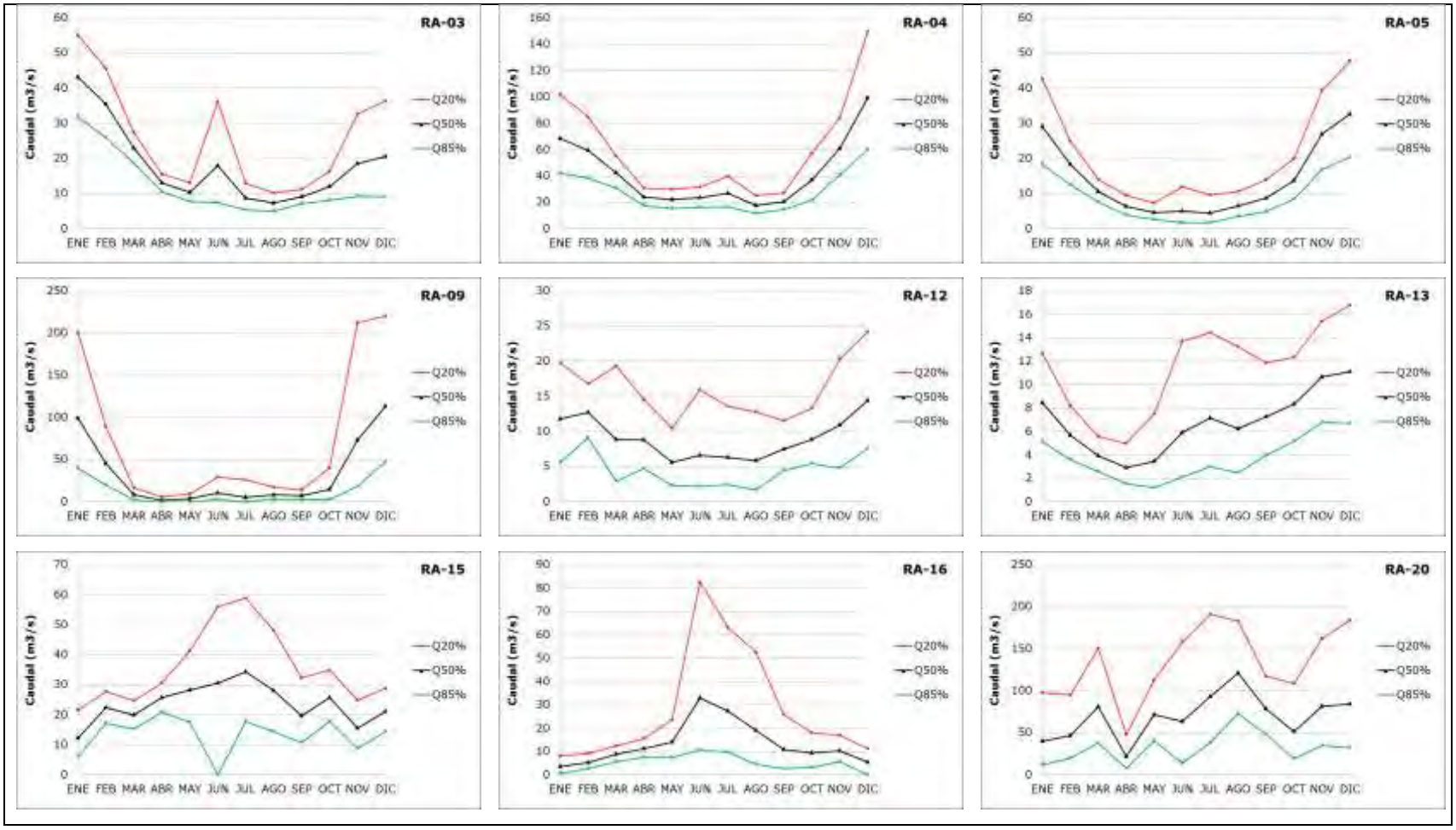
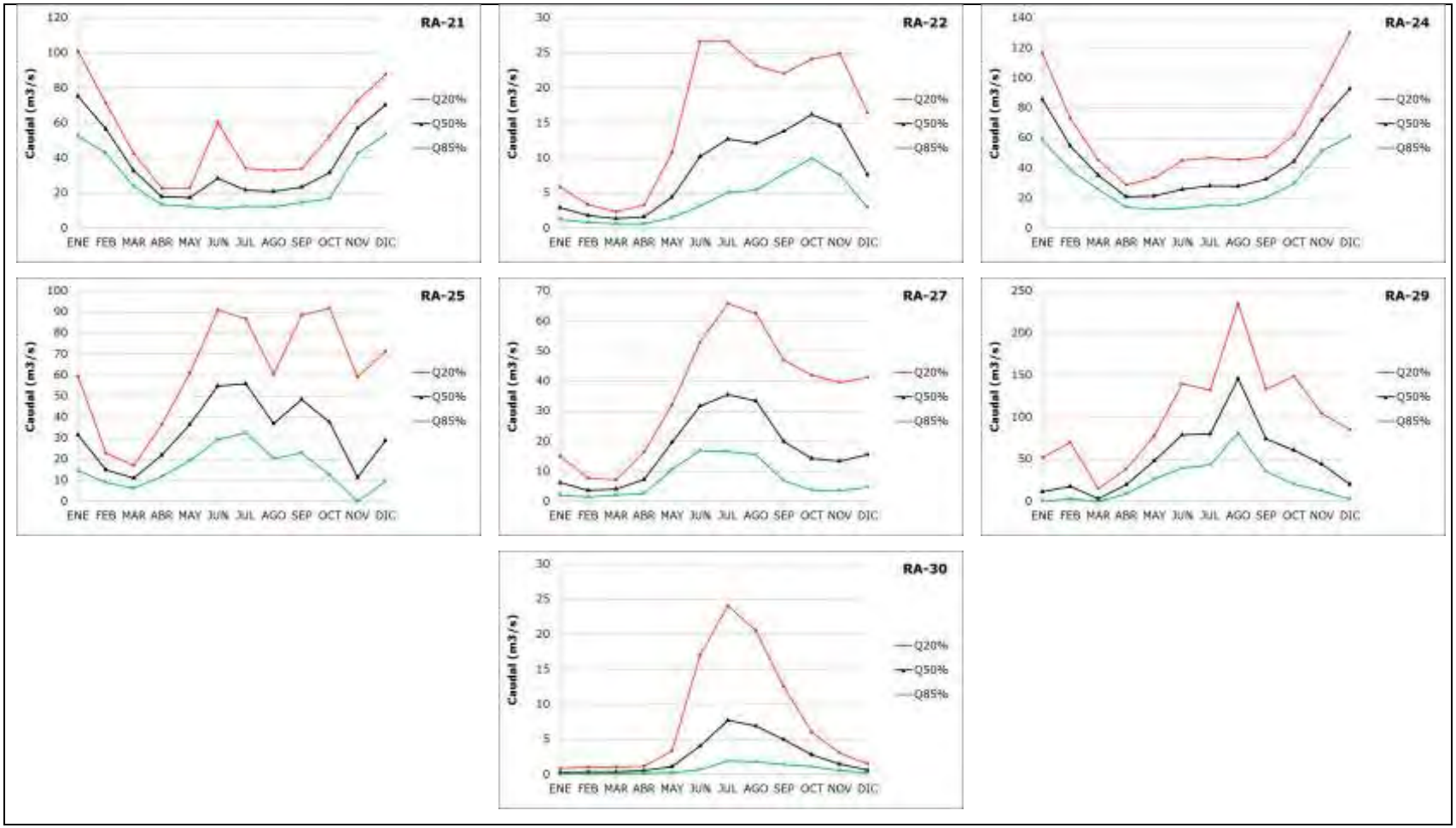


Figura 4-13: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia cuenca río Rapel (Continuación)



Fuente: Elaboración Propia

5 DEMANDA HÍDRICA

La estimación de demanda hídrica de la cuenca contempla el cálculo de la demanda de usos, determinada a través de la información recopilada en el CPA y la aproximación a la demanda real en base a la vocación productiva de la cuenca.

Para las cuencas de los Ríos Limarí y Rapel la estimación de la demanda hídrica se realizó a nivel de subcuenca, mientras que para la cuenca del Río Aconcagua se realizó para cada sección (4 secciones en el río Aconcagua y una en Putaendo).

5.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CATASTRO PÚBLICO DE AGUAS

En este capítulo se analiza la información de los derechos de agua en el área de estudio. Con esta información se tiene una aproximación de la demanda de agua superficial en la zona

Para determinar la ubicación de los derechos que no cuentan con coordenadas, se procedió a revisar la referencia de la ubicación del punto de captación y se localizaron a nivel de subcuenca (o sección).

Para efectos del análisis de evolución histórica de otorgamiento de caudal, se consideró que una acción equivale a un caudal de 1 L/s.

5.1.1 Cuenca Río Limarí

En la Tabla 5-1 se muestran los derechos por subcuenca. Se observa que la mayor cantidad de derechos están en el sector de Huatulame, en dónde escurren los ríos Combarbalá, Cogotí y Huatulame.

La subcuenca Río Grande Medio tiene un caudal 20.250 L/s correspondiente a derechos no consuntivos, pertenecientes a empresas hidroeléctricas.

Se observa además que 23.560 L/s corresponden a derechos consuntivos que no pudieron localizarse en ninguna subcuenca, de los cuales 23.460 L/s corresponden al derecho del embalse La Paloma.

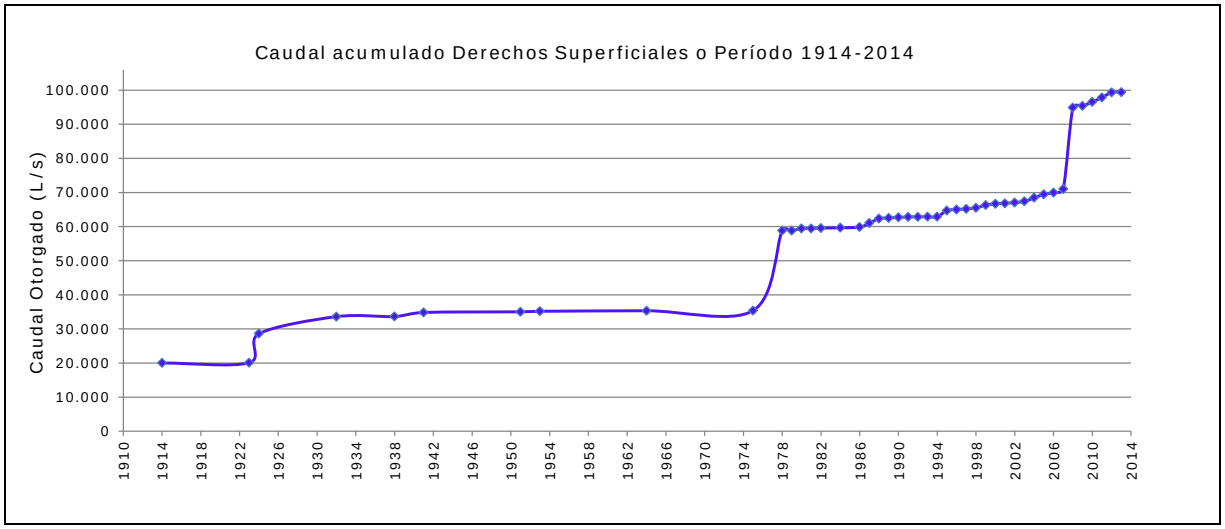
Tabla 5-1. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Limarí por subcuenca

Subcuenca	Derechos Consuntivos				Derechos No consuntivos	
	Caudal (Acciones)	N° Derechos	Caudal (L/s)	N° Derechos	Caudal (L/s)	N° Derechos
Río Grande Medio	344	72	72	10	20.250	3
Río Huatulame	5.662	805	485	47	100	1
Río Grande Alto	870	205	114	20	203	2
Río Grande Bajo	77	7	20	4	1.000	1
Río Hurtado	1.452	137	43	3	4.012	5
Río Limarí	1.902	96	9.579	91	520	2
S/I			23.560	2	5.000	1
Total	10.308	1.322	33.874	177	31.084	15

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Figura 5-1 se muestra un gráfico con la evolución del caudal otorgado en la cuenca. Se tiene información desde el año 1914 y se observa que en el periodo 1914-1975 se mantuvo relativamente constante el caudal otorgado. En el año 1978 hubo un otorgamiento alto de caudal, correspondiente al derecho del Embalse Paloma. El monto del caudal otorgado vuelve a estabilizarse hasta el año 2010, en donde se observa nuevamente un aumento. Cabe señalar que muchos de los derechos otorgados con fecha posterior al año 1978 son perfeccionamientos de derechos ya otorgados.

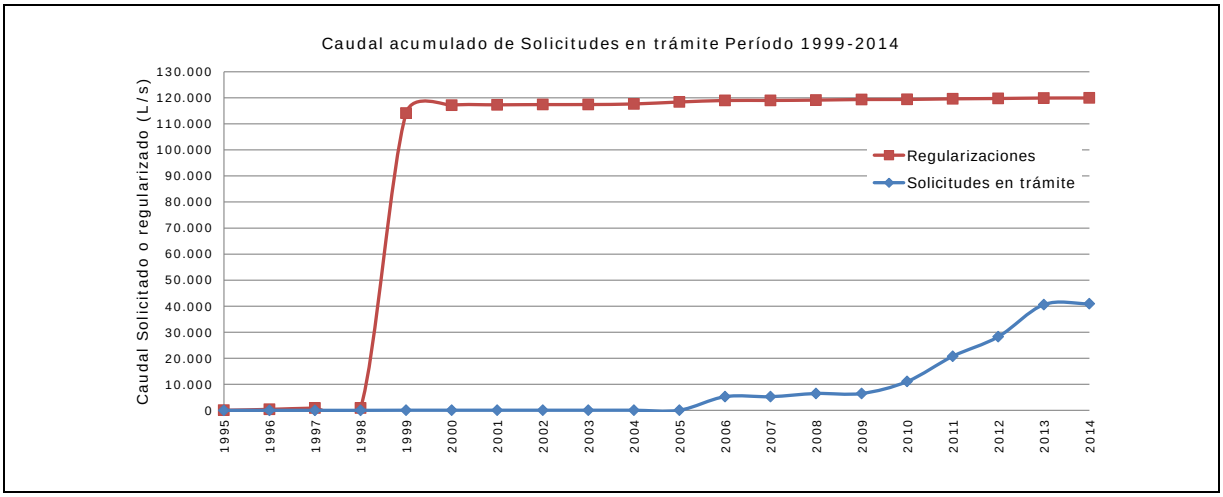
Figura 5-1: Evolución histórica del caudal otorgado en Limarí



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En cuanto a las solicitudes en trámite, a partir del año 2006 se observa un aumento de caudal, con mayor pendiente a partir del año 2010. Esto se puede ver en la Figura 5-2 en donde también se muestra la evolución del caudal asociado a regularizaciones de derechos, referentes al 2do artículo transitorio. Estas regularizaciones se observan a partir del año 1995, con un aumento significativo en el año 1999. Luego se mantiene constante el caudal hasta el año 2014. Se debe señalar que el caudal correspondiente a regularizaciones corresponde al caudal solicitado, y no siempre corresponde al caudal realmente aprobado; esta información está en los juzgados de letras correspondientes.

Figura 5-2: Evolución histórica del caudal solicitado



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

5.1.2 Cuenca Río Aconcagua

En la cuenca del río Aconcagua la mayor cantidad de derechos consuntivos se localizan en la Sección de Putaendo. En cuanto a los derechos no consuntivos, estos se concentran en la Primera Sección, correspondiente principalmente a derechos de CODELCO (División Andina) y a generación de energía hidroeléctrica (Tabla 5-2).

Hay 4 derechos que no pudieron localizarse en alguna sección, y corresponden a otorgamientos antiguos, con fecha anterior al año 1935.

Se debe mencionar que para efectos de este análisis se dejaron fuera 8 derechos en la Tercera Sección equivalente a 98.400 L/s, y 2 de la Primera Sección equivalente a 24.600 L/s, dado que el monto de su caudal era dudoso. Estos derechos corresponden a otorgamientos antiguos a particulares.

Tabla 5-2. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Aconcagua por sección

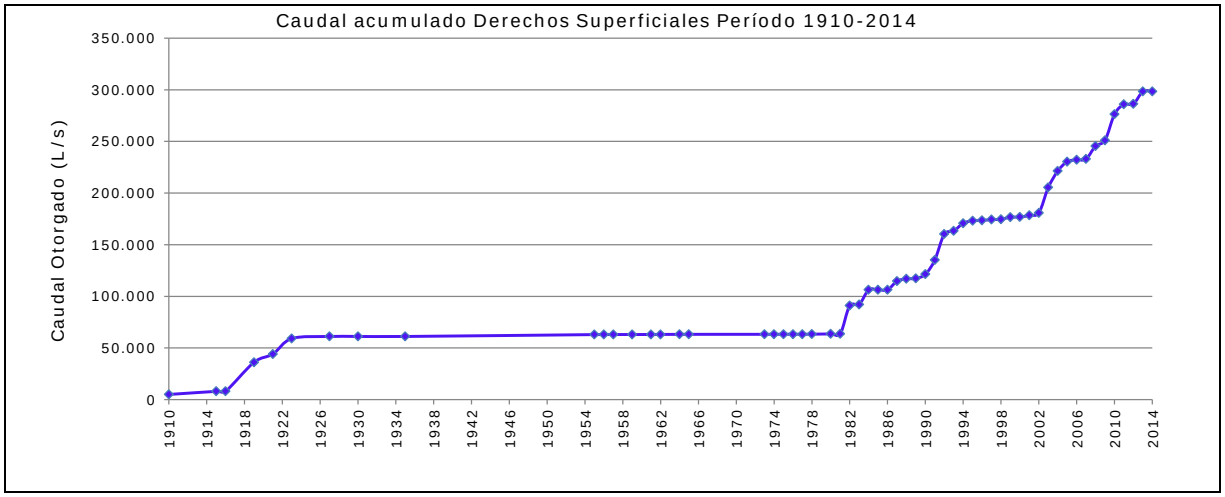
Sección	Tipo de derecho					
	Consuntivos				No Consuntivos	
	Caudal (acciones)	N° derechos	Caudal (L/s)	N° derechos	Caudal (L/s)	N° derechos
Primera	4.749	69	23.569	69	160.398	47
Segunda	253	4	9.987	30	19.195	7
Tercera	166	14	7.098	69	0	0
Cuarta	74	23	9.690	86	60	1
Putaendo	187	49	27.183	527	17.727	8
S/I	0	0	3.001	2	15.000	2
Total	5.430	159	80.528	783	212.380	65

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En la Figura 5-3 se muestra un gráfico con la evolución del otorgamiento de derechos en la cuenca. Se puede observar que hay un estancamiento en monto de caudal otorgado hasta el año 1982, en donde se produce un aumento que se mantiene relativamente constante hasta el año 2014. Al analizar el año 1982, el aumento del caudal se relaciona al otorgamiento de derechos no consuntivos a Minera Valparaíso y a CODELCO División Andina.

Al igual que en la cuenca del río Limarí, muchos de los derechos con otorgamiento más reciente corresponden a perfeccionamientos de derechos antiguos.

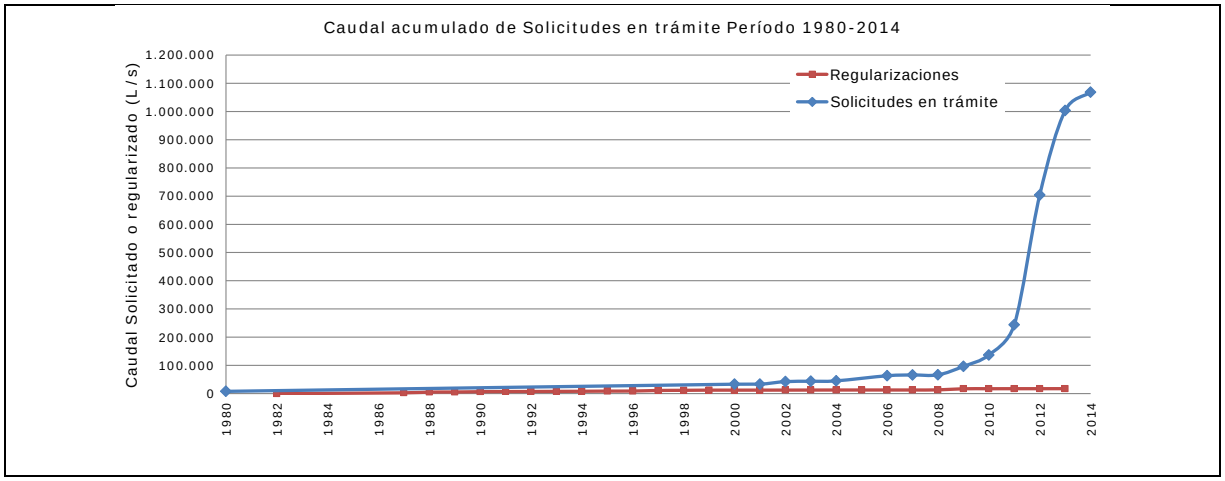
Figura 5-3: Evolución histórica del caudal otorgado en Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

En relación a las solicitudes en trámite, se observa un aumento significativo de caudal solicitado a partir del año 2010, relacionado a solicitudes de la DOH. Las regularizaciones son de un monto de caudal mucho menor (Figura 5-2).

Figura 5-4: Evolución histórica del caudal en trámite en Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

5.1.3 Cuenca Río Rapel

En la Tabla 5-3 se muestran los derechos en la cuenca, para cada subcuenca. Como se muestra, en la cuenca del Río Cachapoal Bajo es donde se presenta la mayor cantidad de derechos consuntivos otorgados, pero en cuanto a caudal, la cuenca del Río Rapel es la que tiene mayor monto otorgado, destacando el titular Valle Rapel S.A. En relación a los derechos no consuntivos, se localizan principalmente en las cuencas de cabecera Cachapoal Alto y Tinguiririca Alto, correspondiente a uso en energía hidroeléctrica.

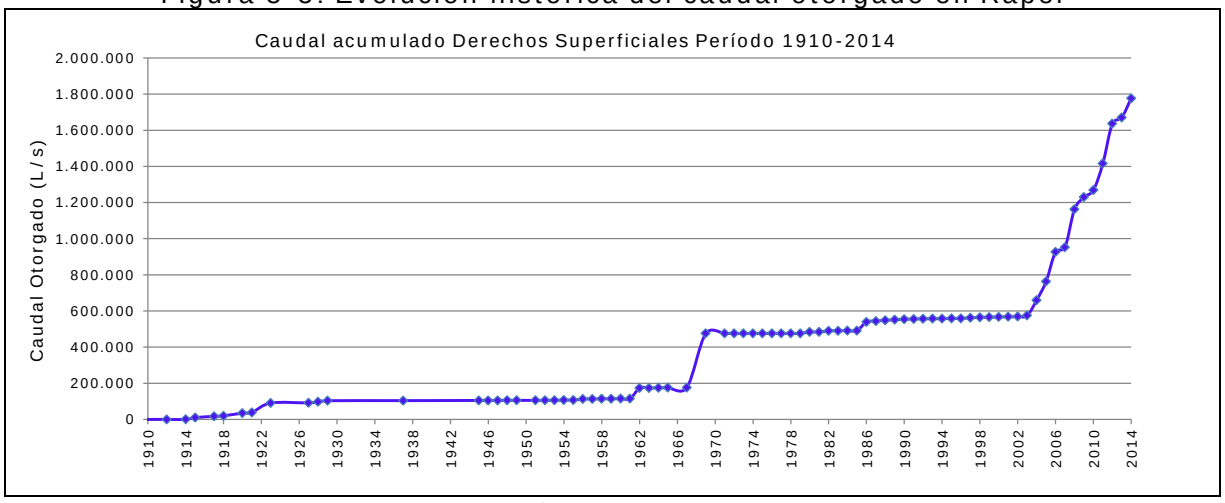
Tabla 5-3. Derechos de aprovechamiento en cuenca del Río Rapel por subcuenca

Subcuenca	Derechos Consuntivos				Derechos No consuntivos	
	Caudal (Acciones)	N° Derechos	Caudal (L/s)	N° Derechos	Caudal (L/s)	N° Derechos
Río Cachapoal Alto	922	16	16.324	60	559.826	86
Cachapoal Bajo	842	221	11.945	159	122.740	22
Río Tinguiririca Alto	954	29	3.309	49	247.108	100
Tinguiririca Bajo	5.068	46	11.286	233	192.178	12
Estero Alhué	0		2.054	25		
Río Rapel	208	4	67.012	123	494.385	7
S/I	0		39.898	18		
Total	7.994	316	151.829	667	1.616.237	227

Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

De acuerdo al año de otorgamiento registrado en el CPA, se tiene la evolución histórica del caudal otorgado (Figura 5-5). Se visualiza un aumento a partir del año 1966, el cual se estabiliza hasta el año 2002, en donde se vuelve a observar un aumento, situación que se observa hasta el año 2014. Este aumento está relacionado a derechos de tipo no consuntivo otorgados principalmente para generación de energía.

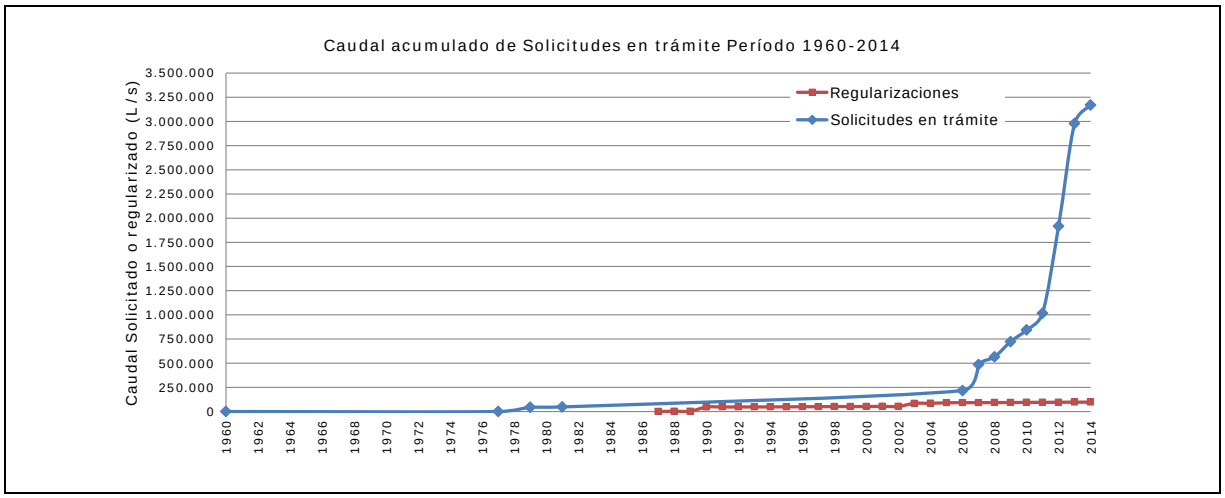
Figura 5-5: Evolución histórica del caudal otorgado en Rapel



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

Con respecto a las solicitudes en trámite, hay un caudal acumulado hasta el año 2014 de 97.574 L/s por concepto de regularizaciones, mientras que el caudal de las solicitudes en trámite asciende a 3.169.378 L/s al año 2014. Las solicitudes aumentan en el año 2006.

Figura 5-6: Evolución histórica del caudal en trámite en Rapel



Fuente: Elaboración Propia, CPA Noviembre 2014

5.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DEMANDA EN TERRENO

Para validar la información contenida en el CPA con respecto a las organizaciones de usuarios, se contactó a las juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas más relevantes de cada cuenca, utilizando como criterio la cantidad de acciones que son administradas por cada organización. Primero se contactó vía telefónica y luego se envió un correo electrónico explicando la realización del presente estudio, sus objetivos y solicitando una reunión, junto a una carta de acreditación emitida por la DGA. La información que se busca obtener de parte de estas organizaciones dice relación con: catastro de usuarios, derechos (acciones y/o caudal), ubicación de canales y distribución del agua (diagramas unifilares), funcionamiento del sistema tanto histórico como actual, superficie de riego, información de otros estudios realizados, tanto por organismos públicos como consultores privados, y cualquier otro antecedente que los representantes de las juntas de vigilancia consideraran como relevantes para el presente estudio.

Luego de realizar los contactos, se concretaron reuniones con las organizaciones que accedieron, en sus respectivas oficinas en la región.

5.2.1 Cuenca Río Limarí

En la Tabla 5-4 se presentan las juntas de vigilancia contactadas dentro de la cuenca, indicando el contacto, si se realizó la reunión y la respuesta entregada por ellos ante la solicitud de una reunión en el contexto de este estudio.

Tabla 5-4. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Limarí

Nombre de Organización	Contacto	Reunión	Observaciones
Sistema embalse La Paloma	José Eugenio González del Río (Pdte.)	Sí	
Junta de vigilancia del río Grande y Limarí y sus afluentes	José Eugenio González del Río (Pdte.) Manuel Muñoz Zepeda (Administrador)	Sí	Enviaron información por e-mail
Junta de vigilancia del río Mostazal y sus afluentes	Raúl Carmona (Director) Patricia Araya (Secretaria)	Sí	
Junta de vigilancia del río Rapel y sus afluentes	Onofre Julia Donoso (Pdte.) Jessica Rocco R. (Secretaria)	Sí	
Junta de vigilancia del río Combarbalá y sus afluentes	Sady Guzmán (Director)	Sí	
Asociación de canalistas del embalse Cogotí	Cipriano Miranda (Administrador)	Sí	
Junta de vigilancia del río Cogotí y sus afluentes	Julio Godoy (Pdte.)	No	No se pudo contactar por teléfono y en la visita a Combarbalá se buscó la oficina directamente pero no se pudo encontrar
Junta de vigilancia del río Pama y sus afluentes	Sady Guzmán (Pdte.)	Sí	
Asociación de canalistas del embalse Recoleta	Marcela (Secretaria)	No	Indican que para realizar una reunión la DGA debe solicitarla directamente mediante una carta y luego debe ser aprobado por el directorio (No se concretó dado los acotados plazos del estudio)
Junta de vigilancia del río Hurtado y sus afluentes	Rubén Espinoza P. (Pdte.) Sara (Secretaria)	No	Se visitó su oficina e indicaron que recibieron el correo y que lo responderían de acuerdo a sus posibilidades. A la fecha de este informe no se ha recibido información
Junta de vigilancia del río Huatulame	Harming Rivera	No	No se pudo contactar

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta un resumen de las reuniones realizadas con las diferentes juntas de vigilancia.

Junta de vigilancia del río Rapel y sus afluentes

El día 25 de noviembre de 2014 a las 11:30 am en el poblado de Rapel se realizó la reunión con Jessica Roco, secretaria de esta junta de vigilancia, quien entregó a GeoHidrología el diagrama unifilar y las asociaciones de canalistas que dependen de la junta de vigilancia junto a las acciones de cada canal y la cantidad de usuarios. El listado de usuarios no fue

entregado, ya que es muy largo y se administra en un programa computacional especial, el que no puede exportarse a Excel, por lo que sólo lo pueden entregar impreso.

Con respecto al funcionamiento y características del sistema de riego, indicaron lo siguiente:

- las acciones de cada canal no varían ya que no está permitido traspasarlas de un canal a otro (buscan mantener el concepto de que el agua se encuentra ligada a la tierra que riegan).
- aguas arriba de esta junta de vigilancia se encuentra una central de pasada de ENDESA, quienes son los responsables de entregar el agua a la junta.
- actualmente funcionan con un sistema de turnos regulando el ingreso a cada canal mediante compuertas y dado el déficit de agua han instalado geomembranas en los canales para disminuir las pérdidas por infiltración.
- esta junta de vigilancia no tiene obligación de tributar al sistema paloma por lo que pueden utilizar toda el agua disponible en el río. Por esto, no han presentado mayores problemas considerando la sequía que afecta la zona.
- se indicó como referencia utilizar el estudio realizado por la Universidad de Concepción para la CNR el 2011, *"Transferencia de capacidades para organizaciones de regantes de subcuencas de la región de Coquimbo"*.

Junta de Vigilancia del río Limarí, río Grande y sus afluentes / Sistema Paloma

El día 25 de noviembre de 2014 a las 15:00 hrs. en Ovalle, se realizó la reunión con el presidente del Sistema Paloma, Sr. José Eugenio González del Río, quien a su vez es el presidente de la junta de vigilancia del río Limarí, río Grande y sus afluentes, por lo que es una persona clave en cuánto al conocimiento de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Limarí. Dentro de los temas relevantes discutidos en la reunión se destaca que:

- la cuenca del río Limarí se declaró agotada en diciembre de 1880 y fue en esta fecha donde quedaron definidos los canales y usuarios con derechos permanentes y el rol de la propiedad que cada derecho regaba, sin embargo no existían organizaciones de usuarios,
- desde diciembre de 1880 en adelante todos los derechos otorgados en la cuenca del río Limarí son eventuales y no permanentes,
- en el año 1893, por problemas legales, se forma la junta de vigilancia del río Limarí, la que aplica para toda la cuenca y en el año 1951 con la creación del primer código de aguas se abre la posibilidad de que las subcuencas formen sus propias juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas, y que
- durante todo el periodo previo a la promulgación del código de aguas en 1981 el agua estaba ligada a la tierra que regaba, sin embargo, en la concepción actual, donde el concepto de agua se encuentra separado de la tierra se generan problemas ya que como ésta puede venderse, trasladarse, etc. pueden generarse problemas de desequilibrio dentro de las cuencas, según la opinión del Sr. González.

Respecto del Sistema Paloma se señaló que:

- el sistema Paloma está formado por 3 embalses, el embalse La Paloma, Cogotí y Recoleta, los cuales en su conjunto poseen una capacidad útil de 1.000 millones de m^3 (750 millones de m^3 Paloma, 150 millones de m^3 Cogotí y 100 millones de m^3 Recoleta),
- el Sistema Paloma establece para cada temporada agrícola de condiciones normales, la asignación de 320 millones de m^3, de los cuales 240 son aportados por el embalse La Paloma, 40 por el embalse Cogotí y 40 por el embalse Recoleta, distribuidos en proporción a las acciones de cada organización del sistema (regularizado mediante resolución DGA N°323/1986),
- la regla de operación es la siguiente, si el volumen embalsado es:
    - mayor o igual a 1.000 millones de m^3, se declara dotación libre (1 L/s por acción aprox.),
    - entre 500 y 1.000 millones de m^3, dotación máxima de 320 millones de m^3 (temporada agrícola normal),
    - menor a 500 millones de m^3, dotación restringida, sólo se entrega un 50% del volumen almacenado, y
    - en caso de que algún embalse no alcance a satisfacer el 40% de su demanda se vuelve a la situación original, es decir situación sin embalse denominada tributación donde el agua disponible se reparte proporcionalmente (para el caso del embalse Paloma este valor corresponde a 96 millones de m^3 y para los embalses Cogotí y Recoleta 16 millones de m^3).
- En general el funcionamiento durante periodos de crisis hídrica implica que los juntas de vigilancia que se encuentran aguas arriba del embalse La Paloma, tributan y pueden usar el agua directamente desde el río durante el verano y los regantes que se encuentran aguas abajo de la cota del embalse riegan sólo con el agua embalsada.

Cabe señalar que el embalse La Paloma tiene derechos sobre todos los excedentes aguas arriba del embalse, donde toda el agua se usa para riego (superficie de riego aproximada de mil Ha). Actualmente el embalse se encuentra en su punto más bajo en los últimos 42 años. Acorde a la opinión del Sr. González existe un incentivo perverso por parte de la CNR para aumentar la superficie de riego en la región lo que aumenta la demanda del recurso hídrico generando problemas de abastecimiento los que son críticos durante los periodos de sequía.

Adicionalmente, se menciona varios estudios realizados por la DGA de oferta y demanda, y por la Universidad de La Serena sin entregar mayor detalle de éstos y al finalizar la reunión se compromete la entrega de información a través de un pendrive, previo envío de una carta dirigida a la junta de vigilancia, la que fue enviada, sin embargo a la fecha se sigue esperando la información (organizaciones de usuarios con sus respectivas acciones, ubicación de bocatomas, diagrama unifilar, estadísticas de embalse La Paloma, estudios con información relevante para ser usados como antecedentes).

Junta de vigilancia del río Mostazal y sus afluentes

El día 25 de noviembre a las 19:00 hrs. en Pedregal se realizó una reunión con el Sr. Raúl Carmona, director de esta junta de vigilancia, quién entregó el diagrama unifilar de riego en el río Mostazal (3.240 acciones del río Mostazal y 200 acciones del río San Miguel) y explicó de manera general el funcionamiento del sistema de riego en esta junta de vigilancia, dentro de lo cual se destaca que:

- esta junta de vigilancia es independiente del Sistema Paloma, por lo que no están obligados a tributar a éste. Por lo anterior es probable que en periodos de escasez en el sector del río Mostazal donde termina la junta de vigilancia el río se encuentre seco o con muy poca agua, de hecho indicó que existe una estación fluviométrica que debe medir caudales bajos la mayor parte del tiempo,
- el río se ha revestido con geomembrana para evitar pérdidas por infiltración,
- dada la escasez de agua, el río se divide en subsecciones entregando agua a los canales por un cierto tiempo proporcional a sus acciones para así lograr que el agua llegue a los últimos regantes y así sucesivamente, y que
- a fines de noviembre contaban con 550 L/s de disponibilidad de agua en el río y el sistema estaba subdividido en 4 subsecciones de riego.

Adicionalmente se entregaron 2 estudios, el primero realizado por Aquasys para INDAP el 2013, "Fortalecimiento de la gestión privada de los recursos hídricos del río Mostazal y sus afluentes, región de Coquimbo" y el segundo fue el estudio de la Universidad de Concepción mencionado anteriormente.

Asociación de canalistas del embalse Cogotí y embalse Cogotí

El día 26 de noviembre a las 11 am en Ovalle se realizó una reunión con el Sr. Cipriano Miranda, presidente de esta asociación y del embalse Cogotí, quién explicó el origen del sistema Paloma y su funcionamiento (ya descrito anteriormente) y de forma simple indicó que el beneficio del embalse La Paloma es que los regantes aguas arriba del embalse pueden disponer del agua del río y los que se encuentran bajo el embalse riegan con el agua embalsada en éste. Dentro de los temas relevantes discutidos en la reunión se encuentra que:

- existe una red de canales en el sistema Paloma de más de 300 km,
- esta asociación cuenta con una sola bocatoma en el canal Matriz que es de 110 km de largo y tiene 8 m^3/s de capacidad el que atiende todas las acciones de la asociación de canalistas, y
- esta asociación y el embalse Cogotí son una entidad diferente a la junta de vigilancia del río Cogotí y sus afluentes que tiene su sede en Combarbalá.

Al finalizar la reunión se entregó el diagrama unifilar del sistema Paloma y del subsistema Embalse Cogotí en el que se indican las superficies de riego y derechos, planillas Excel con el funcionamiento del embalse Cogotí y el convenio de administración entre la DOH y la asociación de canalistas del embalse Cogotí, donde se destaca la información de reparto de aguas dentro del sistema Paloma. Quedo pendiente el envío de las coordenadas de la bocatoma del canal Matriz.

Junta de vigilancia del río Pama y sus afluentes y del río Combarbalá y sus afluentes

El día 26 de noviembre a las 18:00 hrs en Combarbalá se realizó una reunión con representantes de la junta de vigilancia de los ríos Pama y Combarbalá de manera conjunta ya que el Sr. Sady Guzmán (quien fue el contacto) pertenecía a ambas juntas de vigilancia, de la primera es el Presidente y de la segunda Director. Cabe señalar que en esta reunión

se volvió a mencionar el estudio realizado por la Universidad de Concepción, señalado en otras reuniones con juntas de vigilancia.

Respecto de los temas más importantes tratados en la reunión cabe destacar que:

- estas juntas de vigilancia se encuentran aguas arriba del embalse Cogotí y no tienen obligación de tributar a éste por lo que son partidarios de una posible construcción de embalses en estos ríos,
- en el río Pama no tienen información de caudal, sólo cuentan con datos simulados en un informe de prefactibilidad realizado para el futuro embalse Valle Hermoso. En el río Combarbalá también hay datos simulados de caudal para estudios de futuros embalses en los que se replicó el régimen natural del río (no se indicó específicamente el origen de estos informes,
- las juntas de vigilancia funcionan por turnos dividiendo la totalidad del caudal disponible entre los diferentes canales realizando una proporción entre las acciones de cada canal y el tiempo. Actualmente en el río Pama son 3 minutos por acción (como referencia se indica 0,22 L/s por acción) y en el río Combarbalá 7 minutos por acción (como referencia 1 L/s por acción pero rara vez se da esta situación, por 2 razones, capacidad de los canales y escasez hídrica),
- en el río Pama construyeron una tubería y así distribuyen el agua, ya que si el agua se distribuyera utilizando el lecho del río, ésta se infiltraría y no podrían regar los canalistas que se encuentran en el sector más hacia aguas abajo del río,
- en el río Pama existen 2034 acciones y en el río Combarbalá 3.660, 25 acciones. En general los canales de estas juntas tienen una capacidad que varía entre 300 y 500 L/s.

Al finalizar la reunión se comprometieron a enviar información sobre el catastro de usuarios, diagrama unifilar, ubicación de bocatomas e información de derechos. A la fecha de este informe sólo se ha recibido la información de la junta de vigilancia del río Combarbalá.

Como conclusión de estas entrevistas, en cuanto a conocer la dotación de caudal por cada canal, es difícil obtener dicha dotación, ya que es variable y depende de la situación hídrica en la que se encuentren los sistemas. Como se señaló el sistema Paloma, que es el más grande de la zona, usa la dotación de 1 acción a 1 L/s dependiendo de la disponibilidad de agua en el embalse

5.2.2 Cuenca Río Aconcagua

En la Tabla 5-5 se presentan las juntas de vigilancia contactadas dentro de la cuenca del río Aconcagua, indicando el contacto, si se realizó la reunión y la respuesta entregada por ellos ante la solicitud de una reunión en el contexto de este estudio. Cabe señalar que en la 4ta sección del río Aconcagua no está constituida legalmente la Junta.

Tabla 5-5. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Aconcagua

Nombre de Organización	Contacto	Reunión	Observaciones
JV río Aconcagua 1ª sección	Javier Crasemann (Pdte.) Víctor Mesías	No	No se ha tenido respuesta
JV río Aconcagua 2ª sección	Mauricio Arghous Gonzalo Bulnes (Director)	No	No se ha tenido respuesta
JV río Aconcagua 3ª sección	Walter Riegel (Pdte.)	Sí	

Nombre de Organización	Contacto	Reunión	Observaciones
	Santiago Matta (Gerente)		
JV río Aconcagua 4ª sección	Francisco Ottone	Sí	Enviaron información de canales y diagrama unifilar por e-mail
JV río Putaendo	Secretaria	No	Indicaron que la solicitud debe ser revisada por el directorio antes de entregar una respuesta

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta un resumen de las reuniones realizadas con la junta de vigilancia de la 3ª sección del río Aconcagua que a la fecha es la única de la cual se tuvo respuesta.

Junta de vigilancia del río Aconcagua 3ª sección

El día 16 de diciembre de 2014 en Quillota se realizó la reunión con el gerente, Sr. Santiago Matta donde nos explicó el funcionamiento de la junta de vigilancia y entregó el diagrama unifilar con los derechos de cada canal que depende de la junta de vigilancia. Dentro de los temas discutidos en la reunión, se destaca que:

- la junta de vigilancia de la tercera sección al estar aguas abajo de la 1ª y 2ª secciones se ve afectada por el uso del agua para riego y por la alta infiltración que se produce en el tramo de la 2ª sección por lo que han presentado problemas por la sequía que enfrentan, actualmente durante la semana (lunes a viernes) reciben entre 300 y 1.200 L/s y los fines de semana la 1ª sección les entrega agua y reciben alrededor de 20 m^3/s,
- respecto de las modificaciones al código de aguas y a la constitución, ellos están al tanto, sin embargo tienen sus aprehensiones respecto de los alcances de las modificaciones,
- indicaron que existe un estudio preparado por Luis Jorquera entre 2013 y 2014 para la DOH, en el que se realizó un registro de regantes en la cuenca del Aconcagua, así como un estudio preparado por el Banco Mundial preparado para la DGA "Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos" (2011).

5.2.3 Cuenca Río Rapel

Las juntas de vigilancia de la cuenca del río Rapel, presentan una particularidad y es que se encuentran agrupadas en la "Federación de juntas de vigilancia de la VI región", que es un organismo gremial constituido en octubre de 2005 cuyo objetivo principal es representar la opinión, intereses y necesidades de los más de 30.000 agricultores, propietarios de 190.000 hectáreas correspondientes al 90% de la superficie regada de la región. Además, la Federación fomenta y contribuye al desarrollo integral del riego, a través de la participación en iniciativas público-privadas, donde se coordinan y articulan las medidas tendientes a obtener el mejor aprovechamiento de las aguas de los ríos y esteros de la región de O'Higgins. En la actualidad, la conforman diez juntas de vigilancia organizadas y constituidas de acuerdo al Código de Aguas (www.federacionjuntas.cl). Como parte de las entrevistas realizadas se tuvo una entrevista con Graciela Correa, presidenta de la federación, la cual se describirá más adelante.

En la Tabla 5-6 se presentan las juntas de vigilancia contactadas dentro de la cuenca del río Rapel, indicando el contacto, si se realizó la reunión y su respuesta ante la solicitud de una reunión en el contexto de este estudio.

Tabla 5-6. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Rapel

Nombre de Organización	Contacto	Reunión	Observaciones
JV río Cachapoal 1ª sección	Andrés Correa O. (Pdte.) Robert Hilliard J. (Gerente)	Sí	
JV río Cachapoal 2ª sección	Aníbal Vial (Pdte.) Sergio Jerez S. (Admin.)	Sí	
JV río Cachapoal 3ª sección	Juan José Lyon A. (Pdte.) Loreto Cabrera C. (Gerente)	Sí	
JV río Claro 1ª sección	Edgardo Cura O. (Pdte.) Patricio Salas (Gerente)	Sí	
JV río Claro 2ª sección		Sí	En proceso de constitución
JV estero Zamorano	Sergio Correa E. (Pdte.) Tomás Rodríguez B. (Admin)	No	No hubo respuesta de la junta
JV río Tinguiririca 1ª sección	Jorge Villagrán R. (Pdte.) Miguel Ángel Guzmán D. (Gerente)	No	No hubo respuesta de la junta
JV río Tinguiririca 2ª sección	-	No	Corresponde a las últimas 7 bombas. Esta información fue entregada por Robert Hilliard (1ª sección río Cachapoal)
JV estero Chimbarongo	Luis Crespo U. (Pdte.) Graciela Correa R. (Gerente)	Sí	Graciela Correa es la presidenta de la federación de juntas de vigilancia
JV estero Puquillay	Eugenio Cox	No	No se contactó esta junta
Estero Lima, Las Toscas y Lihueimo	Ignacio Valdés U. (Pdte.)	Sí	Se conversó telefónicamente y enviaron información vía correo electrónico Esta JV se encuentra en proceso de constitución
Estero Guacargüe	-	No	Sin Información
Estero Las Palmas	-	No	Sin información
Estero Guirivilo	-	No	En proceso de constitución

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta un resumen de las reuniones realizadas con las diferentes juntas de vigilancia.

Junta de vigilancia del río Cachapoal 2ª sección

El día miércoles 10 de diciembre a las 10:00 hrs en Doñihue, se realizó la reunión con el administrador de esta junta de vigilancia, Sr. Sergio Jerez S. quien nos indicó que:

- en la 2ª sección existen 24 organizaciones de usuarios, de las cuales 3 son asociaciones de canalistas y el resto comunidades de agua, con 25 canales,

- en general se considera que 1 acción equivale a 1 L/s y con una dotación de 35 m^3/s en el río Cachapoal son capaces de distribuir a todos los usuarios sin problema,
- producto de las modificaciones que se están discutiendo al código de aguas, los usuarios de aguas están recelosos con la entrega de información y realización de reuniones,
- dentro de la junta de vigilancia están al tanto de las modificaciones al código de aguas,
- dentro de los problemas que enfrentan está la mala infraestructura para distribuir el agua, indicando que se encuentra en desacuerdo con los programas gubernamentales que financian el riego tecnificado sin antes invertir en la red de distribución,
- la 2ª sección es la sección que más se ve afectada en periodo de escasez hídrica ya que en la normativa actual una sección de riego no tiene obligación de tributar a la sección siguiente por lo que hay situaciones en que la 1ª sección prácticamente agota los recursos disponibles en el río.

Al finalizar la reunión se entregó de manera física 3 estudios para ser utilizados como antecedente:

- "Diagnóstico organización de regantes 2ª sección del río Cachapoal, programa propuesto para el fortalecimiento organizacional" (2004) realizado por Procivil Ingeniería Ltda. para la DOH VI región.
- "Diagnóstico organización de regantes 2ª sección del río Cachapoal, diagramas unifilares accionarios por canal" (2004) realizado por Procivil Ingeniería Ltda. para la DOH VI región.
- "Recursos hídricos 2ª sección del río Cachapoal" (2006) realizado por Santiago Irarrázaval Z. Hydroproyectos, para la 2ª sección de riego del río Cachapoal.

<u>Federación de juntas de vigilancia de la VI región y junta de vigilancia del estero Chimbarongo</u>

El día miércoles 10 de diciembre a las 15:00 hrs en Doñihue, se realizó la reunión con la gerente de esta junta, Srta. Graciela Correa, quien a su vez es presidenta de la federación de juntas de vigilancia de la VI región, por lo que maneja una gran cantidad de información referente a los recursos hídricos superficiales de la región. Dentro de los temas relevantes tratados en la reunión se encuentra:

- la VI región posee 213.000 ha de riego, de las cuales 195.000 ha están representadas por la federación (90%),
- existen juntas de vigilancia que se encuentran en proceso de constitución en la región tales como la junta de vigilancia de la 2ª sección del río Claro, estero Las Toscas o Lima, estero Guirivilo y sus afluentes y estero Guacargüe. Para este último la CNR realizará un catastro de usuarios, canales y derechos para la constitución de dicha junta,
- la VI región posee sus derechos agotados (existen resoluciones que dan cuenta de esta situación), ya que se entregaron más derechos lo que ha llevado a generar un déficit de un 45% en plena temporada de riego por lo que no hay disponibilidad para nuevos derechos, lo que ha generado que se promueva una mejor gestión de las aguas y mayor inversión que permita un uso más eficiente del agua,

- específicamente para el estero Chimbarongo se encuentra el embalse convento viejo que está construido desde el año 2008 y no ha podido funcionar ya que los canales para conducir el agua no se encuentran terminados.

Al finalizar la reunión se entregó información y estudios que se detallan a continuación:

- Diagrama unifilar de la junta de vigilancia de la 1ª sección del río Cachapoal,
- Diagrama unifilar del estero Las Toscas y coordenadas de bocatomas,
- Precipitación mensual estación La Candelaria (1978-2009),
- Catastro actualizado de usuarios de la junta de vigilancia del estero Chimbarongo, ubicación y coordenadas de bocatomas,
- "Levantamiento de bocatomas" (2000), realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda. para la DGA
- "Diagnóstico para el desarrollo del riego en la segunda sección de río Claro de Rengo y estero Zamorano" (2011), realizado por Aquasys para la CNR
- "Diagnóstico actual del riego y drenaje en la VI región" (2003), realizado por Ayala, Cabrera y asociados Ltda. y AC Ingenieros Consultores Ltda. para la CNR.
- "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Rapel" (2004), realizado por Cade-Idepe Consultores en Ingeniería para la DGA.
- "Análisis de oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito" (1996) realizado por Figueiredo Ferraz Consultoría e Ingeniería de Proyecto Ltda. para la DGA.
- "Diagnóstico situación actual de las organizaciones de usuarios de aguas a nivel nacional" (1999) realizado por REG Ingenieros Consultores para la DGA.
- "Estudio de síntesis de catastros de usuarios de agua en infraestructuras de aprovechamiento" (1991) realizado por Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda. para la DGA.

<u>Junta de vigilancia del río Cachapoal 1ª sección</u>

El día martes 13 de enero a las 10:00 hrs en Rancagua, se realizó la reunión con el gerente de esta junta de vigilancia, Sr. Robert Hilliard Jorquera quien nos mostró en un mapa la ubicación general de las juntas de vigilancia en toda la cuenca del rapel nos indicó que:

- La 1ª sección de riego del Cachapoal riega 68.000 ha y la 1ª sección de riego del río Tinguiririca riega 54.000 ha (mayor al 50% de la superficie de riego de la región),
- desde la 1ª sección del Cachapoal hacia aguas abajo existen 7 juntas de vigilancia entrelazadas, por lo que los aportes de la 1ª sección hacia aguas abajo y sus derrames de riego son importantes ya que son utilizados por otras juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas, tales como canales de la 2ª sección del río Cachapoal, canal Chanconino, estero Alhué entre otros,
- se debe considerar dentro del análisis, que si bien la cuenca del estero Codegua y el río Peuco desaguan hacia el río Maipo, la zona de riego de la parte baja de éstos se alimenta en un 50% con aguas de la 1ª sección de riego del río Cachapoal,

- para el análisis de oferta y demanda se recomienda dividir el subsector donde se ubica la central Pangal y el río Coya, ya que es donde está ubicado El Teniente y sus aguas son administradas por ellos.

Respecto de la información entregada, se cuenta con el diagrama unifilar, canales y sus derechos y ubicación de bocatomas.

Junta de vigilancia del río Claro 1ª sección

El día miércoles 14 de enero a las 10:00 hrs en Rengo, se realizó la reunión con el presidente de esta junta de vigilancia, Sr. Edgardo Cura Osorio, quién indicó lo siguiente:

- la 1ª sección de riego se ubica desde la laguna Los Cristales hasta el puente Mendoza en Rengo, con 1.180 regantes, 10 tomas principales, 23 canales o derivados (de los cuales un 40% aprox. se encuentra revestido),
- se riega una superficie de 9.500 ha aprox. y administra 5.975 acciones,
- el embalse laguna Los Cristales regula el caudal desde enero a abril de cada año aprox., complementando el caudal disponible en el rio. En general en funcionamiento normal del embalse se entrega 1 L/s/acción y en periodos de escasez se disminuye a 0,5 L/s/acción (como referencia se dijo que en enero éste entrega alrededor de 4,5 m^3/s y en febrero 3,0 m^3/s).

Esta junta de vigilancia entregó información de diagrama unifilar y ubicación de bocatomas, adicionalmente se solicitó por correo electrónico la estadística de caudales de descarga del embalse laguna Los Cristales al río Claro y caudal medido en los canales que pertenecen a la junta de vigilancia, a lo que no se ha tenido respuesta.

Junta de vigilancia del río Claro 2ª sección

El día miércoles 14 de enero a las 12:00 hrs en Rengo, se realizó la reunión con el presidente de esta junta de vigilancia, Sr. Alberto Medina Zavala, quién indicó lo siguiente:

- esta junta se encuentra en proceso de constitución y acaban de presentar los estatutos modificados, abarcando 17 comunidades de agua con un total de 5.000 ha de riego,
- riegan con recuperaciones y afloramientos del río Claro, aguas abajo de la 1ª sección. Adicionalmente reciben aportes desde el estero Tipaume, el que en parte se alimenta por derrames de riego de la 1ª sección del río Cachapoal,
- la 2ª sección del río Claro entrega 2 m^3/s al estero Zamorano,
- los regantes de esta sección del río Claro, históricamente no han presentado problemas de disponibilidad de agua por lo que no se han visto en la necesidad de organizarse como junta de vigilancia, y es por esta razón que se encuentran en dicho proceso actualmente.

Se solicitó por correo electrónico información de diagrama unifilar, derechos, caudal en canales, bocatomas, estudios anteriores, sin embargo, a la fecha no se ha tenido respuesta.

Junta de vigilancia del río Cachapoal 3ª sección

El día miércoles 14 de enero a las 15:30 hrs en Pichidegua, se realizó la reunión con la gerente de esta junta de vigilancia, Sra. Loreto Cabrera Caris, quién indicó lo siguiente:

- esta junta de vigilancia abarca el sector entre la confluencia del río Cachapoal con el estero Purén o Idahue, hasta la confluencia con el río Tinguiririca en el lugar denominado "la junta",
- la sumatoria de derechos de la junta de vigilancia es de 39 m^3/s con una superficie de riego de 30.000 ha aprox., por lo que cuando el caudal en el río es inferior al valor anterior se comienza con un sistema de prorrateo de las aguas,
- en términos generales los canales de esta junta de vigilancia no presentan problemas de agua, a excepción del canal Los Molinos que presenta una dotación más baja que el resto,
- han optado a la ley de fomento de riego para instalar medición por telemetría y revestimiento de canales.

Respecto de la información solicitada se indicó que la información del CPA debiera estar acorde con la realidad de las asociaciones de canalistas que conforman la junta de vigilancia y se entregó información de acciones y ubicación de bocatomas y la relación estimada entre caudal y acción.

Un tema relevante discutido en la reunión dice relación con el crecimiento poblacional y su interacción con los canales de riego. Históricamente los canales de riego no se construyeron en las cercanías de poblados y presentaban vegetación por los bordes lo que los mantenía firmes evitando la erosión y en parte la infiltración. Lo que ha ocurrido con el tiempo es que dado el crecimiento de los poblados se ha removido la vegetación de los canales y ha comenzado un proceso de erosión lo que genera que se deba invertir en aumentar la mantención de los canales y muchas veces en revestirlos.

De acuerdo a los reuniones sostenidas, en algunos canales se hace uso de la dotación de 1 acción a 1 L/s, como es el caso del río Cachapoal 2da sección y río Claro 1ra sección, pero en general no se cuenta con información de la dotación.

5.3 DEMANDA HÍDRICA ORGANIZACIONES DE USUARIOS

La demanda hídrica de las organizaciones de usuarios corresponde a la cantidad de acciones que posee cada organización sobre un cauce, la cual es estimada para cada subcuenca o sección, en base a las jurisdicciones de cada organización.

La base de información para esta estimación son las reuniones realizadas con las diversas organizaciones, explicado en el capítulo anterior. En los casos de no contar con información levantada en terreno, se usan los datos contenidos en la base de la DGA de Organizaciones de Usuarios.

Para determinar el caudal, se usaron las equivalencias que tiene cada Junta de Vigilancia; en los casos de no contar con esa equivalencia se realiza una estimación en base a la superficie de riego.

En la *Cuenca del Río Limarí* de acuerdo a información de las Juntas de Vigilancia y Asociaciones de Canalistas se tiene un total de 74.086 acciones.

Para determinar la demanda de los usuarios en cada subcuenca, se distribuyeron las acciones según la jurisdicción de cada Junta de Vigilancia y Asociación de Canalistas, en base a la información de los respectivos diagramas unifilares (de acuerdo a Figura 5-7).

Como se observa, la jurisdicción de la Junta de Vigilancia del Río Limarí abarca 4 subcuencas, quedando fuera sólo la cuenca del Río Hurtado.

En la Tabla 5-7 se muestra el total de acciones por cada subcuenca, y su equivalencia en m^3/s. Para determinar el monto del caudal se utilizaron las equivalencias mostradas en la Tabla 3-1 (Dirección de Planeamiento, 2006). Para el caso de la Junta de Vigilancia del Río Hurtado, y Junta de Vigilancia del Río Mostazal, se consideró una equivalencia de 1 L/s.

Tabla 5-7. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca

Subcuenca	Acciones	Caudal (m^3/s)
Río Grande Alto (hasta arriba junta Río Rapel)	7.467	7,5
Río Grande Medio (arriba Junta Río Rapel y Río Huatulame o Muro Emb. Paloma)	4.217	1,1
Río Grande Bajo (entre Embalse Paloma y Río Hurtado)	3.630	3,6
Río Limarí	42.058	17,2
Río Hurtado	3.844	3,8
Río Huatulame (Muro Embalse Paloma)	12.870	8,2
Total	74.086	41

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la subcuenca Río Limarí es la que presenta mayor demanda, dada la cantidad de acciones en esta zona, mientras que la subcuenca del Río Grande Medio es la que presenta menor demanda.

En la *Cuenca del Río Aconcagua* hay un total de 58.673 acciones correspondientes las Juntas de Vigilancia. En la Figura 5-8 se muestran las juntas de vigilancia con su respectiva jurisdicción.

En la Tabla 5-8 se muestra el total de acciones por cada sección, y su equivalencia en m^3/s. Para determinar el monto del caudal se utilizó la información de diversas fuentes:

- Sección 1: 1 acción equivale a 1,8 L/s, de acuerdo a la información del estudio de actualización de usuarios de la primera sección (Infraestructura y Ecología S.A, 2011).
- Sección 2: 1 acción equivale a 1 L/s, estimación en base a las hectáreas de riego de la sección.
- Sección 3: 1 acción equivale a 1,8 L/s.
- Sección 4: La información de caudal fue entregada por parte de la Junta de Vigilancia.
- Sección Putaendo: El valor de equivalencia está en la base de datos de las Organizaciones de Usuarios de la DGA.

La Junta de Vigilancia de la Segunda Sección se constituyó en el año 2013, por lo que no hay claridad en que todos los canales que pertenecen a esta junta estén inscritos. La mayor demanda se concentra entre la primera y segunda sección.

Tabla 5-8. Demanda hídrica de usuarios por sección

Sección	Acciones	Dotación	Caudal (m^3/s)
Primera	12.774	1,8	23,0
Segunda	27.480	1,0	27,5
Tercera	12.366	1,8	22,3
Cuarta	-	-	2,2
Putaendo	6.053	1,4	8,2
Total	58.673		83

Fuente: Elaboración Propia

En la *Cuenca del Río Rapel* se identificaron un total de 476.977 acciones asociadas a las seis subcuencas que se encuentran en la cuenca del río Rapel. De la totalidad de acciones, 196.570 se asociaron a juntas de vigilancia complementándose la información obtenida en terreno con información proporcionada por la DGA. Las 280.407 acciones restantes se encuentran en la subcuenca Río Rapel y no se asociaron a ninguna junta de vigilancia.

Cabe señalar que de la información de usuarios de agua original proporcionada por la DGA existe una cantidad de derechos que no fue posible asociar a ninguna junta de vigilancia ni subcuenca por información incompleta, sin embargo se considera que esta información puede estar replicada ya que gran parte de ésta se encuentran asociados a juntas de vigilancias.

En la Tabla 5-9 se muestra el total de acciones por cada subcuenca y su equivalencia en m^3/s. Para la estimación del caudal se consideró lo siguiente:

- Subcuenca río Cachapoal alto, la información de equivalencia entre una acción de río y el caudal entregada por la junta de vigilancia de la 1ª sección del río Cachapoal.
- Subcuenca Cachapoal bajo, se consideró información del estudio "Diagnóstico para el desarrollo del riego en la segunda sección del río Claro de Rengo y estero Zamorano". (AQUASYS, 2011), y en base a la superficie de riego, tomando un valor de 1,3 L/s/ha, valor obtenido empíricamente en base a información entregada por juntas de vigilancia.
- Subcuenca río Tinguiririca Alto, Tinguiririca Bajo y Estero Alhué, se consideró una dotación de 1,3 L/s/ha, en base a la información obtenida en reuniones con juntas de vigilancia.
- Subcuenca río Rapel, no se contó con información.

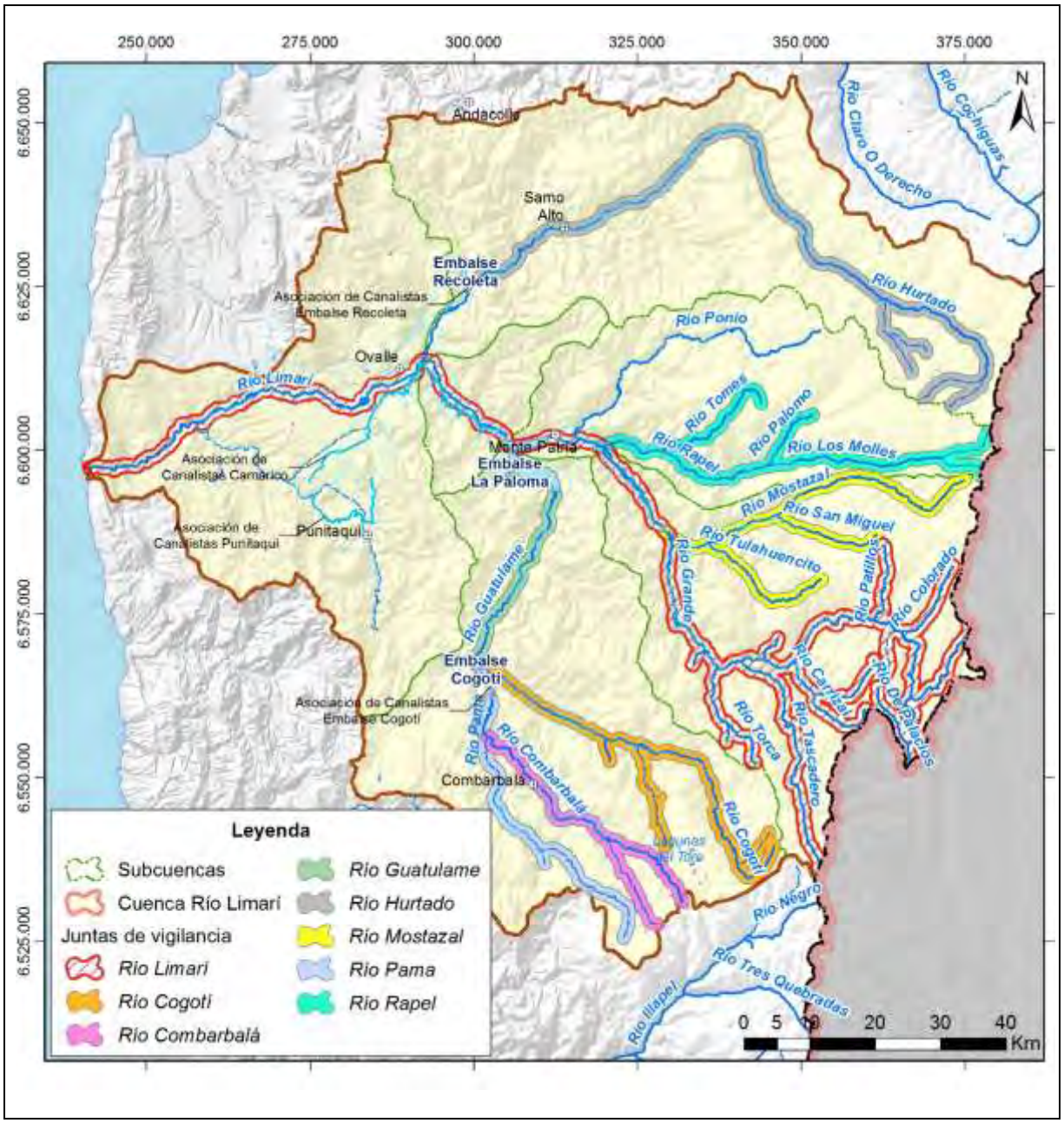
Tabla 5-9. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca en la cuenca del río Rapel

Subcuenca	Acciones	Área riego (ha)*	Caudal (m^3/s)
Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	10	681	0,9
Cachapoal Bajo	136.701	153.819	190,5
Río Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	26.375	54.000	70,2
Tinguiririca Bajo	33.478	40.870	53,1
Estero Alhué	6,5	5.000	6,5
Río Rapel	280.407	-	-
Total	476.977	254.370	321,2

Fuente: Elaboración Propia

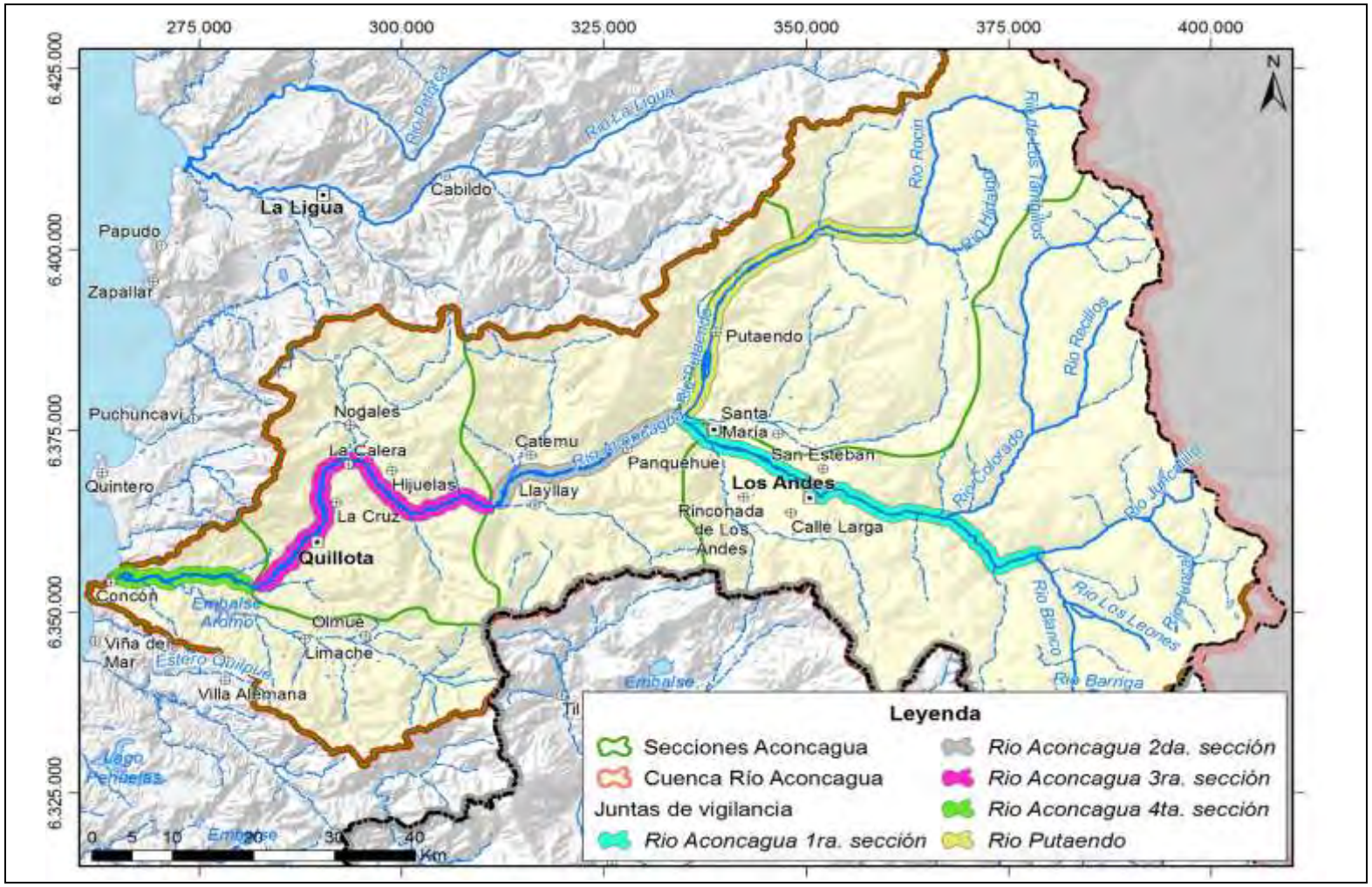
*Valor obtenido en reuniones con juntas de vigilancia

Figura 5-7: Juntas de Vigilancia Cuenca Río Limarí



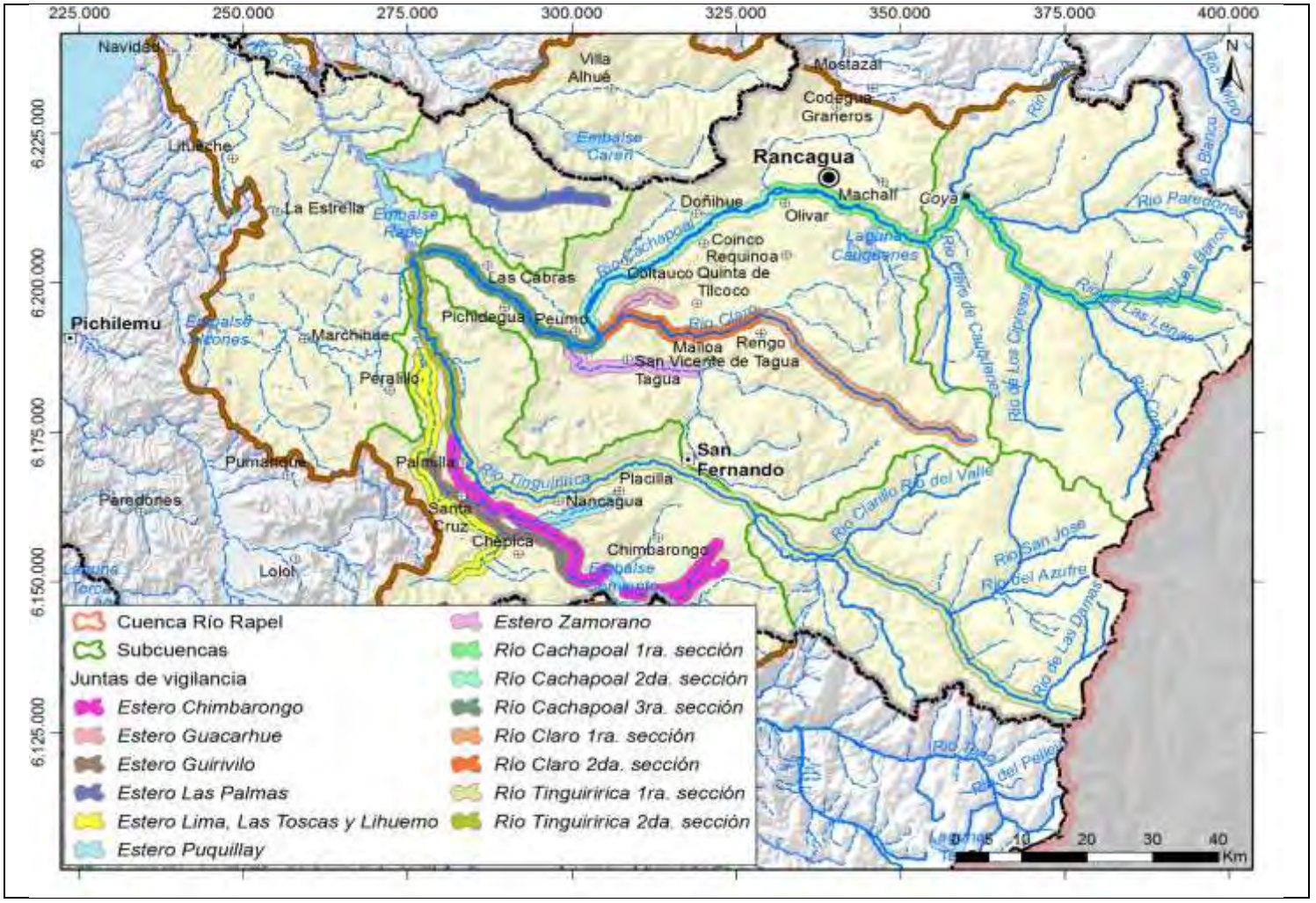
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-8: Juntas de Vigilancia, Cuenca Río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-9: Juntas de Vigilancia, Cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia

5.4 ESTIMACIÓN DEMANDA DE RIEGO

Para la estimación de la demanda hídrica de riego, se requiere como información principal los datos de hectáreas de riego y tipos de cultivo. Para ello se utilizaron los datos del Censo Agropecuario (INE, 2007). La información del censo es de hectáreas regadas de acuerdo a diversos tipos de cultivo, a nivel de distrito censal. Esta información es llevada a nivel de subcuenca o sección. Para el caso de la cuenca del Río Limarí se cuenta con datos actualizados correspondiente al estudio del Diagnóstico del Plan Maestro de la Región de Coquimbo (CONIC-BF, 2013).

Para estimar la demanda hídrica se requiere el valor de la evaporación real (ETR). Para las cuencas del Río Aconcagua y Rapel se estimó a través de del método de Blaney-Criddel:

$$ETR = (HS_j) * (0{,}46 * Temp_j + 8{,}13) \left(\frac{mm}{d}\right) \quad \text{Ecuación 5-1}$$

El valor de $Temp_j$ corresponde a la temperatura media mensual de la cuenca en estudio y (HS_j) al valor del Porcentaje mensual de horas luz de día durante el año.

Se determina el Coeficientes de uso consuntivo mensual (Kcp) para cada sector de riego (A_{RIEGO_i}) de la siguiente forma:

$$Kcp = \left(\sum_{i=1}^{5} Kc_i * A_{RIEGO_i}\right)/A_{RIEGO} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Los valores de Kc_i corresponden a coeficientes de cultivo que varían de acuerdo a la especie de cultivo y zona de estudio. Estos valores están tabulados.

Finalmente se estima la demanda hídrica de riego como:

$$DH_R = 10 * Kcp * ETR * A_{RIEGO} \left(\frac{m^3}{mes}\right) \quad \text{Ecuación 5-3}$$

Para determinar la demanda hídrica de riego de la *Cuenca del Río Limarí*, se utilizó la información y datos del estudio "Diagnóstico Plan Maestro para la gestión de recursos hídricos, Región de Coquimbo" (CONIC-BF, 2013). En este estudio se definieron 44 zonas de riego (ZR), cada una con información de 12 tipos de cultivos, que son los que tienen mayor presencia en la cuenca.

Estas zonas de riego se agruparon por cada subcuenca, de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 5-10. Con ello, se tiene el total de área de riego para cada subcuenca (Tabla 5-10).

Además, se tiene información de la Evapotranspiración Potencial mensual para cada zona de riego (ETR), la cual fue llevada a nivel de subcuenca (Tabla 5-11), y de los coeficientes de cultivo (Kc) para las especies presentes en la cuenca.

Tabla 5-10. Área de riego en subcuencas

Subcuenca	Área de riego (Ha)
Río Grande Alto	3.051
Río Grande Medio	2.935
Río Grande Bajo	2.628
Río Limarí	29.399
Río Hurtado	3.650
Río Huatulame	10.263
Total	51.926

Fuente: Elaboración Propia-CONIC-BF 2013

Tabla 5-11. Evapotranspiración Potencial por subcuenca (mm)

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Río Grande Alto	171	159	157	122	112	62	79	96	105	150	143	180
Río Grande Medio	172	155	147	110	94	54	65	82	95	139	143	177
Río Grande Bajo	170	143	121	82	55	35	34	51	73	113	139	167
Río Limarí	154	129	110	74	50	32	31	46	66	102	126	152
Río Hurtado	176	154	138	99	77	46	51	68	86	130	145	177
Río Huatulame	189	165	148	106	83	49	55	73	92	139	155	190

Fuente: Modificado de (CONIC-BF, 2013)

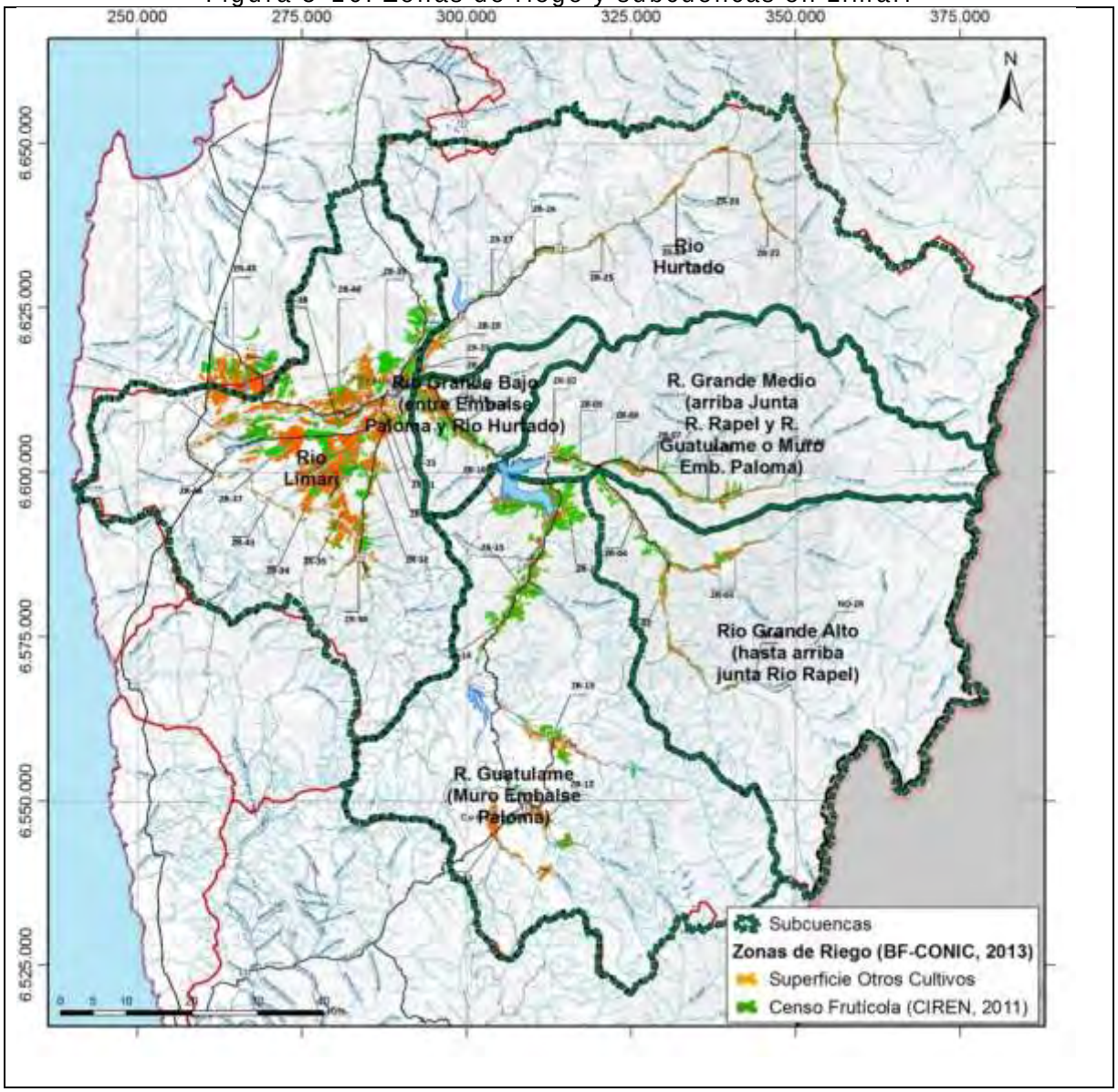
El Coeficiente de Cultivo (Kcp) se determinó de acuerdo a la fórmula de la Ecuación 5-2. Finalmente, se calcula la demanda hídrica en cada subcuenca de acuerdo a la Ecuación 5-3. En la Tabla 5-12 se presentan las demandas hídricas mensuales estimadas para cada subcuenca, y en la Figura 5-11 se muestran los gráficos con demanda mensual.

Tabla 5-12. Demanda Hídrica en subcuenca (m^3/s)

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Río Grande Alto	1,8	2,9	0,5	0,9	0,8	0,1	1,0	1,2	0,2	1,7	1,8	2,2	1,3
Río Grande Medio	1,6	2,8	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	1,2	1,6	1,6	2,0	1,0
Río Grande Bajo	1,4	2,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	1,1	1,3	1,6	0,8
Río Limarí	13,9	20,7	3,1	1,0	0,2	0,3	0,3	5,0	9,0	12,8	14,9	17,8	8,2
Río Hurtado	2,0	3,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	1,6	2,2	2,3	2,8	1,3
Río Huatulame	6,3	10,3	1,1	0,2	0,0	0,1	0,2	2,7	4,2	5,9	6,4	7,8	3,8
Total Cuenca	27,0	41,8	5,9	2,3	1,0	0,5	1,5	11,1	17,0	25,3	28,4	34,2	16,3

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-10: Zonas de riego y subcuencas en Limarí



Fuente: Modificado de (CONIC-BF, 2013)

Figura 5-11: Demanda hídrica mensual de riego cuenca Río Limarí

Fuente: Elaboración Propia

En la *Cuenca del Río Aconcagua* se utilizó la información del Censo Agropecuario 2007. De acuerdo a este censo, en la cuenca hay 109 distritos censales. La información de cada distrito se agrupó para cada sector del río Aconcagua y río Putaendo.

En la Tabla 5-13 se muestra el total de hectáreas de riego por cada sección.

Tabla 5-13. Área de riego en secciones de la cuenca

Sección	Riego (ha)
Primera	12.615
Segunda	15.233
Tercera	16.231
Cuarta	8.396
Putaendo	9.808

Fuente: Elaboración Propia en base INE, 2007

Los cultivos que más destacan en la cuenca son los frutales mayores, que representan el 61% del total del área cultivada, destacando el palto y la uva de mesa, mientras que las hortalizas representan el 13% del total cultivado.

Para estimar el valor de la evaporación real (Ecuación 5-1) se utilizó la información de temperatura media mensual de la Dirección Meteorológica de Chile. En cuanto al porcentaje de horas luz se utilizó información tabulada de acuerdo a la latitud de la zona.

Los valores de los Coeficientes de cultivo (kc) se obtuvieron de diversos estudios realizados en la zona del río Aconcagua y que contenían información para distintos tipos de cultivos.

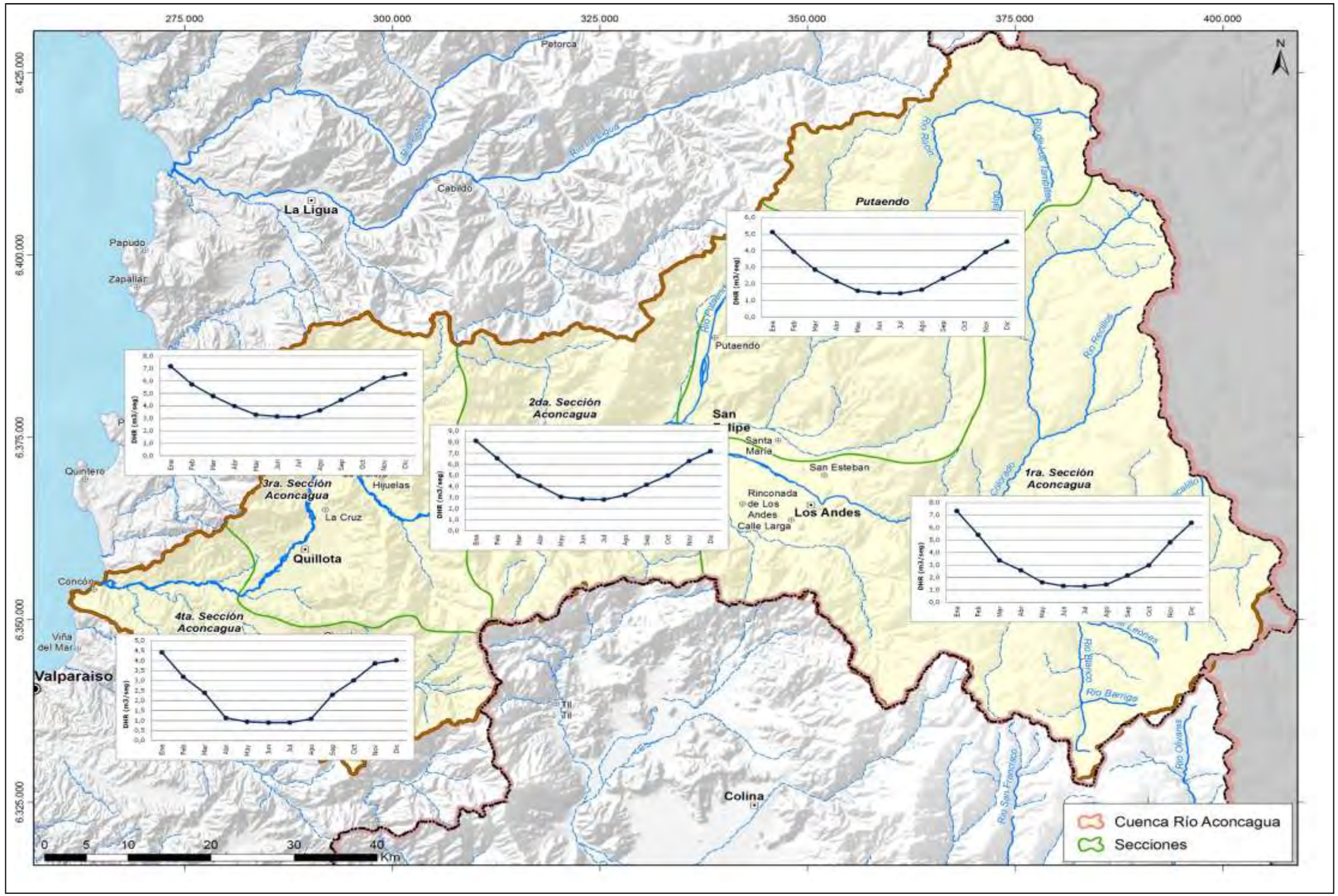
Finalmente, en base a la formulación de la Ecuación 5-3 se determina la demanda hídrica (Tabla 5-14).

Tabla 5-14. Demanda hídrica de riego en Aconcagua

Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Primera	7,3	5,4	3,4	2,6	1,6	1,3	1,3	1,4	2,2	3,0	4,8	6,4	3,4
Segunda	8,1	6,5	4,9	4,1	3,1	2,9	2,8	3,2	4,2	5,0	6,3	7,2	4,9
Tercera	7,2	5,7	4,8	4,0	3,3	3,2	3,1	3,6	4,5	5,4	6,3	6,5	4,8
Cuarta	4,4	3,2	2,4	1,1	0,9	0,9	0,9	1,1	2,3	3,0	3,9	4,0	2,3
Putaendo	5,1	3,9	2,9	2,2	1,6	1,4	1,4	1,6	2,3	2,9	3,9	4,5	2,8
Total	32,2	24,8	18,3	13,9	10,5	9,7	9,6	11,0	15,4	19,3	25,1	28,7	18,2

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-12: Demanda hídrica mensual de riego, Cuenca Río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia

En la *Cuenca del Río Rapel*, al igual que en la cuenca del río Aconcagua, se utilizó la información del Censo Agropecuario 2007. De acuerdo a este censo, en la cuenca hay 211 distritos censales. La información de cada distrito se agrupó por subcuenca.

En la Tabla 5-15 se muestra el total de hectáreas de riego para cada subcuenca.

Tabla 5-15. Área de riego en secciones de la cuenca

Subcuenca	Riego (ha)
Cachapoal Bajo	104.795
Cachapoal Alto	1.075
Río Rapel	74.770
Estero Alhué	13.555
Tinguiririca Alto	3.943
Tinguiririca Bajo	84.781
Total	282.920

Fuente: Elaboración Propia en base INE, 2007

En esta cuenca los frutales mayores representan el 27% del total cultivado y los cereales el 19%. Destaca también el rubro forestal, con un 26%.

Los valores de temperatura media mensual y de porcentaje de horas luz fueron obtenidos de la misma forma que en la cuenca del río Aconcagua, para así estimar la evaporación real.

Los valores de los Coeficientes de cultivo (kc) son los mismos determinados para Aconcagua.

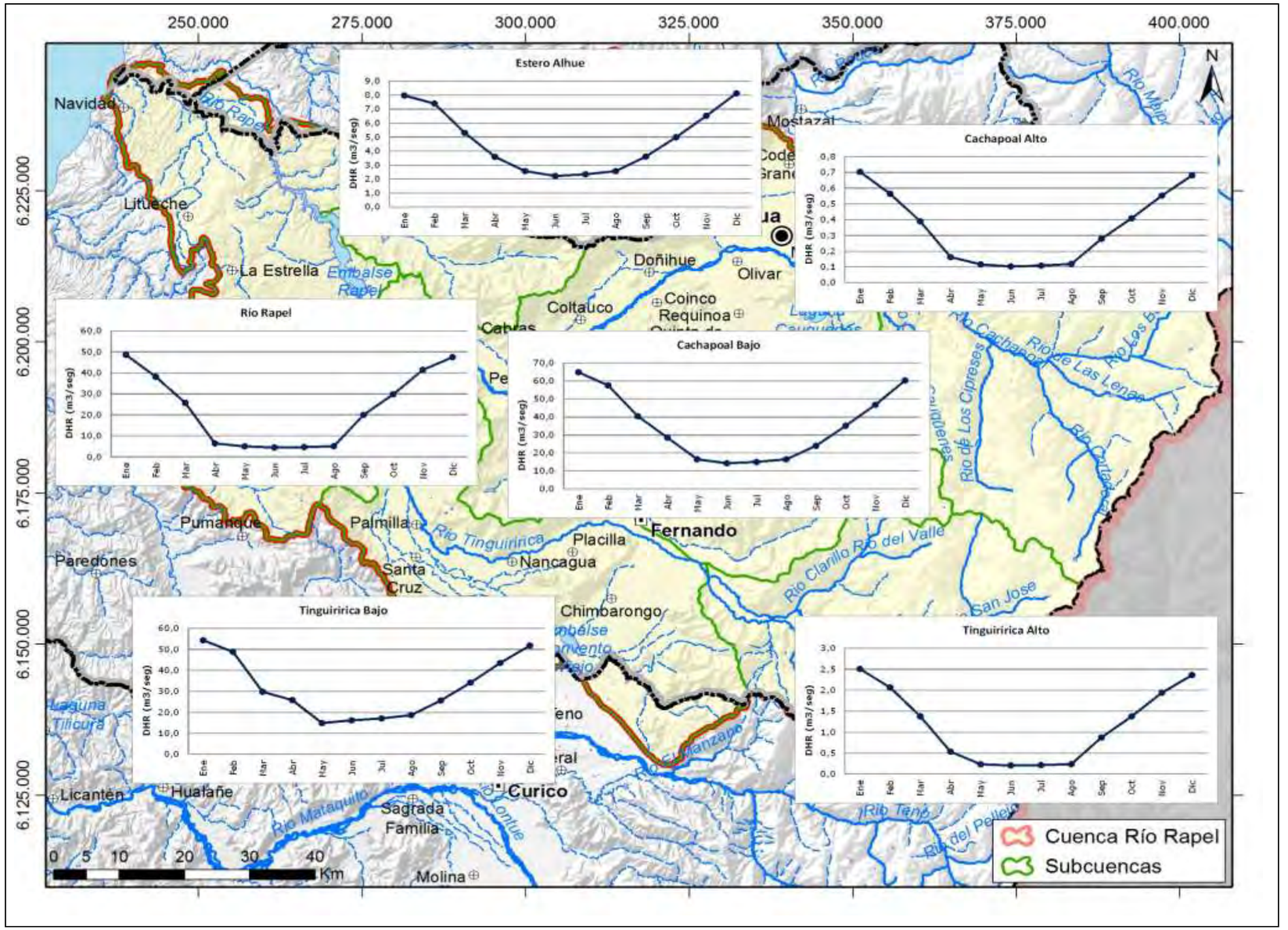
En la Tabla 5-16 se muestran las demandas hídricas estimadas para la cuenca del río Rapel y en la Figura 5-13 los gráficos con la demanda mensual para cada subcuenca.

Tabla 5-16. Demanda hídrica de riego en Rapel

Subcuenca	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Cachapoal Bajo	64,8	57,6	40,4	28,5	16,5	14,3	15,0	16,5	24,0	35,1	46,8	60,3	34,9
Cachapoal Alto	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,4
Río Rapel	48,6	38,2	25,7	6,4	5,0	4,4	4,6	5,1	19,9	29,7	41,4	47,4	23,0
Estero Alhué	8,0	7,4	5,3	3,6	2,6	2,2	2,3	2,6	3,6	5,0	6,5	8,1	4,8
Tinguiririca Alto	2,5	2,1	1,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9	1,4	1,9	2,4	1,2
Tinguiririca Bajo	54,3	48,8	29,8	25,9	14,9	16,2	17,1	18,7	25,7	34,2	43,5	51,8	31,8
TOTAL	178,9	154,6	103,0	65,0	39,3	37,4	39,4	43,2	74,4	105,8	140,7	170,8	96,1

Fuente: Elaboración Propia en base INE, 2007

Figura 5-13: Demanda hídrica mensual de riego, Cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia

5.5 ESTIMACIÓN DEMANDA OTROS USOS

En la *Cuenca del Río Limarí* el agua potable urbana está a cargo de la Empresa Aguas del Valle, la cual tiene tres captaciones superficiales operativas (CONIC-BF, 2013). En relación al agua potable rural, en la cuenca se abastecen principalmente de norias o pozos, exceptuando algunas localidades que se abastecen de una aducción con agua que es comprada a Aguas del Valle.

Con respecto a la minería e industria, no se identifican fuentes superficiales (CONIC-BF, 2013). Finalmente la demanda de agua para usos no agrícolas en cada subcuenca se presenta en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17. Demanda Hídrica Otros Usos en cuenca Limarí

Subcuenca	Demanda Agua Potable (m^3/s)
Río Grande Alto	0,001
Río Grande Medio	-
Río Grande Bajo	-
Río Limarí	0,414
Río Hurtado	0,002
Río Huatulame	0,023
Total	0,440

Fuente: (CONIC-BF, 2013)

En la *Cuenca del Río Aconcagua* el agua potable urbana en la cuenca del río Aconcagua está a cargo de la empresa ESVAL. De acuerdo a los Planes de Desarrollo de la empresa (ESVAL, 2010) hay una fuente de abastecimiento superficial (Sistema Con Con) y seis fuentes mixtas (superficial y subterránea). Para determinar la demanda hídrica se utilizó la estimación de demanda al año 2015 contenida en los planes de desarrollo de ESVAL.

Con respecto al Agua Potable Rural (APR), en la zona hay 81 APR. Considerando la información de los derechos otorgados registrados en CPA, sólo un APR tiene fuente de agua superficial, en la zona de Putaendo. Se utilizó la información de este derecho para estimar demanda hídrica.

En el sector minería destaca la presencia de CODELCO División Andina en el río Blanco (Primera sección). Se identificaron otras compañías mineras, tales como Compañía Minera Pimentón y Anglo American. En el caso de la primera, se identificó que no están haciendo uso de sus derechos (Res. N° 3488 DGA, 2014).

Para determinar la demanda hídrica del sector minero, se consideraron los derechos superficiales consuntivos que posee cada minera (exceptuando los que están afectos de pago de patente).

Para la demanda hídrica por concepto de uso industrial, se revisó la información del estudio "Estimación de demanda de agua y proyecciones futuras" (Ayala, Cabrera y Asociados, 2007). En este informe las demandas se estimaron para cada subcuenca, al año 2015. Cabe señalar en este punto que no se tiene claridad sobre el tipo de fuente de agua para satisfacer esta demanda, ya sea subterránea o superficial.

En la Tabla 5-18 se muestran las demandas hídricas para distintos usos, por cada sección.

Tabla 5-18. Demanda hídrica Otros Usos en cuenca Aconcagua

Sección	Demanda Agua Potable (m^3/s)	Demanda Minería (m^3/s)	Industria (m^3/s)
Primera	0,18	0,75	1,00
Segunda		0,25	2,86
Tercera	0,15		
Cuarta	0,20		
Putaendo	0,00		
Total	0,53	1,00	3,86

Fuente: Elaboración Propia

En la *Cuenca del Río Rapel* la estimación de la demanda hídrica por concepto de agua potable se obtuvo del estudio "Estimación de demanda de agua y proyecciones futuras" (Ayala, Cabrera y Asociados, 2007). De acuerdo a este mismo estudio, en la cuenca las fuentes de abastecimiento del agua potable rural son subterráneas.

Así mismo, el valor de la demanda hídrica por concepto de uso industrial se obtuvo del estudio ya mencionado. Al igual que en la cuenca del río Aconcagua, no se tiene claridad sobre la fuente de abastecimiento de la industria.

En cuanto a minería, destaca la presencia de la Minera CODELCO División Teniente. Para la determinación de la demanda se usó la información de los derechos consuntivos de las mineras presentes en la zona.

En la siguiente tabla se muestran las demandas hídricas para cada subcuenca.

Tabla 5-19. Demanda hídrica Otros Usos en cuenca Rapel

Subcuenca	Demanda Agua Potable (m^3/s)	Demanda Minería (m^3/s)	Demanda Industrial (m^3/s)
Cachapoal Bajo	0,78	1,04	1,17
Cachapoal Alto	0,01	7,50	
Río Rapel	0,00	0,01	
Estero Alhué	0,00	0,10	
Tinguiririca Alto	0,00	0,05	
Tinguiririca Bajo	0,00	0,00	
Total	0,79	8,70	1,17

Fuente: Elaboración Propia

5.6 CONCLUSIONES DEMANDA HÍDRICA

A continuación se presentan las conclusiones del capítulo de demanda hídrica.

En relación a la información de derechos contenidos en el CPA, se puede señalar que en las cuencas en estudio menos del 50% de los derechos tienen coordenadas que permitan georreferenciar la información. Como se observa en la Tabla 5-20, en la cuenca del río Limarí, solo el 15% cuenta con coordenadas. Esta situación puede estar explicada por la antigüedad de los derechos, a diferencia del río Rapel, dónde casi el 50% de los derechos sí cuentan con coordenadas, dado que en esta cuenca hay otorgamientos de derechos más recientes.

Por este motivo, los derechos se pudieron localizar sólo a nivel de subcuenca, haciendo uso de la información de referencia de ubicación de la bocatoma, fuente de abastecimiento y comuna. Con ello se logró llegar al 99% de derechos localizado en alguna subcuenca. Los derechos que no pudieron localizarse correspondían a derechos muy antiguos.

Con respecto al caudal otorgado es mucho más elevado en la cuenca del Río Rapel, dado que en esta cuenca existen varios derechos para uso de energía hidroeléctrica. El caudal mostrado en la Tabla 5-20 corresponde al total, en donde se considera que una acción equivale a 1 L/s.

Es importante señalar que al analizar la información del CPA se debe tener en consideración que muchos derechos son perfeccionamientos de los derechos, o que en muchas ocasiones el caudal mostrado no corresponde al caudal real otorgado.

Tabla 5-20. Situación Información CPA

Cuenca	N° Derechos	Caudal (Acciones + L/s)	N° Derechos con coordenadas	Caudal con coordenadas (Acciones + L/s)	Derechos con coordenadas (%)	Derechos localizados en Subcuenca
Río Limarí	1.514	75.265	234	13.896	15	1.511 (99%)
Río Aconcagua	1.017	421.339	196	247.654	20	1.013 (99%)
Río Rapel	1.210	1.776.060	565	894.496	47	1.192 (99%)

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al levantamiento de información en terreno, se puede concluir que fue relevante reunirse con las organizaciones dado que ellas manejan la información de sus acciones, usuarios, distribución del caudal (turnos), equivalencia de acciones, y especialmente cómo se encuentran respecto a los temas de escasez hídrica.

En la cuenca del río Limarí es donde se pudo concretar mayor cantidad de reuniones, llegando a un 64% del total, lo que es bastante importante dada la sequía presente en la zona.

En la cuenca del Río Aconcagua sólo se pudo contactar a 2 organizaciones, una de ellas aún no constituida, mientras que en la cuenca del Río Rapel se pudo concretar reuniones con las Juntas del río Cachapoal, río Claro y algunos esteros, sin lograr realizar reunión con alguna junta del río Tinguiririca.

Tabla 5-21. Resumen Levantamiento Información en terreno

Cuenca	Número de Juntas de Vigilancia/ Asociaciones de Canalistas	Reuniones Concretadas	% del total
Río Limarí	11	7	64%
Río Aconcagua	5	2	40%
Río Rapel	14	7	50%

Fuente: Elaboración Propia

Destaca en estas reuniones lo mencionado por don José González, presidente de la Junta de Vigilancia del río Limarí, y del Sistema La Paloma, respecto a que la Comisión Nacional de Riego (CNR) tiene dentro de sus instrumentos de financiamiento y fomento, incentivos para aumentar la superficie de riego, con su consecuente aumento de demanda del recurso hídrico, generando problemas de abastecimiento, en especial en los periodos de sequía. En opinión de don José González, estos incentivos son perversos, dado que se contraponen con la situación hídrica actual de la zona.

Este comentario se enmarca en una de las líneas de análisis del presente estudio, la que busca establecer preliminarmente aspectos contrapuestos en las políticas públicas, como son aumentar la superficie de riego indefinidamente y restringir la disponibilidad hídrica por medio de la aplicación de caudal ecológico a todos los derechos de aprovechamiento.

En base a la información que se levantó en terreno, se esperaba estimar la demanda hídrica por concepto de organizaciones de usuarios. Esta estimación presentó dificultades en las zonas donde no se concretó reunión.

Por otra parte, muchas comunidades de agua o asociaciones de canalistas pertenecen a una Junta de Vigilancia, y aparecen duplicados en la base de datos del registro de la DGA. Además no se pudo concretar reuniones con todas las organizaciones, por lo que no se tenía claridad del total de acciones ni las equivalencias entre el valor de la acción y caudal.

Finalmente, en cuanto a la demanda hídrica por uso de agua, se concluye que el uso Riego representa más del 90% de necesidad de agua en las cuencas del Río Limarí y Río Rapel, mientras que en el río Aconcagua representa el 77%.

En la Tabla 5-22 se muestran las demandas hídricas por distintos usos para cada cuenca, y los datos de caudal otorgado de tipo consuntivo y caudal por concepto de organizaciones de usuarios. Se consideró que una acción equivale a 1 L/s.

Se observa que en las cuencas la demanda hídrica es menor al caudal otorgado. Esta situación hay que analizarla desde el punto de vista del contexto actual del país, en donde los usuarios del agua no hacen uso del total de sus derechos en periodos de sequía.

Tabla 5-22. Demanda Hídrica y Derechos otorgados

Cuenca	Demanda Hídrica (m^3/s)				Caudal consuntivo Otorgado (m^3/s)	Caudal Usuarios (m^3/s)
	Riego	Agua Potable	Minería	Industria		
Río Limarí	16,3	0,4	-	-	44,2	41,0
Río Aconcagua	18,2	0,5	1,0	3,9	85,9	83,0
Río Rapel	96,0	0,8	8,7	1,2	159,8	321,2

Fuente: Elaboración Propia

6 CAUDAL ECOLÓGICO

Un caudal puede considerarse ecológico si es capaz de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura de un ecosistema fluvial, igual que en condiciones naturales (Martínez 2002). Existen muchos caudales que pueden ser "ecológicos" para un cauce, pues éste de forma natural presenta fluctuaciones y extremos de caudal (máximos y mínimos). Así como existen muchos caudales que pueden ser ecológicos, existen a su vez múltiples metodologías para su estimación.

El análisis de caudales ecológicos en este estudio se realiza en el contexto de la asignación de derechos de aguas, atribución que el Código de Aguas le entrega a la Dirección General de Aguas (DGA). De esta forma, actualmente cuando la DGA entrega la titularidad de un derecho, dicha institución impone como condición que debe existir un caudal de aguas mínimo bajo el cual no es posible hacer ejercicio del derecho.

La estimación de aguas mínimas se realiza por metodologías hidrológicas, la que según García de Jalón y González del Tánago (s/f), constituye uno de los dos tipos de técnicas para conocer el límite máximo de aguas que se pueden extraer del río, sin afectar significativamente a sus comunidades naturales:

- Métodos basados en datos históricos de estiajes que de forma natural han ocurrido; y
- Métodos basados en las pautas de variación del hábitat de la fauna y flora acuática según el régimen de caudales.

El primer criterio, más utilizado por la DGA, estudia en especial los estiajes naturales de los ríos, bajo la hipótesis que sus comunidades de flora y fauna han evolucionado sometidas a fluctuaciones de caudal, y por tanto, sus ciclos biológicos y sus requerimientos ecológicos están adaptados a dichas fluctuaciones. Por lo mismo, las comunidades de flora y fauna están adaptadas a tolerar caudales mínimos durante un estiaje relativamente largo, e incluso, pueden tolerar caudales muy pequeños durante uno o varios días.

El segundo criterio, más utilizada en la evaluación realizada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), se basa en metodologías que relacionan los requerimientos de hábitat de las comunidades de flora y fauna de un río, con las variaciones de éste según el régimen de caudales. La base de estas estimaciones es conocer los requerimientos de caudal de algunas especies o comunidades acuáticas y su distribución en el tiempo, siendo las metodologías más aceptadas las agrupadas en los siguientes métodos:

- Hidráulicos: Se considera que variables hidráulicas simples como el perímetro mojado o la profundidad máxima, juegan como factores limitantes en la biota. Estos métodos, generalmente, se basan en estudios de una sección transversal de un río, para así relacionar la magnitud de la descarga con la profundidad de los cauces, velocidad y perímetro mojado.
- Simulación de hábitat, las especies de peces están mejor adaptadas a ciertas características hidráulicas, estructurales y geomorfológicas. Al conocer cómo afecta el caudal a estas características, se puede predecir el caudal óptimo para mantener las poblaciones de estos peces.
- Holísticos, asumen que si son identificadas las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ecológico y son incorporadas dentro de un régimen de

flujo modificado, entonces la biota y la integridad funcional del ecosistema será mantenida. Los métodos holísticos, generalmente tienen dos aproximaciones distintas o combinan estas dos (Arthington et al. 1998).

La caracterización y discusión de distintas metodologías presentadas a continuación se concentra en las metodologías oficiales de tipo hidrológico que históricamente ha promulgado la DGA para la estimación de caudales ecológicos, además de la nueva modificación que está siendo actualmente discutida.

6.1 CONTEXTO LEGAL Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CAUDAL ECOLÓGICO

A continuación se presenta una descripción de la evolución del marco normativo del caudal ecológico, junto a una presentación de la discusión que actualmente se desarrolla en torno a la aplicación del caudal ecológico en su normativa actual, así como posibles modificaciones futuras.

6.1.1 Marco Normativo y Estudios DGA

El marco legal de la definición de caudales ecológicos se establece en la constitución Política de la República de Chile (Art. 19, Nº8), el que indica el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Siendo el deber del estado velar porque este derecho no sea afectado y tutelar la prevención de la naturaleza. En este contexto se establece que la ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

La aplicación de caudales ecológicos comenzó en la década del 80, en donde se reservaba un caudal en base a proyectos o situaciones particulares con un criterio variable dependiendo de la zona a proteger, situación o controversia.

Un ejemplo de estas aplicaciones se dio en la cuenca del río Pangue, en el cual a través de la resolución Nº442 del 11 de octubre de 1983, se estableció que Endesa debería dejar pasar un caudal no inferior al gasto medio diario mínimo, para preservar las condiciones ecológicas.

Ya en la *década del 90*, la DGA realizó diferentes estudios relacionados con el establecimiento de metodología y factibilidad de los caudales ecológicos desde un punto de vista holístico, buscando establecer criterios normativos aplicados a la realidad nacional y no a la experiencia internacional. Entre los estudios realizados se destacan:

- "Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana" (1993).
- "Caudales Ecológicos, Caracterización Hidroambiental, etapa I" (1996).
- "Análisis de Criterios Hidroambientales en el Manejo de Recursos Hídricos. Pautas para la determinación de Caudales Ecológicos (1996).
- "Análisis de Criterios Hidroambientales en el Manejo de Recursos Hídricos. Diseño de plan de Monitoreo para la Determinación de Caudales Ecológicos" (1998).
- "Análisis de Criterios Hidroambientales en el Manejo de Recursos Hídricos. Monitoreo de una Cuenca Piloto para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables" (1998-2000).

En general, durante esta década se aplicaron caudales ecológicos asociados a diferentes tramos en un río, considerando un caudal permanente y continuo por todo el año, utilizando principalmente el 10% del Caudal medio Anual (QMA).

En *1999* la DGA aprobó el *Manual de Normas y Procedimientos* para la Administración de Recursos Hídricos, en donde se definió por primera vez el concepto de caudal ecológico mínimo, como el caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica.

En este manual se mencionan los siguientes criterios para la estimación de caudal ecológico, en relación a la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas:

- Caudal igual al 10% del Caudal Medio Anual (QMA)
- Caudal igual al 50% del Caudal Mínimo de Estiaje del año asociado a una probabilidad de excedencia del 95% (Q95%).
- Caudal que es excedido al menos 330 días al año.
- Caudal que es excedido al menos 347 días al año. En este aspecto se destaca que es fundamental la experiencia y conocimiento del profesional respecto a su Región.

En situaciones especiales, el caudal ecológico a respetar puede ser igual al caudal ecológico más la demanda ambiental hídrica.

Por último, se señala que la DGA realiza una estimación general del Caudal Ecológico de acuerdo a la experiencia internacional, por lo que frente a discrepancias al respecto con el peticionario, será responsabilidad de este efectuar estudios de detalle.

En la versión del 2002 del *Manual de Normas y Procedimientos* para la Administración de Recursos Hídricos, se establecieron los siguientes criterios para la determinación de un valor constante de caudal ecológico:

- Caudal igual al 10% QMA
- Caudal igual al 50% del Q95%.

Se indica que para el cálculo del caudal ecológico, en forma óptima, se debiera considerar una estadística hidrológica de 25 años.

A su vez el Manual también posibilita:

1. Adoptar valores distintos establecidos mediante estudios locales.

A) Adoptar el Caudal Ecológico de derechos de aprovechamiento constituidos con anterioridad.

B) Requisitos ambientales específicos establecidos en el marco de una evaluación ambiental, para aquellas solicitudes que requieren de este trámite.

Si bien, la aplicación de cada metodología fue discrecional, se mantuvo la tendencia de utilizar los criterios asociados al 10% del QMA y el 50% del Min Q95%.

La modificación al Código de Aguas en el año 2005, por la Ley 20.017 en el artículo 129, bis 1 se estableció un caudal ecológico superior a lo que existía antes de la Ley, limitado superiormente por el 20% y 40% del QMA, límite fijado arbitrariamente en la discusión parlamentaria.

Art 129, bis 1; *Al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del*

medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial.

El caudal ecológico mínimo no podrá ser superior al veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial.

En casos calificados, y previo informe favorable de la Comisión Regional del Medio Ambiente respectiva, el presidente de la República podrá, mediante decreto fundado, fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, sin atenerse a la limitación establecida en el inciso anterior, no pudiendo afectar derechos de aprovechamiento existentes.

Si la respectiva fuente natural recorre más de una región, el informe será evacuado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente. El caudal ecológico que se fije en virtud de lo dispuesto en el presente inciso, no podrá ser superior al cuarenta por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial.

Lo anterior establece que la DGA debe establecer un Caudal Ecológico Mínimo para nuevos derechos de aprovechamiento. A su vez establece el valor máximo que puede alcanzar el Caudal Ecológico Mínimo (DGA) lo que vendría siendo hasta un 20% del Caudal medio Anual y determina que pueden haber casos calificados por la comisión Regional de Medio Ambiente en los cuales el valor del caudal ecológico puede superar el límite anterior hasta 40% del Caudal medio Anual (Decreto Presidencial).

La modificación al artículo 129 bis 1, no establece el procedimiento o metodología para calcular el caudal ecológico, por lo tanto no modifica los criterios utilizados por la Dirección General de Aguas (Manual de Normas y Procedimiento del año 2002).

En el año *2008* la DGA establece un *nuevo Manual de Normas y Procedimientos* para la Administración de los Recursos Hídricos, en donde se ratifica el establecimiento del Caudal Ecológico para la constitución de todos los derechos (nuevos y en trámite) y traslado de derechos de aprovechamiento.

Este nuevo manual considera la variación estacional de los caudales a nivel mensual del régimen natural. También reconoce el uso habitual y extenso de las metodologías utilizadas a la fecha (Manual 2002 y anteriores), considerando tres escenarios:

a. Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del 10% QMA
b. Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor 50% del Q95%
c. Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido.

El manual de 2008 fija como Caudal Ecológico el caudal asociado al 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95% para cada mes, con las restricciones según cada escenario.

También los valores máximos de caudal ecológico mínimo = 20% del QMA y 40% del QMA.

Con relación a la estimación del caudal ecológico en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre vertientes, se deberá considerar el 10% del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual. El caudal ecológico deberá escurrir en forma libre por el cauce en forma permanente, lo que deberá quedar establecido en la Resolución.

Posteriormente se establece la *Resolución de la DGA N° 240* del 10 de diciembre de *2009*, en donde se establece, con respecto a caudal ecológico lo siguiente:

- Se reproduce las metodologías establecidas en el Manual de Normas 2008. (Q ecológico = 50% del Q95% de PE).
- Se mantiene concordancia con las metodologías anteriormente utilizadas (Manual 2002 y anteriores) y sobre particularidades hidrológicas de las fuentes (Afloramientos y vertientes).
- Se establece las restricciones del artículo 129 bis. (20% QMA y 40% QMA).
- La DGA estableció resoluciones específicas para cada cuenca hidrográfica o un conjunto de ellas. (cuenca del río Maipo, cuencas costeras entre río Maipo y río Rapel).

Al no tener reglamento con respecto al caudal ecológico, no tenían una única metodología para realizar su cálculo. Es por ello que a través del decreto N° 14 del 22 de Mayo de 2012, del Ministerio de Medio Ambiente, establece la modificación del artículo 129 bis 1 del Código de Aguas mediante Ley N°20.417 del 2012, la cual "CREA EL MINISTERIO, EL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL Y LA SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE".

Art. 129, bis 1.

Al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial.

El caudal ecológico mínimo no podrá ser superior al veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial. "Un reglamento, que deberá llevar la firma de los Ministros del Medio Ambiente y Obras Públicas, determinará los criterios ***en virtud de los cuales se establecerá el caudal ecológico mínimo."***

En casos calificados, y previo informe favorable del Ministerio del Medio Ambiente, el Presidente de la República podrá, mediante decreto fundado, fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, sin atenerse a la limitación establecida en el inciso anterior, no pudiendo afectar derechos de aprovechamiento existentes. El caudal ecológico que se fije en virtud de lo dispuesto en el presente inciso, no podrá ser superior al cuarenta por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial.

La modificación del artículo anterior conlleva la creación de un reglamento que deberá realizarse entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Obras Públicas.

A grandes rasgos el reglamento sobre caudal ecológico establece:

- Mantiene los valores máximos del 20% del QMA y 40% del QMA
- Mantiene la variabilidad estacional a nivel mensual, pero con un criterio diferente: 20% del Caudal Medio Mensual (QMM) v/s 50% del Q95%de PE mensual.
- Se deben considerar las estadísticas hidrológicas de los últimos 25 años.
- Establecimiento de los casos calificados para la determinación del caudal ecológico mínimo por parte del Presidente de la República.

- Coordinación entre el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y la DGA para elaborar estudios para contar con una mayor información para determinar el caudal ecológico.
- Procedimiento para solicitar la declaración de un caudal ecológico mínimo en la fuente superficial por parte de terceros.

El decreto N°14 de mayo de 2012, del Ministerio de Medio Ambiente al establecer la actualización permanente de todos los balances realizados por la DGA, situación innecesaria y costosa en algunos casos, al utilizar la información de los "Últimos 25 años" y al no incorporar el procedimiento para otros sistemas hidrológicos asociados como Vertientes, afloramientos, lagos y lagunas, conlleva a retrasar la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento. Por este motivo, se está tramitando la modificación detallada en el 6.1.

6.1.2 Decreto Supremo N° 71 (Modificación al Decreto Supremo N° 14)

El Decreto Supremo 71 de 2015 del Ministerio del Medio Ambiente introdujo modificaciones al Reglamento para la determinación del caudal ecológico mínimo.

En los considerando de dicho Decreto Supremo se incluyen las razones que han impulsado dicha modificación, estas son respaldadas porque se reconoce que la aplicación de los criterios establecidos en el artículo 3° (del Decreto Supremo N° 14/2012) para la determinación del caudal ecológico mínimo han demostrado no ser los más idóneos para cumplir con la finalidad de velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente.

Que adicionalmente, la exigencia de utilizar las estadísticas hidrológicas de los últimos 25 años para la determinación del caudal ecológico mínimo genera una serie de inconvenientes, entre ellos, distintas interpretaciones desde el punto de vista de la metodología hidrológica, y la necesidad de actualizar constantemente la información sobre oferta hídrica e información poco representativa del comportamiento del cauce.

Y que no se considera la determinación de caudal ecológico mínimo en los casos de vertientes, lagos ni lagunas, además que se estima necesario reconocer los servicios ecosistémicos que prestan las fuentes de agua superficiales.

Las modificaciones consideradas se listan a continuación y se presentan en el diagrama de la Figura 6-1:

- Se sustituye el artículo 3°, que indica la metodología para estimar el caudal ecológico mínimo, estableciendo:

  La Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas que se constituyan en cada fuente superficial.

  Para cada mes del año, el caudal ecológico mínimo en el punto de captación solicitado se determinará considerando los siguientes criterios:

  a) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del diez por ciento del caudal medio anual, se considerará el cincuenta por ciento del caudal de

probabilidad de excedencia de noventa y cinco por ciento, para cada mes, con las restricciones siguientes:

i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo para ese mes será el diez por ciento del caudal medio anual.

ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor a diez por ciento del caudal medio anual y menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia.

iii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento del caudal medio anual.

b) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:

i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento.

ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo, en esos meses, será el veinte por ciento del caudal medio anual.

c) Para aquellos cauces donde no existen derechos con caudal ecológico mínimo, se aplicará, para los nuevos derechos, el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.

d) Respecto a los cauces que presenten un comportamiento hídrico que no se ajuste a las fórmulas señaladas en los literales a) y b), tales como vertientes, el criterio para establecer el caudal ecológico es el veinte por ciento del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual.

e) Para los lagos y lagunas, con salida, el caudal ecológico será el que se determine en el desagüe, el cual se evaluará en base a los criterios definidos en las letras a) y b) según corresponda.

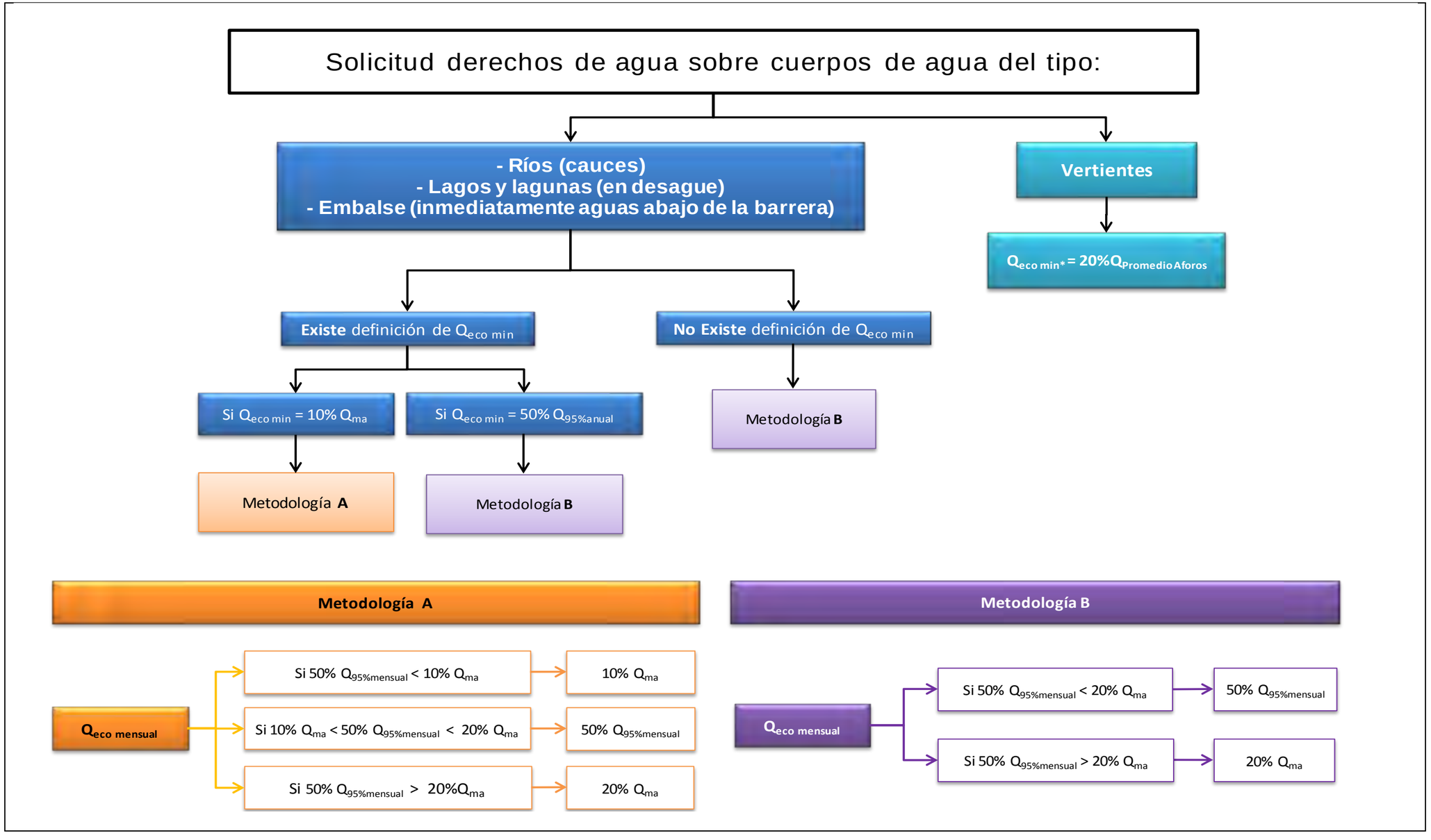
f) Para aquellos derechos de aprovechamiento de agua cuya captación se haga mediante un embalse, el cumplimiento del caudal ecológico mínimo calculado con los criterios definidos en las letras a) o b), según corresponda, se verificará inmediatamente aguas abajo de la barrera ubicada en el álveo.

El cálculo se realizará utilizando estadísticas hidrológicas de al menos 25 años, dependiendo de la estadística con la cual se cuente en el cauce, y en el evento de contar con una estadística de mayor extensión, se preferirá esta última. De no existir esta estadística para una fuente determinada, la Dirección General de Aguas utilizará el método hidrológico más adecuado al caso concreto, de aquellos conocidos y aceptados por la técnica, lo que deberá quedar claramente fundado en el informe técnico.

En el caso de que exista en el tramo analizado un derecho de aprovechamiento de aguas constituido con un caudal ecológico mayor al calculado en la letra a), se mantendrá el caudal ecológico mayor para el nuevo derecho, con la limitación que no podrá exceder del veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial.

- Se reemplaza en el artículo 7° letra c), la expresión "servicios ambientales" por "servicios ecosistémicos".

Figura 6-1: Diagrama Determinación Caudal Ecológico de acuerdo a Decreto Supremo N° 71



6.1.3 Caudal Ecológico en el SEIA

En el Manual de Normas y Procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la DGA de Junio de 2007 (SIT. N° 132) con relación al caudal ecológico se incluye una segunda aproximación a la del establecimiento del caudal ecológico en los derechos de aprovechamiento de aguas. Este documento indica que en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), y en particular en la presentación de Estudios de Impacto Ambiental (EIA), se ha propuesto el establecimiento de un caudal ecológico como una medida de mitigación, fundamentalmente en la construcción de obras de embalses. En este contexto se entenderá el caudal ecológico de manera más amplia y detallada que lo definido anteriormente, para lo cual se debe entender como caudal ecológico al:

"caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial, de tal manera que los efectos abióticos (disminución del perímetro mojado, profundidad, velocidad de corriente, incremento en la concentración de nutrientes y otros) producidos por la reducción de caudal, no alteren las condiciones ecológicas del cauce, que limiten o impidan el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna), como tampoco alteren la dinámica **y las funciones del ecosistema."**

Este análisis o cálculo del caudal ecológico, debe realizarse con base en organismos y/o comunidades biológicas (macroinvertebrados, algas, peces, etc.), en integración con variables hidráulicas, siendo necesario también incorporar la calidad del agua y el mantenimiento del régimen temporal hidrológico definido para cada río.

Durante el año 2008 la DGA solicito al Centro de Ecología Aplicada (CEA) la ejecución del estudio **"Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación"** (2008-2009), este entrega antecedentes de las características de los ríos Chilenos, zonificándolos a partir de características similares y describe una metodología para determinar el caudal mínimo ecológico mediante la aplicación de las siguientes etapas:

i) identificación de áreas de importancia ambiental (AIA), que implica la obtención y revisión de información de carácter secundaria;
ii) validación de las áreas de importancia ambiental (AIA), que implica obtención de información primaria específica y actualizada;
iii) determinación de umbrales ambientales por AIA;
iv) modelación de escenarios de caudal mínimo ecológico para mantención AIA's;
v) determinación de la regla de operación del caudal mínimo ecológico; y
vi) monitoreo de AIA, implica el diseño de un plan de seguimiento para verificar el comportamiento de las AIA frente a modificaciones en el caudal.

El documento define el concepto de Área de Importancia Ambiental (AIA) dentro de un río, como aquellos bienes y servicios ecosistémicos que presenta un río, pudiendo ser de origen ecológico (Área de Importancia Ecológica - AIE) y/o Áreas de Uso Antrópico (AUA).

El Caudal Mínimo Ecológico corresponderá a:

i) El Área con Importancia Ambiental que presenta el mayor requerimiento de caudal en un tramo de río específico, de manera tal de satisfacer la totalidad de AIE y AUA. Cuando dos requerimientos de caudal ecológico se contrapongan en un mismo tiempo y punto de control, por parte de distintos usuarios del río (ej.

biota v/s usos antrópicos), no necesariamente primará el caudal ecológico más alto, sino que quedará sujeto a una instancia de decisión conjunta por parte de las partes involucradas, en relación a las características, vocación de la cuenca o el tramo bajo análisis.

ii) El AIA que determina el caudal ecológico mínimo puede cambiar en el tiempo, pudiendo alternarse entre diferentes AIE y/o AUA. Esto responde a que los requerimientos de caudal por AIE dependen de la historia de vida de las especies y que las AUA varían estacionalmente.

iii) Los requerimientos de caudal de los AIA deberán evaluarse en periodos de años secos, normales y húmedos.

Este procedimiento para estimar el caudal mínimo ecológico implica incorporar la totalidad de los bienes y servicios ecosistémicos que presenta un río o tramo específico, los cuales son el resultado de procesos evolutivos en el caso de los AIE y del crecimiento de comunidades locales en sus riberas. Ambas alcanzan coherencia estructural y funcional con las características hidrológicas de los ríos.

En el año 2009, el Departamento Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la DGA presento dos minutas relacionadas con los caudales ecológicos en el SEIA. La primera corresponde a la Minuta DCPRH N°173 del 8 de septiembre que entrega lineamientos y criterios sobre pronunciamientos de la DGA en materia de caudal ecológico, en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En este sentido el documento indica que la DGA en lo que concierne al tema del caudal ecológico tiene dentro de sus competencias, dos áreas de atribuciones.

La primera atribución es la sectorial, que le permite establecer caudales ecológicos dentro del proceso de otorgamiento de derechos de agua. Y la segunda atribución, es la del área ambiental, indicando que el caudal ecológico dentro del SEIA, tiene un concepto más amplio que el del cálculo meramente hidrológico, y tiene por objetivo mantener la biodiversidad tanto en el agua como en su medio ambiente asociado.

La minuta indica tres lineamientos a seguir para el evaluador en el marco del SEIA:

1. El caudal ecológico debe ser un valor que considere una visión más holística abriéndose a metodologías que involucren, por ejemplo, variables del tipo biológico, pesquero, antrópico, paisaje, dilución, turismo, navegación, etc. de manera tal que permita cumplir con el objetivo de conservar la biodiversidad en el ecosistema río.
2. En aquellos casos en que ya exista un valor de caudal ecológico producto del otorgamiento previo de derechos de aprovechamiento, se deberá tener en cuenta al momento de comparar los diferentes valores de caudal, y quedarse con el mayor de ambos, puesto que dicho valor será capaz de sustentar de mejor manera todos los servicios ambientales asociados al río.
3. El punto de control o seguimiento del caudal ecológico deberá asegurar que en las AIA se refleje, se asegure y se realice un plan de monitoreo del paso del caudal ecológico.

El caudal ecológico dependerá de las condiciones ambientales propias del lugar y los servicios ecológicos que la cuenca brinde, los análisis para determinar un caudal ecológico dependerán entre otros aspectos de usos, régimen hidrológico, tipo de proyecto, usuarios, flora y fauna asociada al cauce, valor paisajístico, etc.

La segunda minuta del año 2009 corresponde a la Minuta DCPRH N°179 del 28 de octubre Complementa Minuta N°173 del DCPRH, del 8 de septiembre de 2009. Esta indica que será necesario presentar el caudal ecológico de los derechos de aprovechamiento de agua, el que se ajusta a las metodologías vigentes del *Manual de Normas y Procedimientos* para la Administración de los Recursos Hídricos de 2008.

Posteriormente, en el año 2009 en la Resolución Exenta DGA N°1796 del 18 de junio introduce modificaciones en dos puntos del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de 2008: "Estimación del caudal ecológico mínimo en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas" y "Procedimiento de tramitación (de solicitudes de construcción de grandes obras hidráulicas, expediente tipo VC, artículo 294)". Con respecto a "Estimación del caudal ecológico mínimo en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas" indica que las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas, asociadas a proyectos que han sido objeto de evaluación en el marco del SEIA y a propósito del cual se ha establecido un caudal mínimo ecológico con su respectiva Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable, se deberá respetar el máximo entre dicho caudal y el determinado por los criterios de estimación mensuales descritos en el Manual de Normas y Procedimientos del 2008, al momento de resolver dicha solicitud. Este procedimiento también será aplicado respecto a las solicitudes de derechos de aprovechamiento, en que los puntos de captación se encuentren ubicados en el tramo del cauce afecto a este pronunciamiento ambiental.

En el año 2011, la DGA presenta una nueva minuta relacionada con el caudal ecológico en el SEIA. La Minuta DCPRH N°267 establece criterios y la metodología para la determinación de caudal ecológico en el marco del SEIA. Este documento consolida que las dos instancias que la DGA tiene para evaluar caudales ecológicos.

El procedimiento presentado para el cálculo del caudal ecológico en el SEIA considera una simplificación de lo anteriormente descrito por el CEA en el año 2008. Las etapas generales son:

i) Identificación de Áreas de Importancia Ambiental (AIA), que implica la obtención y revisión de información de carácter secundaria o de gabinete.
ii) Validación de las Áreas de Importancia Ambiental (AIA), que implica la obtención de información primaria levantada en terreno, específica y actualizada.
iii) Determinación de umbrales ambientales por AIA.
iv) Determinación de la regla de operación del caudal mínimo ecológico.

Tal como se señalará en la Minuta DCPRH N°173 del año 2009, el caudal ecológico en el SEIA deberá considerar una visión holística, esto es contemplar metodologías que involucren variables como son las del tipo ecológicas y antrópicas. El caudal mínimo ecológico será la envolvente que captura cada uno de los umbrales definidos temporalmente por los AIA's, lo cual se traduce en una regla de operación necesaria para mantener el ecosistema acuático y usos antrópicos.

De acuerdo a lo señalado anteriormente la DGA tiene dos instancias para evaluar el caudal ecológico: una en el establecimiento del derecho de agua y la otra en el SEIA; la Minuta N°267 de 2011 indica que se deberá respetar el caudal ecológico mensual mayor; por lo que en el marco del SEIA la estimación del caudal ecológico deberá considerar entre sus antecedentes los caudales ecológicos de los derechos de agua a fin de compararlos con los resultados de otras metodologías de caudal ecológico.

6.1.4 Situación Actual de los Caudales Ecológicos

Para analizar la situación actual de los caudales ecológicos, se revisaron las políticas públicas actuales o normativas que pudieran estar contrapuestas al establecimiento de caudales ecológicos retroactivos.

Servicio de Evaluación Ambiental

De acuerdo a lo explicado en el apartado anterior (capítulo 6.1.3), el establecimiento del caudal ecológico en el SEIA no presenta la posibilidad de modificar el caudal ecológico de los derechos de agua de forma retroactiva. En el caso de los proyectos que ingresan al SEIA, el caudal ecológico de los derechos de agua debe ser corroborado a fin de no afectar el objetivo de mantener la biodiversidad tanto en el agua como en su medio ambiente asociado; además se deben considerar metodologías que incluyan variables ecológicas y antrópicas. De acuerdo con la modificación al Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de 2008 por la Resolución Exenta DGA N°1796; se contempla que para sectores en los que ya se hayan establecido caudales ecológicos en el SEIA estos serán restrictivos para los caudales ecológicos de nuevos derechos de agua; manteniéndose de esta forma los establecidos en el marco del SEIA.

Ministerio de Agricultura

El Ministerio de Agricultura es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país.

Dentro de los lineamientos del Ministerio está la protección del recurso agua, mediante el fomento de inversiones públicas y privadas en obras menores y medianas en riego, que permitan una mayor eficiencia en la acumulación de agua y así aumentar la disponibilidad frente a la escasez hídrica.

Los instrumentos del Ministerio están definidos para cada servicio, los que se mencionan a continuación:

Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP):

- Riego Asociativo: programa que cofinancia la construcción de obras de riego extrapredial, con el objeto de mejorar la captación, conducción y distribución de agua de riego entre los regantes con obras en común; como también la ejecución de obras de drenaje extrapredial a fin de habilitar suelos para la producción agropecuaria.
- Riego y Drenaje Intrapredial: cofinancia la ejecución de proyectos de riego o drenaje intrapredial, como también las inversiones cuyo destino sea la bebida animal, usos domésticos y el riego de huertas familiares para producción de autoconsumo y/o pequeñas transacciones del excedente de sus productos.
- Bono Legal de Aguas: El programa cofinancia consultorías dirigidas a constituir o regularizar derechos de aprovechamiento de aguas, mejorar la gestión de los recursos hídricos, y fortalecer las organizaciones de usuarios de aguas.
- Estudios de Riego y Drenaje: Es un instrumento que permite a beneficiarios de INDAP el acceso a incentivos destinados a cofinanciar la formulación de proyectos de riego y drenaje que postularán a los beneficios de la Ley Nº 18.450; como

también la realización de otros estudios necesarios para la ejecución de proyectos de riego o drenaje.

Comisión Nacional de Riego (CNR):

- Concursos de la Ley Nº 18.450 de Fomento a la inversión privada en obras de riego y drenaje: esta herramienta permite mejorar la productividad de los cultivos, realizar una óptima gestión del agua y aumentar la competitividad del sector agrícola.

De acuerdo a los instrumentos existentes en relación al agua para riego, se puede concluir que las políticas apuntan a mejorar la eficiencia del uso del recurso hídrico para la agricultura, con el fin de mantener la productividad de las actividades agropecuarias, y considerando los problemas de abastecimiento de agua producto de las sequías.

6.2 DEFINICIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO

Como parte del estudio se estimaron los caudales ecológicos en todas las estaciones fluviométricas con suficiente información disponible en las cuencas de los ríos Limarí, Aconcagua y Rapel.

Dicha estimación se cruzó con la información de derechos de aprovechamiento con caudal ecológico establecido, con el objetivo de obtener los caudales que deberían ser respetados en cada cuenca si se estableciese una normativa de caudales ecológicos retroactivos.

La estimación de caudales ecológicos se realizó utilizando las metodologías expuestas en la Modificación al Decreto Supremo N° 14, que en general mantiene las metodologías utilizadas históricamente para otorgar derechos, con pequeñas modificaciones.

Se aplicaron las metodologías A y B del Diagrama de Flujo presentado en la Figura 6-1, con el objetivo de comparar sus resultados y establecer el rango de variación que pueden tener los caudales ecológicos en un mismo tramo.

Para esta misma comparación se obtienen las diferencias de caudal medio y porcentual entre las metodologías aplicadas. Estos resultados se presentan entre la Tabla 6-1 y Tabla 6-3.

Además, en las Figura 6-2, Figura 6-3 y Figura 6-4 se presenta el cálculo de caudal ecológico mensual para cada estación considerando ambas metodológicas (A y B). En la Tabla 6-4 se resume la cantidad de estaciones por cuenca en que el caudal ecológico mensual estimado por la metodología A es igual al 10% del caudal medio para cada mes, entre el 10% y el 20% del caudal medio anual, e igual al 20% del caudal medio anual para cada mes.

Se observa para la cuenca del río Limarí que los valores de caudal ecológico para las estaciones utilizadas, no superan en gran cantidad el valor mínimo del 10% del caudal medio anual. Mejor es la situación para las cuencas de Aconcagua y Rapel, donde los valores superan el límite inferior y superior propuesto para caudal ecológico. Se destaca para la cuenca del río Aconcagua una estación la cual supera para todo el año el límite de 20% del caudal medio anual.

Tabla 6-1. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Limarí (L/s)

Estación	Metodología		Diferencia L/s	Diferencia porcentual
	A	B		
LI-01	328	317	12	2%
LI-05	291	148	143	33%
LI-07	183	152	31	9%
LI-10	436	378	58	7%
LI-11	133	55	78	41%
LI-12	742	507	235	19%
LI-13	164	123	41	14%
LI-15	118	19	98	72%
LI-19	14	3	11	64%
LI-20	111	111	0	0%
LI-24	165	26	139	73%
LI-26	946	306	640	51%
LI-27	241	102	138	40%
LI-29	231	21	210	84%
LI-30	67	2	66	95%
LI-33	31	0	31	99%
LI-37	181	3	178	97%
LI-46	40	5	35	77%
LI-47	995	87	907	84%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-2. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Aconcagua (L/s)

Estación	Metodología		Diferencia L/s	Diferencia porcentual
	A	B		
AC-05	1.025	1.025	0	0%
AC-06	892	570	322	22%
AC-09	1.726	1.098	627	22%
AC-10	1.780	1.065	715	25%
AC-13	699	81	617	79%
AC-16	4.944	4.891	53	1%
AC-18	1.940	710	1.230	46%
AC-19	91	59	32	22%
AC-20	419	322	97	13%
AC-22	892	773	119	7%
AC-26	182	182	0	0%
AC-28	685	685	0	0%
AC-29	135	126	9	3%
AC-31	620	620	0	0%
AC-32	215	201	14	3%
AC-34	2.770	1.694	1.076	24%
AC-35	82	79	3	2%
AC-37	53	53	0	0%
AC-48	270	153	118	28%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-3. Comparación entre metodologías de caudales ecológicos en Rapel (L/s)

Estación	Metodología		Diferencia L/s	Diferencia porcentual
	A	B		
RA-03	3.065	2.900	165	3%
RA-04	7.507	7.504	3	0%
RA-05	2.336	2.070	266	6%
RA-09	5.532	2.313	3.219	41%
RA-12	1.472	1.021	450	18%
RA-13	1.215	1.110	105	5%
RA-15	4.549	4.271	278	3%
RA-16	2.209	1.326	883	25%
RA-20	11.470	8.943	2.527	12%
RA-21	6.453	6.374	79	1%
RA-22	1.427	1.049	377	15%
RA-24	7.743	7.667	76	0%
RA-25	5.617	4.757	860	8%
RA-27	3.137	2.119	1.018	19%
RA-29	9.007	5.825	3.182	21%
RA-30	542	154	388	56%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-4. Número de estaciones según límite para caudal ecológico

Cuenca	10% Qma	Entre 10% y 20% Qma	20% Qma
Limarí	12	7	0
Aconcagua	2	16	1
Rapel	1	15	0

Fuente: Elaboración Propia

Al observar las diferencias porcentuales entre las metodologías aplicadas para estimar el caudal ecológico de las cuencas en estudio, se nota que estos valores son mayores en la cuenca ubicada más al norte, correspondiente a Limarí, y disminuyen a medida que se traslada al sur, donde los ríos poseen un mayor gasto hídrico.

Gracias a la mayor disponibilidad de recursos hídricos en las latitudes menores, se observa una mayor diferencia de caudal entre las metodologías, pero ésta es de menor importancia al observar el porcentaje que éstas representan.

Figura 6-2: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Limarí

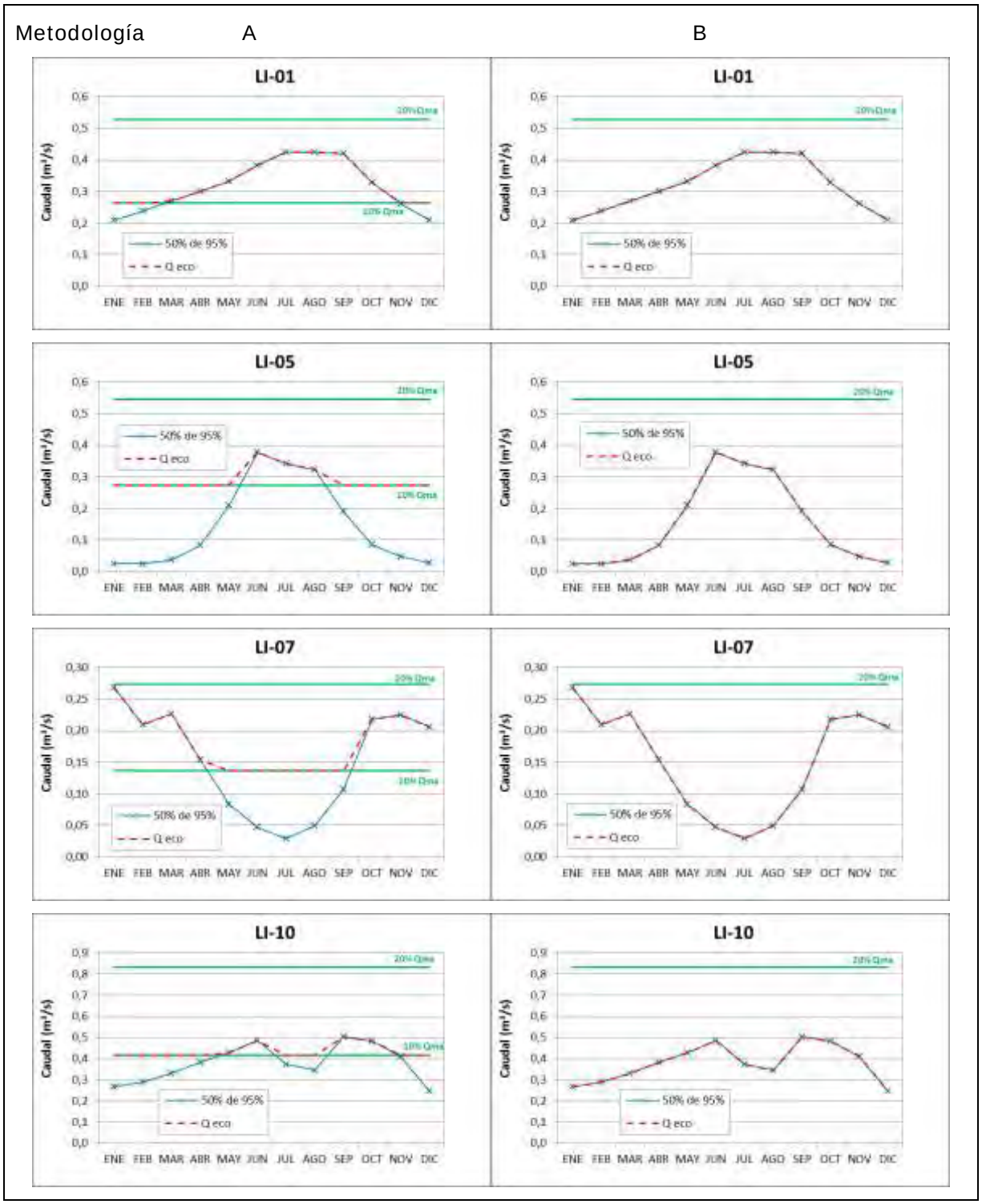


Figura 6-2: Continuación

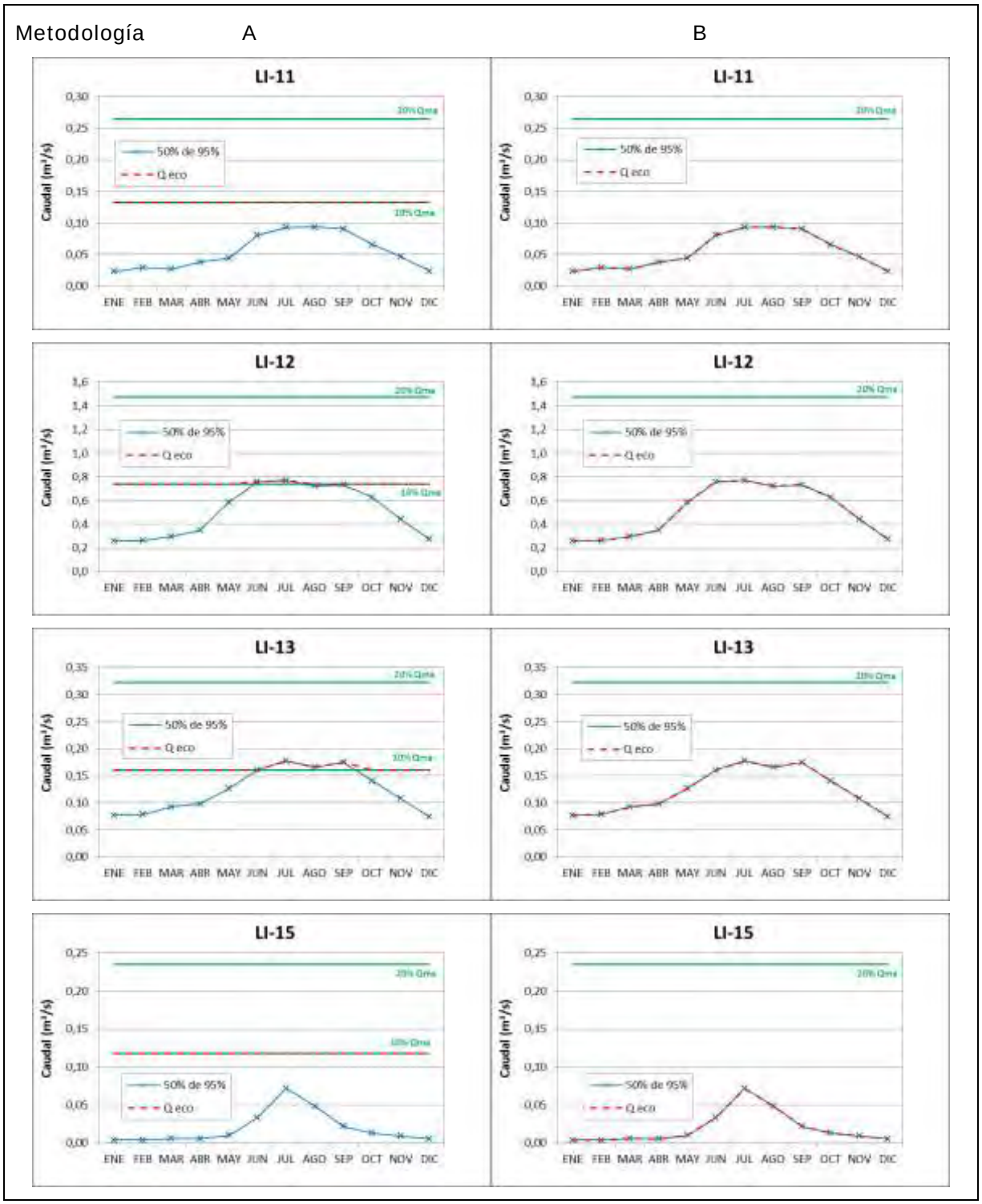


Figura 6-2: Continuación

Figura 6-2: Continuación

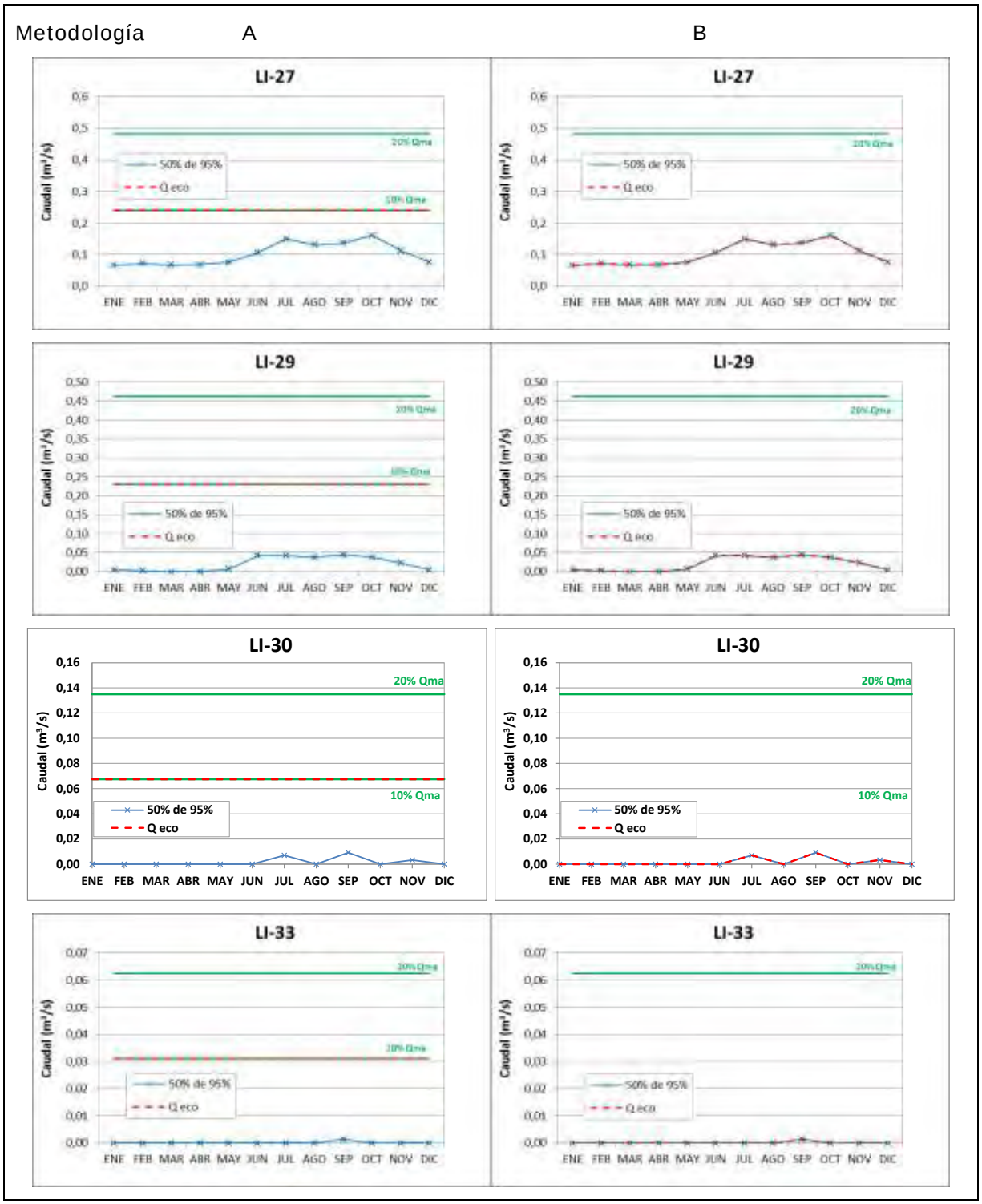
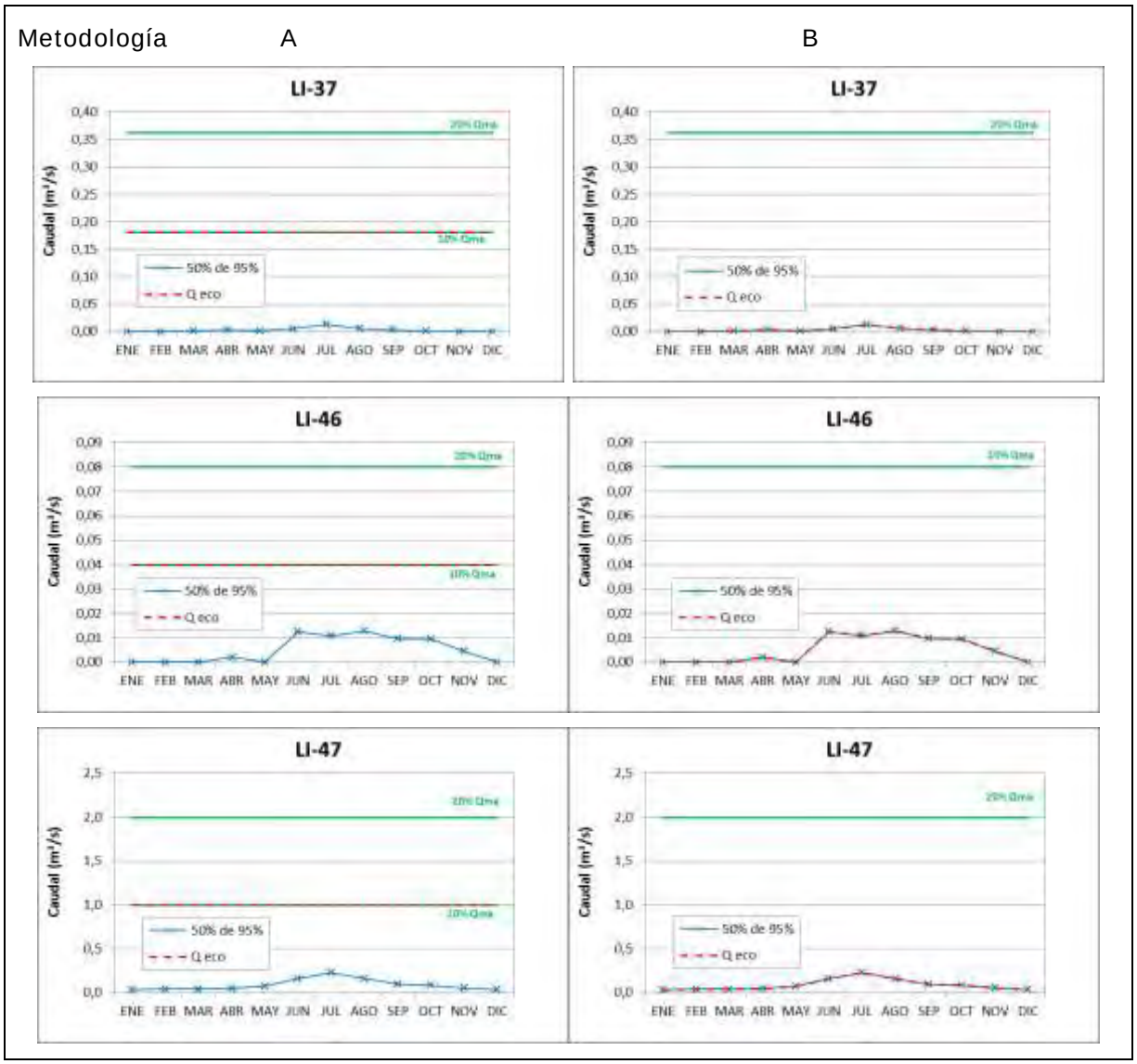


Figura 6-2: Continuación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-3: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Aconcagua

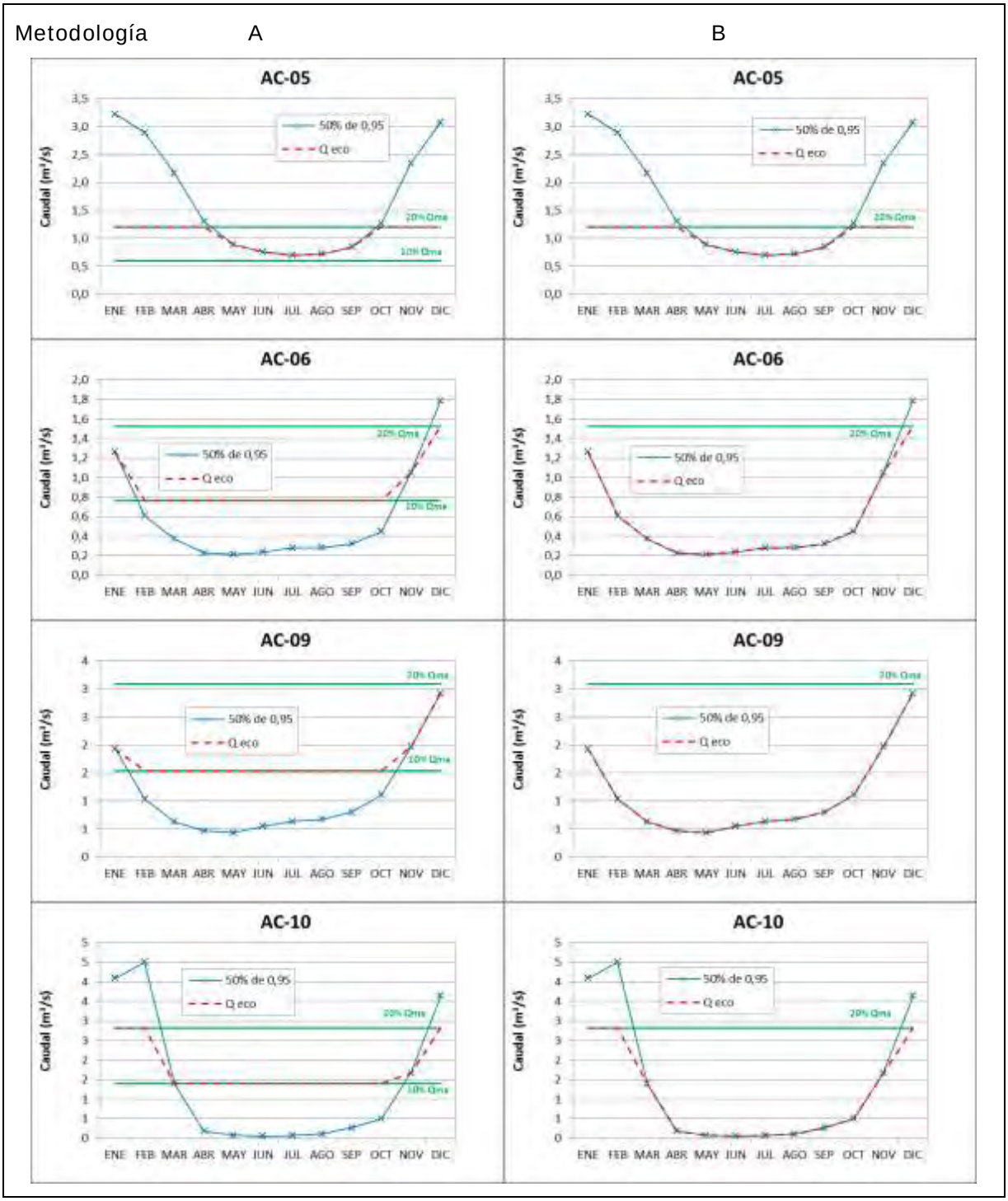


Figura 6-3: Continuación

Metodología A B

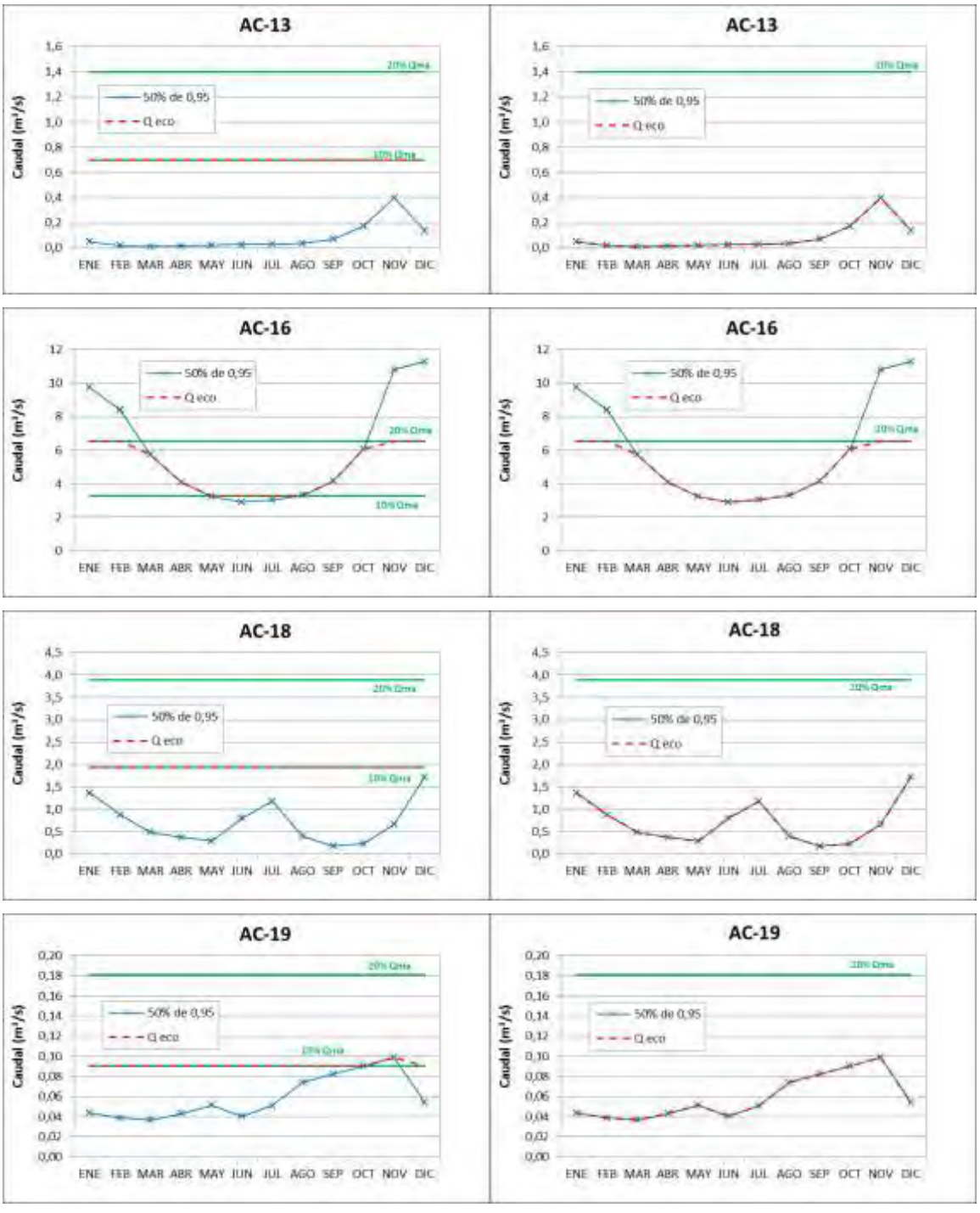


Figura 6-3: Continuación

Metodología A B

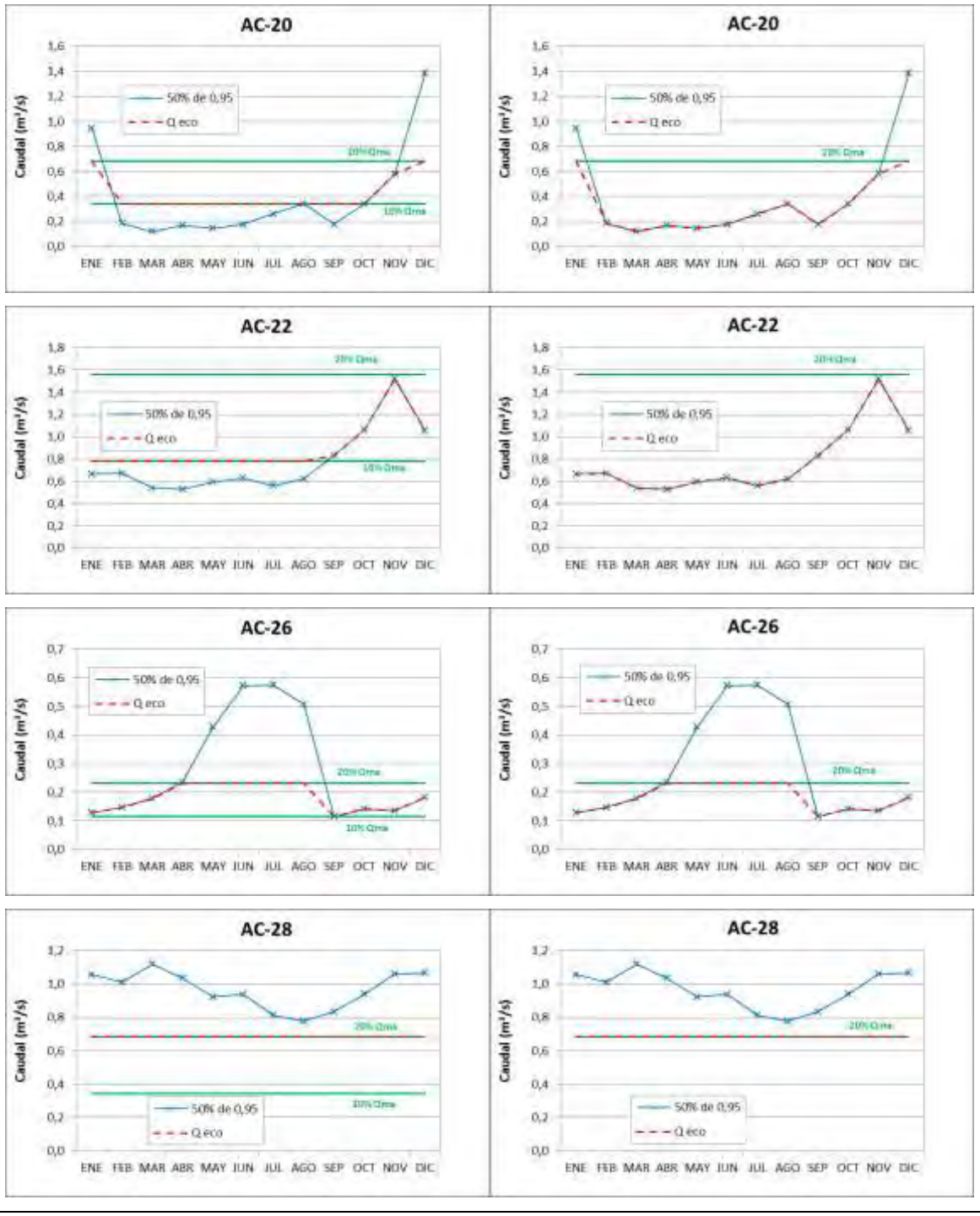


Figura 6-3: Continuación

Metodología A B

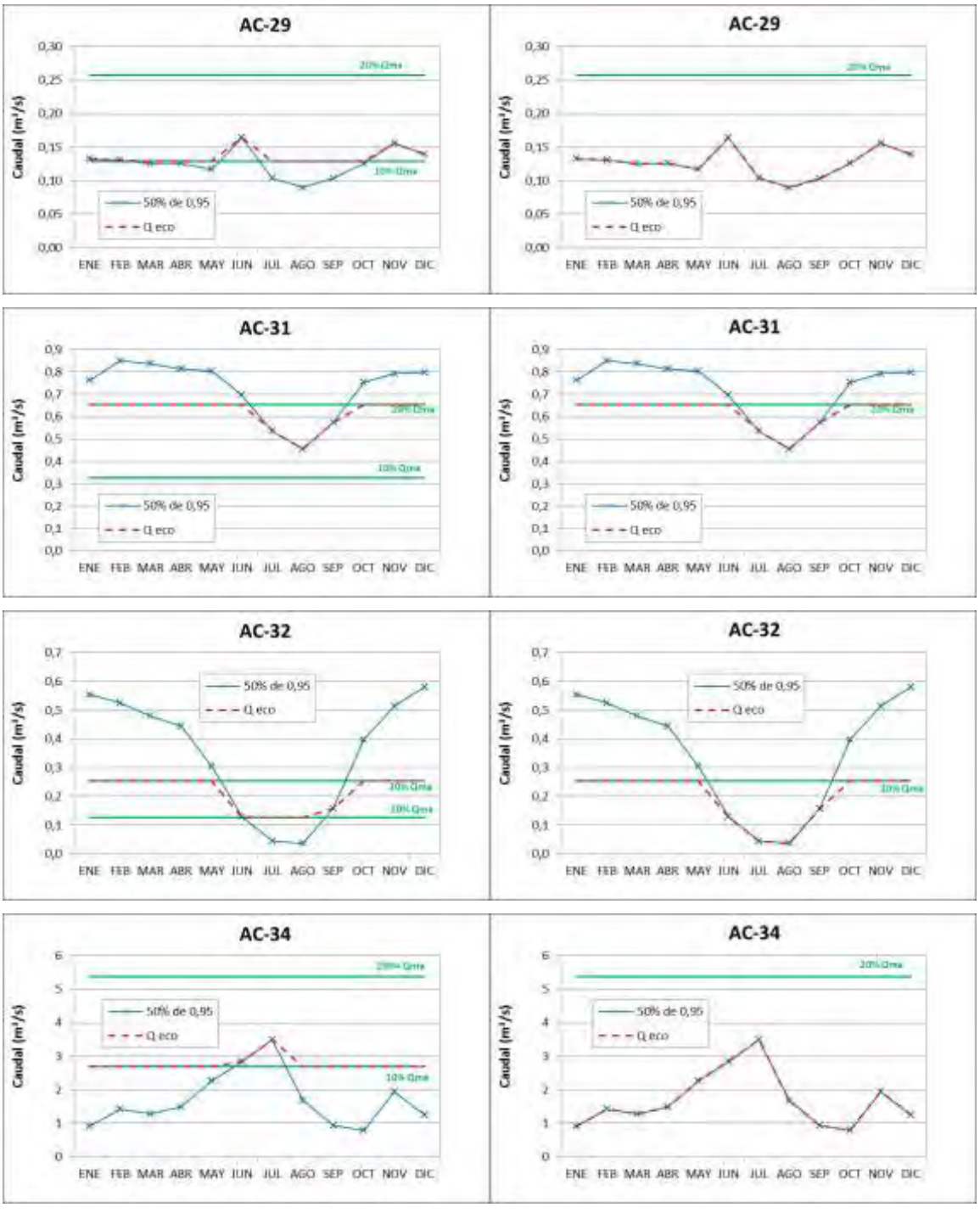
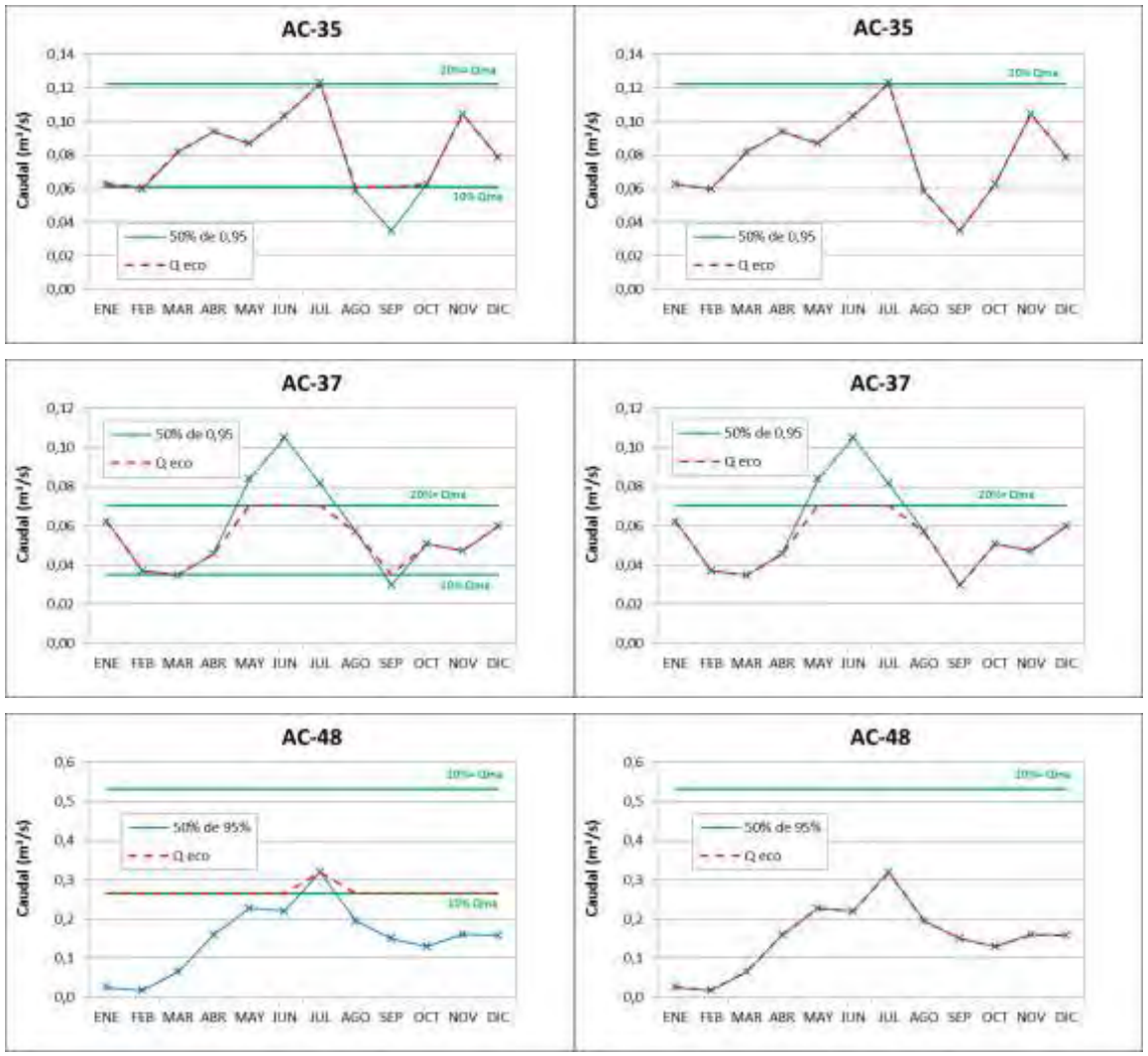


Figura 6-3: Continuación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-4: Caudales Ecológicos en Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Rapel

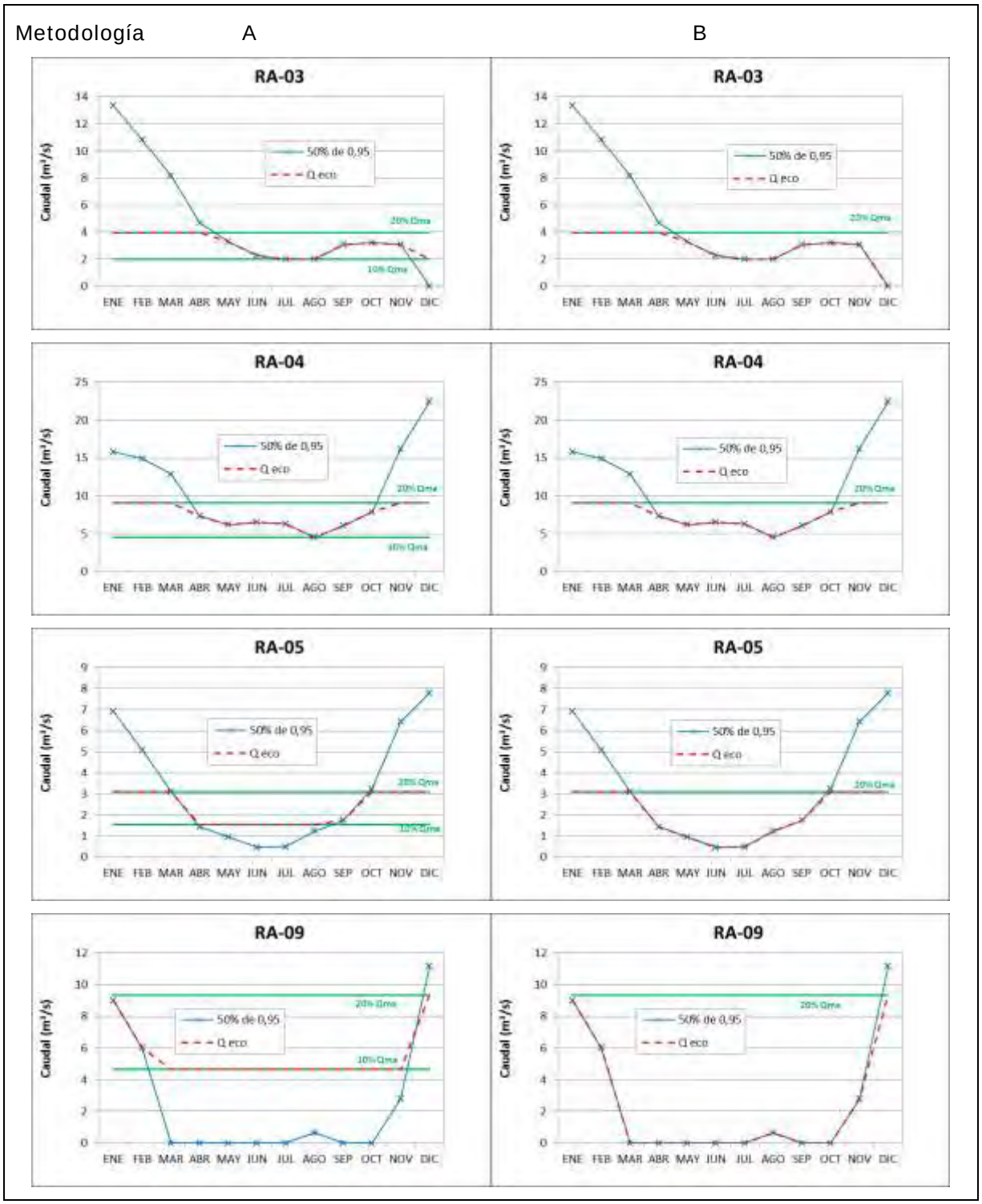


Figura 6-4: Continuación

Metodología A B

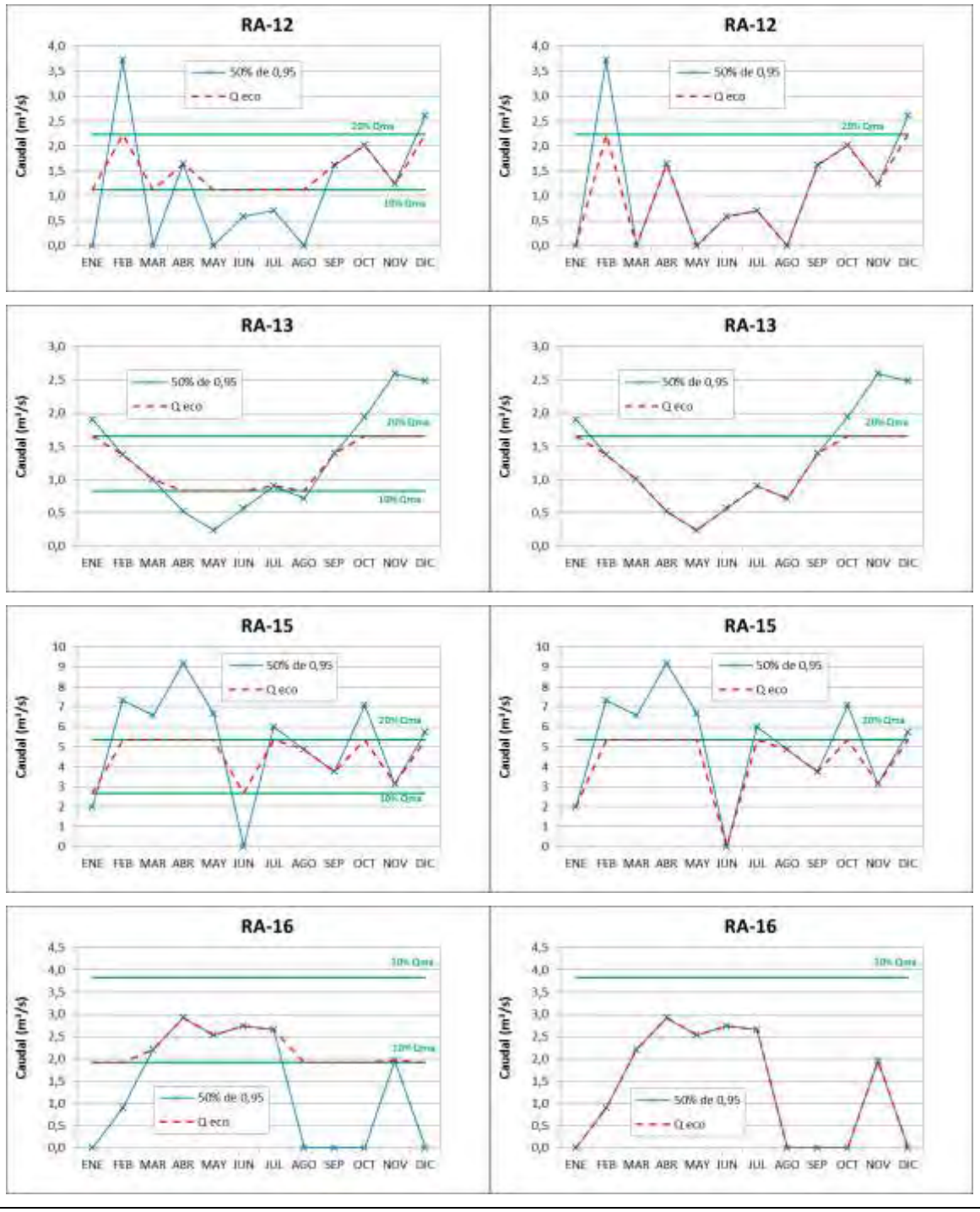
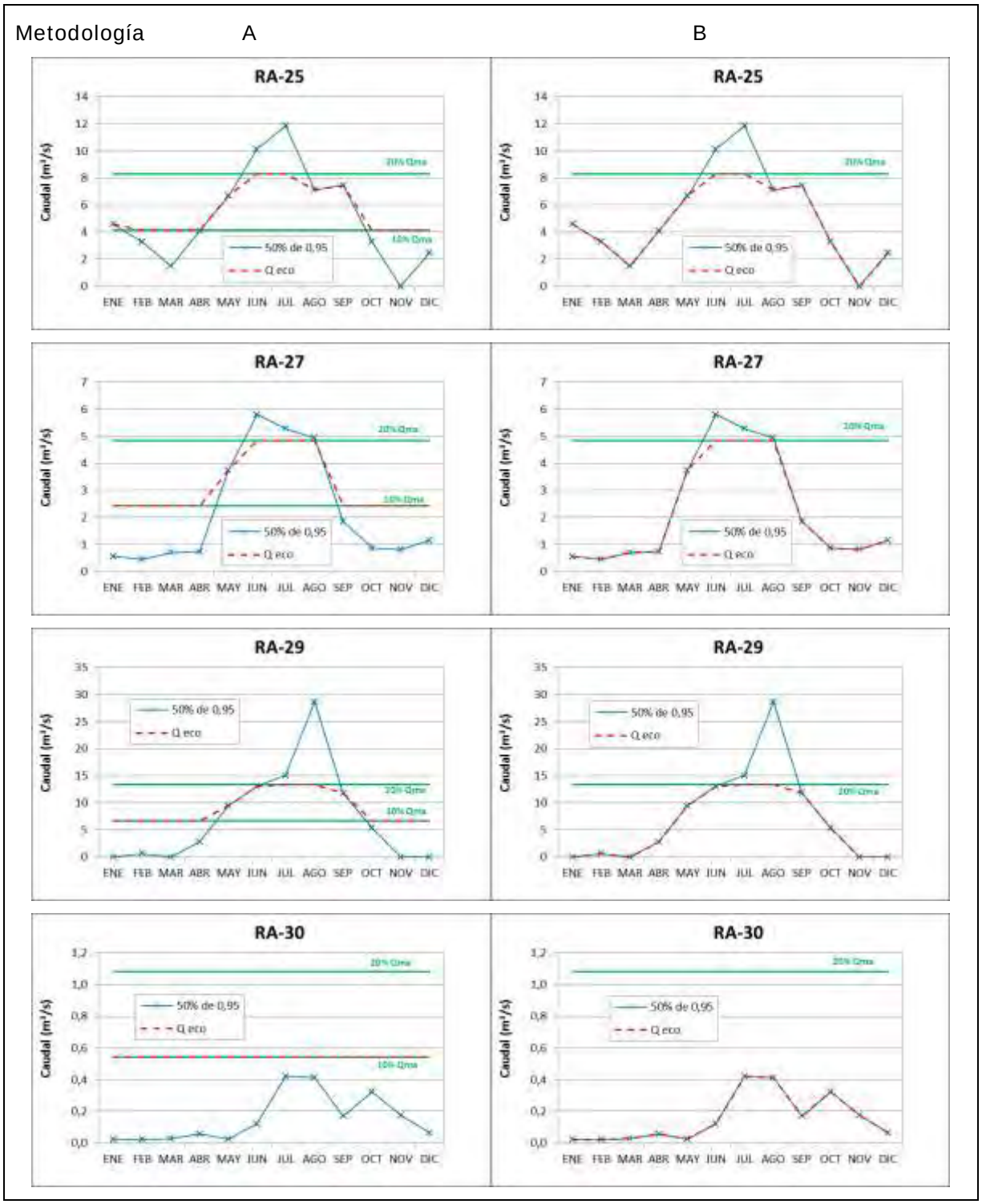


Figura 6-4: Continuación

Figura 6-4: Continuación



Fuente: Elaboración Propia

7 BALANCE OFERTA-DEMANDA

El siguiente capítulo presenta el desarrollo de los balances de oferta-demanda de las cuencas pilotos, los cuales fueron utilizados para evaluar cuantitativamente los impactos esperados de la aplicación de caudales ecológicos a la totalidad de los derechos de aprovechamiento de recursos hídricos en dichas cuencas.

El modelo de simulación de caudales permite diversas aplicaciones; en este estudio se utilizaron dos en particular.

La primera consiste en la extrapolación de información fluviométrica a puntos sin control fluviométrico, lo que fue aplicado para obtener la disponibilidad teórica de cada subcuenca o sección de río en análisis y poder establecer un balance hídrico a largo plazo, considerando como disponibilidad hídrica el caudal asociado a 85% de probabilidad de excedencia.

Dado que el balance a largo plazo representa sólo una situación teórica y que lo más probable es que se registren caudales por sobre el caudal asociado al 85% de probabilidad de excedencia, la segunda aplicación es analizar la realización específica de la serie histórica, y estimar para esta serie en particular el déficit registrado mes a mes y representar con más certeza posibles escenarios futuros.

A continuación se describen las características del modelo de generación de caudales, los supuestos considerado y su calibración, y posteriormente los resultados, que corresponden al balance de oferta-demanda en las cuencas de estudio.

7.1 MODELO DE SIMULACIÓN DE CAUDALES

El balance de oferta y demanda de recursos hídricos se realizó utilizando un modelo de simulación de caudales programado, en el programa EXTENDSIM.

EXTENDSIM utiliza programación orientada a objetos, de manera que cada objeto representa un algoritmo que lleva a cabo un determinado proceso del modelo. La conexión entre los módulos se realiza mediante trazos que unen los conectores de entrada y salida según corresponda para representar el movimiento del agua. Para el objetivo de este estudio, se utiliza las series de caudales mensuales en diferentes puntos de la cuenca.

7.1.1 Descripción del Modelo

Para la modelación de caudales superficiales se programaron tres módulos que representan distintos procesos del sistema (Tabla 7-1)

El primer módulo *Hidrología (H)* es una representación simplificada de los procesos hidrológicos que representa la propagación del hidrograma de caudales. En este módulo intervienen cuatro parámetros que definen la programación del modelo:

- Desfase: con un parámetro define el tiempo que es necesario desfasar la serie.
- Muskingum: con dos parámetros (K, coeficiente de almacenamiento; x, factor de ponderación entre caudal de entrada, I, y de salida, Q) representa la propagación del hidrograma entre la entrada y salida del módulo a partir del método de almacenamiento Muskingum.

$$S = K \cdot [I \cdot x + Q \cdot (1 - x)] \quad \text{Ecuación 7-1}$$

- Pérdida/Ganancia: con un parámetro representa el porcentaje de pérdida (-) o ganancia (+) del tramo del río.

El segundo módulo *Embalse (E)* es el que representa los embalses del sistema, simulando el almacenamiento de agua en un volumen conocido. La información de entrada corresponde a los afluentes naturales, input desde el módulo de hidrología, y la información de salida se modela a través de reglas de operación o el ingreso de una serie de caudales de entrega conocido.

El tercer módulo *Subcuenca (S)* es en el cual, a partir de la disponibilidad hídrica, se realiza un balance oferta y demanda de cada subcuenca en donde se extrae el caudal ecológico estimado y la demanda hídrica según el tramo. Cada módulo *S* unifica todas las bocatomas de la subcuenca analizada y por lo tanto agrupa la demanda hídrica en un sólo punto.

Tabla 7-1. Parámetros del modelo de simulación de caudales

Módulo	Submódulo	Parámetro	Símbolo
Hidrología (H)	-	Desfase	Δ
	Muskingum	Coeficiente de Almacenamiento	K
		Factor de ponderación entre caudal de entrada y de salida	X
	-	Pérdida/Ganancia	p/g
Embalse (E)	-	-	-
Subcuenca (S)	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Como información de entrada al modelo se consideran:

- Caudal medio mensual en las cabeceras de cuenca o en tramos donde ingresen aporte al sistema. Esta información se obtiene de los registros fluviométricos de la DGA.
- Demanda hídrica superficial de las principales agrupaciones de usuarios de agua (sección 5.4 y 5.5).
- Caudal ecológico mínimo. Para la modelación base se considera que este caudal es nulo, valor que será modificado para analizar la situación hidrológica con la inclusión de este caudal al sistema. Se estima a partir de la estadística registrada aguas arriba del módulo. En caso que un módulo reciba más de un aporte, se considera la suma de los caudales ecológicos de cada uno, y si se ubica aguas abajo de un embalse, se considera la suma de los caudales ecológicos de los cauces aportantes.

Para el análisis de la disponibilidad hídrica, la *Cuenca del Río Limarí* se dividió en seis zonas que corresponde a las zonas de riego (ZR) presentadas en la sección de demandas

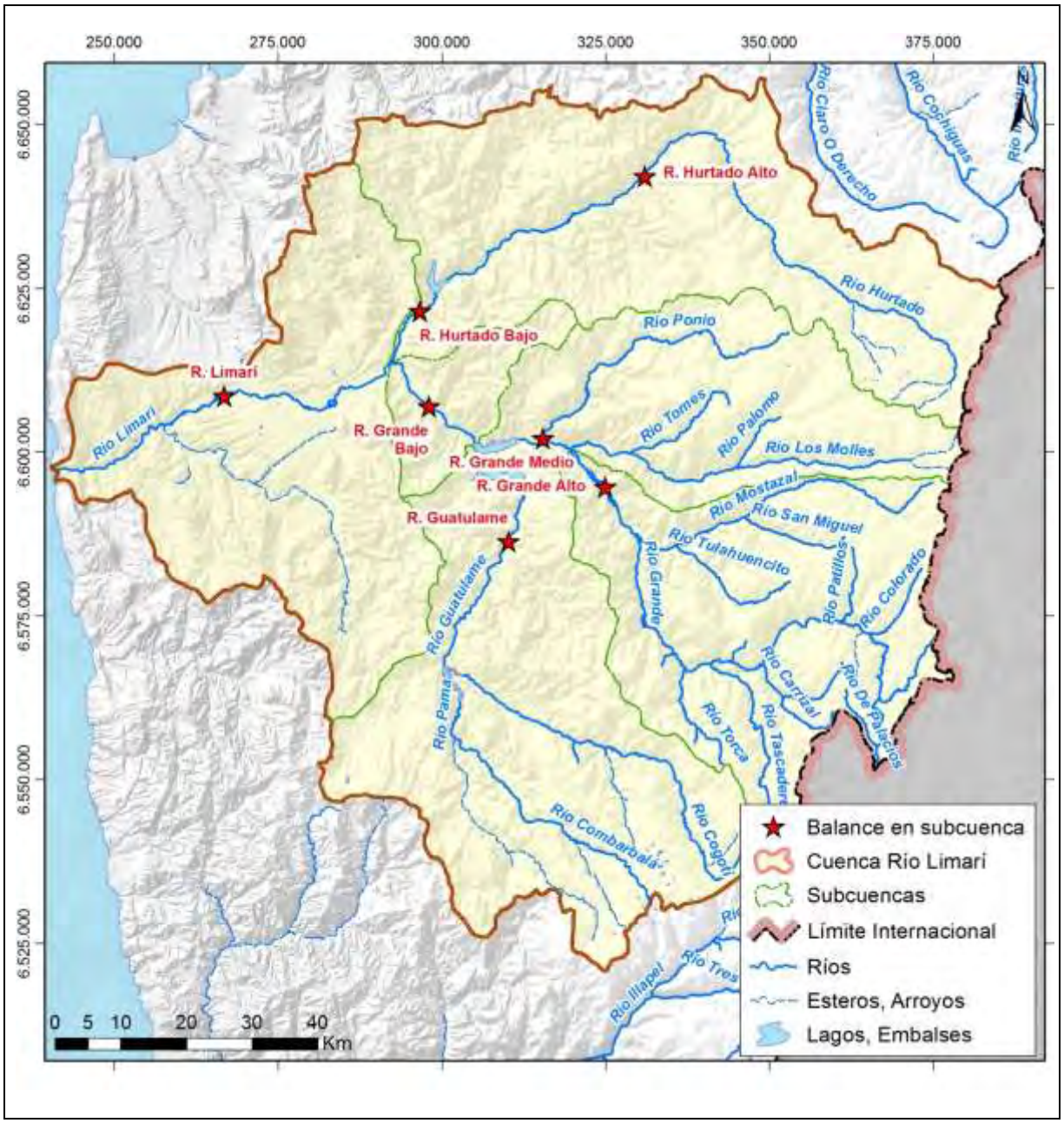
Para la aplicación del modelo, se ubicaron siete módulos *S,* una en cada zona de riego, salvo en la correspondiente al río Hurtado donde se programaron dos módulos. Cada módulo *S* se presenta en la Tabla 7-2 y su ubicación en la Figura 7-1. En la Figura 7-2 se presenta un esquema de la arquitectura del modelo hidrológico.

Tabla 7-2. Módulos *S* y sector de riego al que corresponde

Módulo *S*	Subcuenca de riego
HA	Río Hurtado Alto
HB	Río Hurtado Bajo
GM	Río Grande Medio
GA	Río Grande Alto
GU	Río Huatulame
GB	Río Grande Bajo
LI	Río Limarí

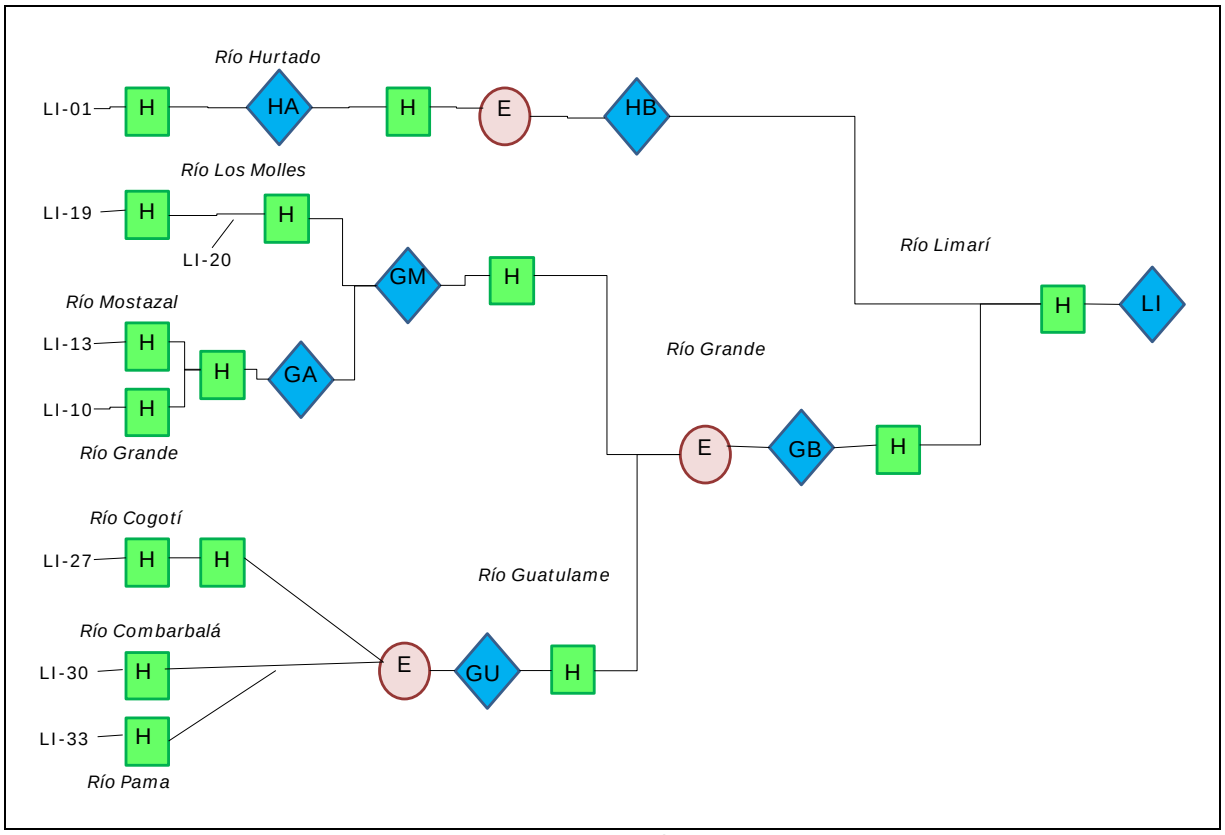
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-1: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-2: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim



Fuente: Elaboración Propia

La cuenca del río Aconcagua se dividió en cinco zonas que corresponden a las 4 secciones en la cuales está dividido el río Aconcagua más la sección río Putaendo.

Para la aplicación del modelo, se ubicaron seis módulos S, una en cada sección, salvo en la primera sección donde se programaron dos módulos; uno representa solamente las demandas asociadas a la producción minera (M) y el otro módulo con las demandas de los otros sectores productivos. Cada módulo S se presenta en la Tabla 7-3 y su ubicación en la Figura 7-3.

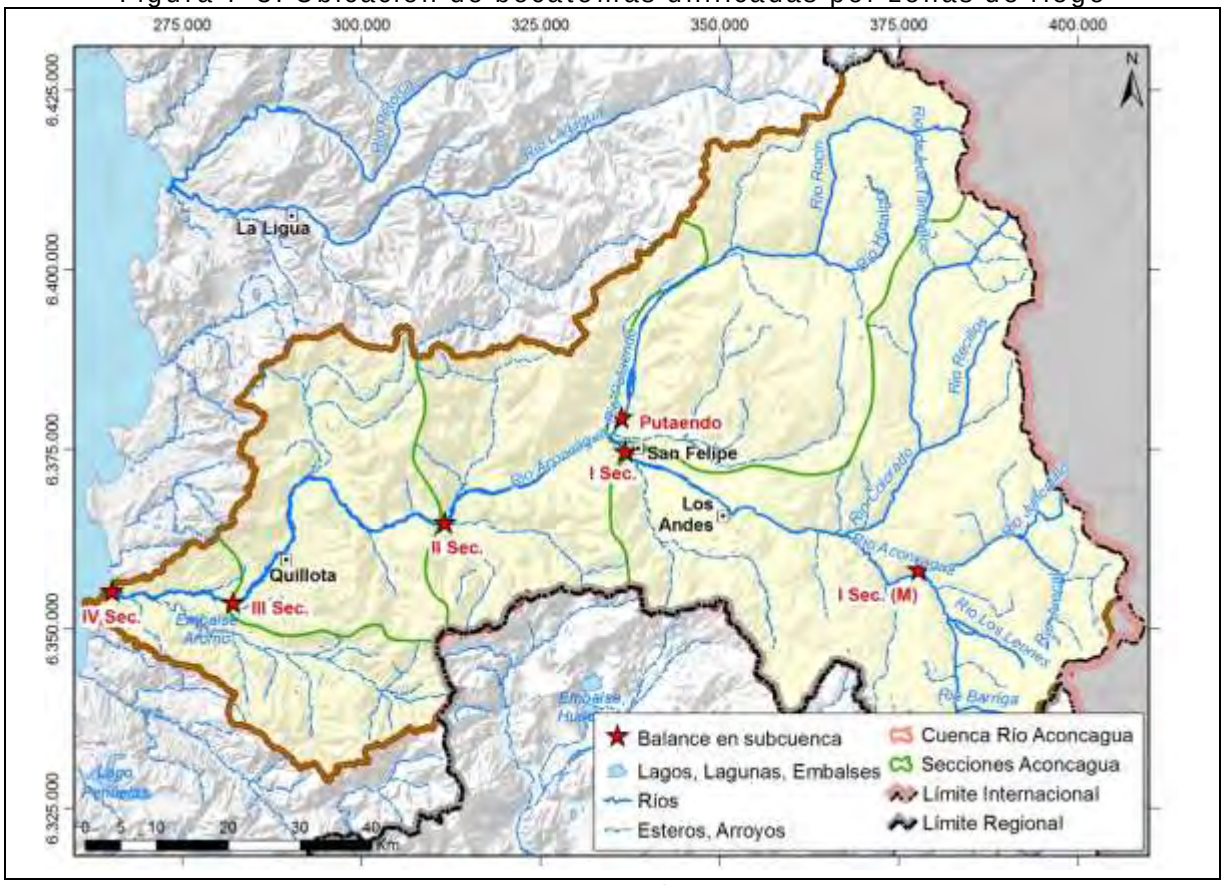
En la Figura 7-4 se presenta un esquema de la arquitectura del modelo de simulación.

Tabla 7-3. Módulos *S* y secciones de la cuenca a la cual corresponde

Módulo *S*	Subcuenca
I(M)	Primera sección (minería)
I	Primera sección
PU	Putaendo
II	Segunda sección
III	Tercera sección
IV	Cuarta sección

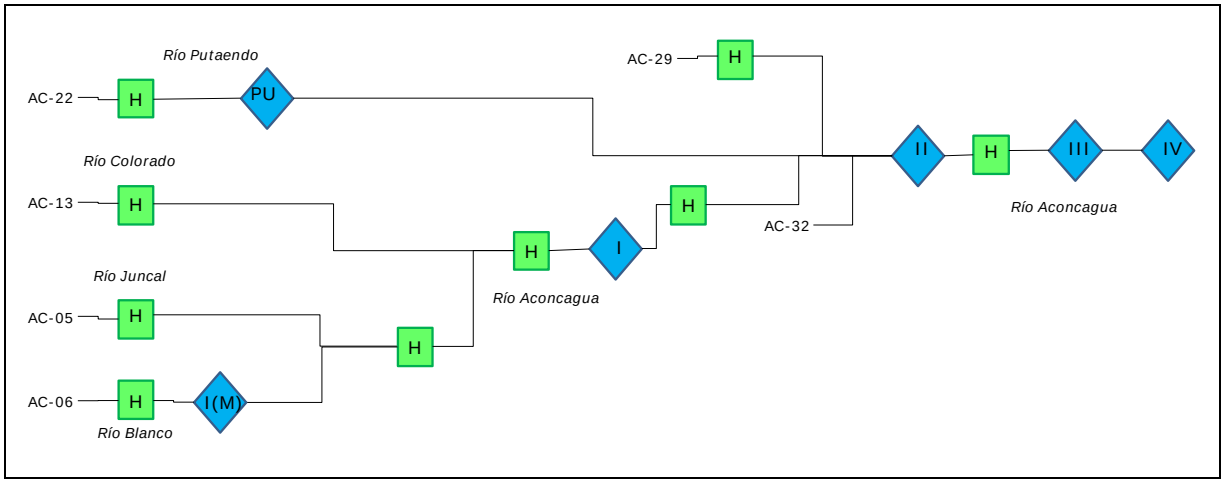
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-3: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-4: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim



Fuente: Elaboración Propia

La cuenca del río Rapel se dividió en seis subcuencas de acuerdo a la división realizada por DGA.

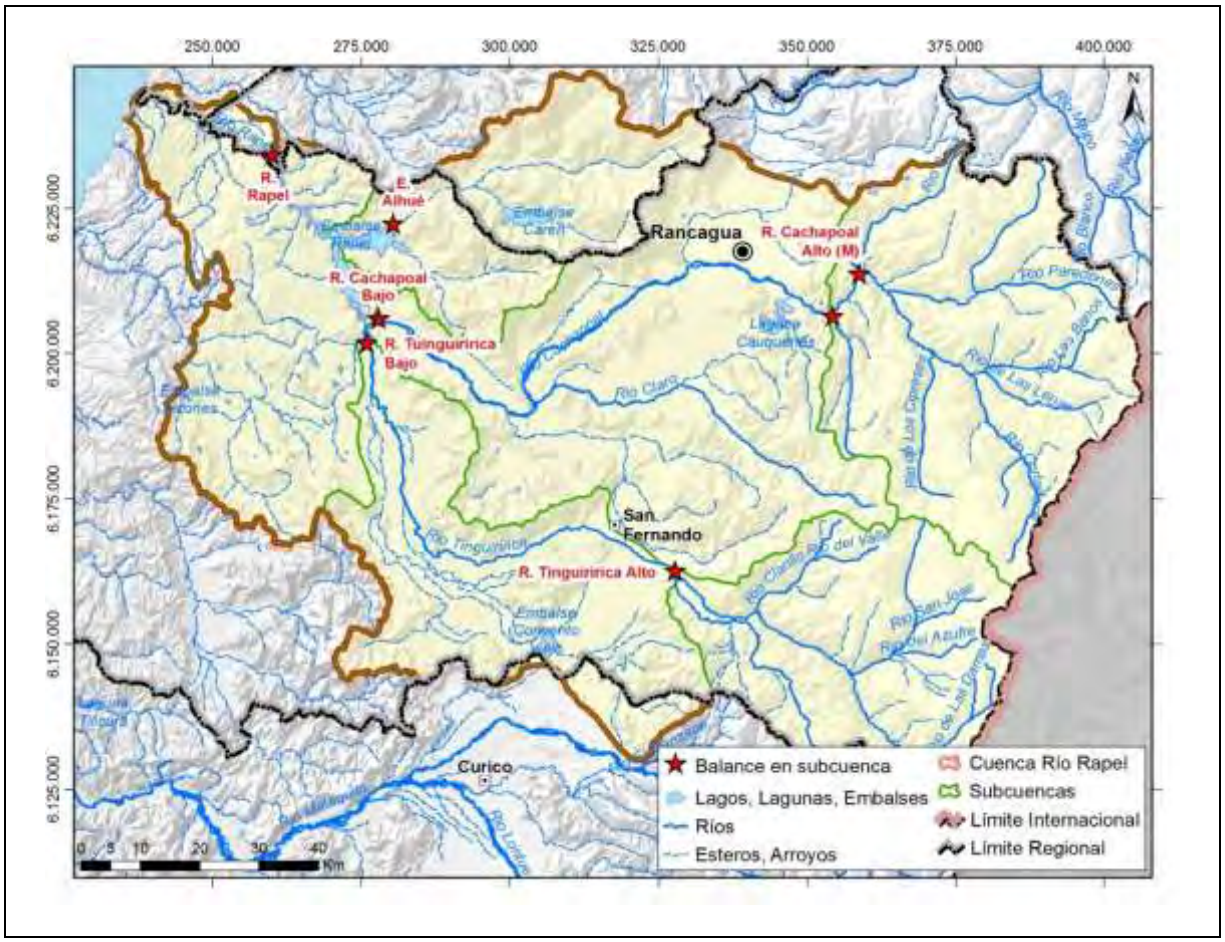
Para la aplicación del modelo, se ubicaron siete módulos *S*, una en cada sección, salvo en la subcuenca Cachapoal Alto donde se programaron dos módulos; uno representa solamente las demandas asociadas a la producción minera (M) y el otro módulo con las demandas de los otros sectores productivos. Cada módulo *S* se presenta en la Tabla 7-4 y su ubicación en la Figura 7-5. En la Figura 7-6 se presenta un esquema de la arquitectura del modelo de simulación.

Tabla 7-4. Módulos *S* y subcuenca a la cual corresponde

Módulo *S*	Subcuenca
TA	Tinguiririca Alto
TB	Tinguiririca Bajo
C(M)	Cachapoal (minería)
CA	Cachapoal Alto
CB	Cachapoal Bajo
EA	Estero Alhué
RR	Río Rapel

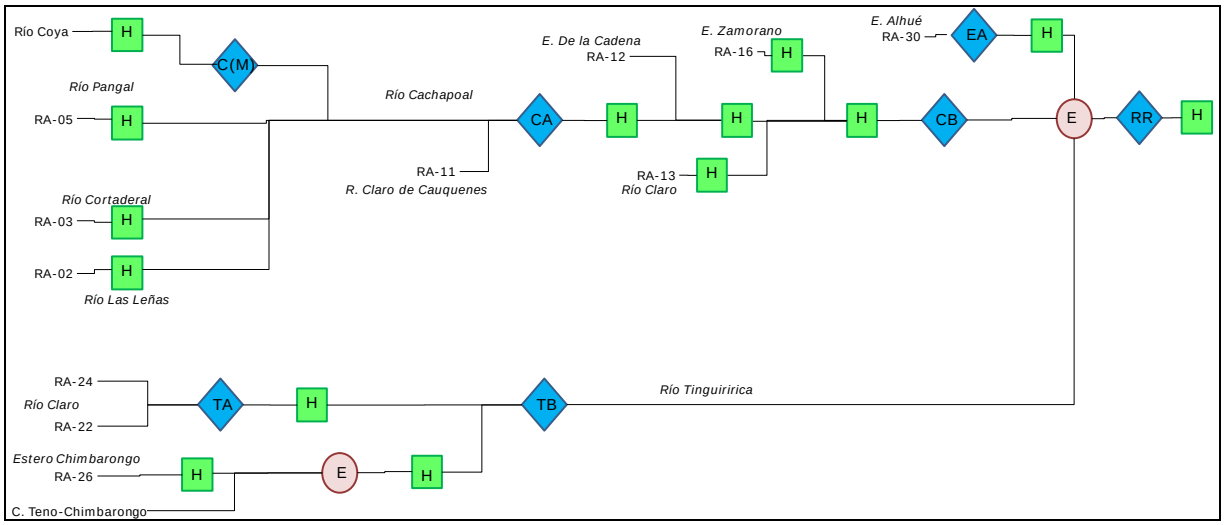
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-5: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-6: Esquema del modelo de simulación de caudales programado en ExtendSim



Fuente: Elaboración Propia

7.1.2 Calibración del modelo de simulación

La calibración del modelo de simulación de caudales se realizó para la operación hidrológica histórica.

Se consideró que los caudales ecológicos existentes no son respetados, ya que es la mejor simplificación a la realidad, la que se produce porque al coexistir en un mismo tramos derechos de agua que establecen un caudal ecológico y otros que no, la aplicación y fiscalización de cumplimiento de la norma se complejiza.

La calibración del modelo es un proceso que a través de la variación del parámetro más sensible, g/p, se busca un mejor ajuste de las series de caudales simuladas. El ajuste se realiza mediante una inspección visual y la obtención de los valores medios de las series ya que se considera representativo de la serie histórica.

Posteriormente, los resultados de las simulaciones se comparan con la información fluviométrica a lo largo de la cuenca a partir de un proceso iterativo en que se ajusta el parámetro g/p para obtener la mejor representación de las estaciones.

La calibración de los parámetros se realizó considerando los caudales superficiales históricos medidos en las estaciones fluviométricas a nivel mensual. Al contrario del parámetro g/p (con valores calibrados entre -40% y 35%), los otros se mantienen fijos y constante para cada módulo:

- Δ = 0 meses
- K = 1
- x = 0,5

Para la calibración de la *Cuenca del Río Limarí* se generaron series de descarga en los embalses Paloma y Cogotí, ya que no se cuenta con información fluviométrica de esta

variable. La generación de caudales se realizó con un balance hídrico en cada embalse a partir de la información de volúmenes embalsado registrados por la DGA sumado a estudios realizados sobre su funcionamiento (Morales y Rojas, 2010).

Dada la calidad de la información, para la cuenca del río Limarí, en la aplicación del modelo de simulación se consideró el periodo entre enero de 1985 a diciembre de 2013.

Las estaciones con respecto a las cuales se calibró el modelo fueron: LI-05, LI-15, LI-24, LI-26, LI-29, LI-37 y LI-47. En la Tabla 7-5 se presentan los caudales medios mensuales registrados y simulados, además de la desviación estándar de éstos. Entre las Figura 7-7 y Figura 7-13 se presentan los hidrogramas observados y simulados para cada estación. En general, los caudales medios simulados representan bien los caudales medios observados, mantenido en la mayoría de los casos valores similares a los reales.

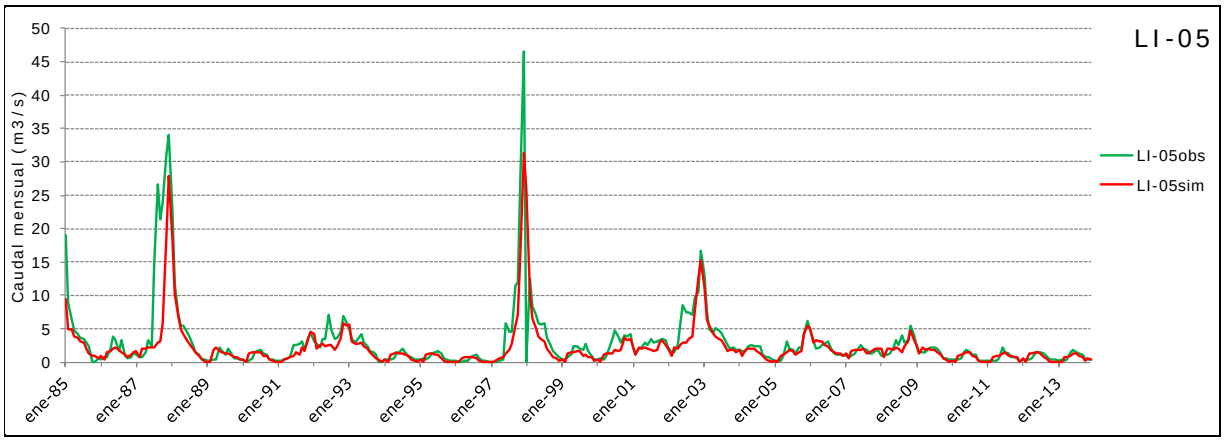
Las estaciones LI-24 (Figura 7-9) y LI-37 (Figura 7-12) son las que presentan un peor ajuste en la calibración, con un error del 33% y 32%, respectivamente, en la estimación del caudal medio mensual, y con un hidrograma simulado que no representa bien las tendencia del hidrograma observado. Pese a esto, y teniendo en cuenta los objetivos de la modelación, se considera que el modelo representa adecuadamente el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Tabla 7-5. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s)

Estación	Caudal medio	Desv. Estándar
LI-05obs	2,9	3,4
LI-05sim	2,2	1,8
LI-15obs	1,3	1,5
LI-15sim	1,3	1,1
LI-24obs	1,6	2,0
LI-24sim	1,1	1,0
LI-26obs	9,2	10,9
LI-26sim	7,3	5,8
LI-29obs	2,1	2,7
LI-29sim	2,2	1,8
LI-37obs	3,0	3,9
LI-37sim	2,0	1,4
LI-47obs	9,1	11,7
LI-47sim	8,6	6,3

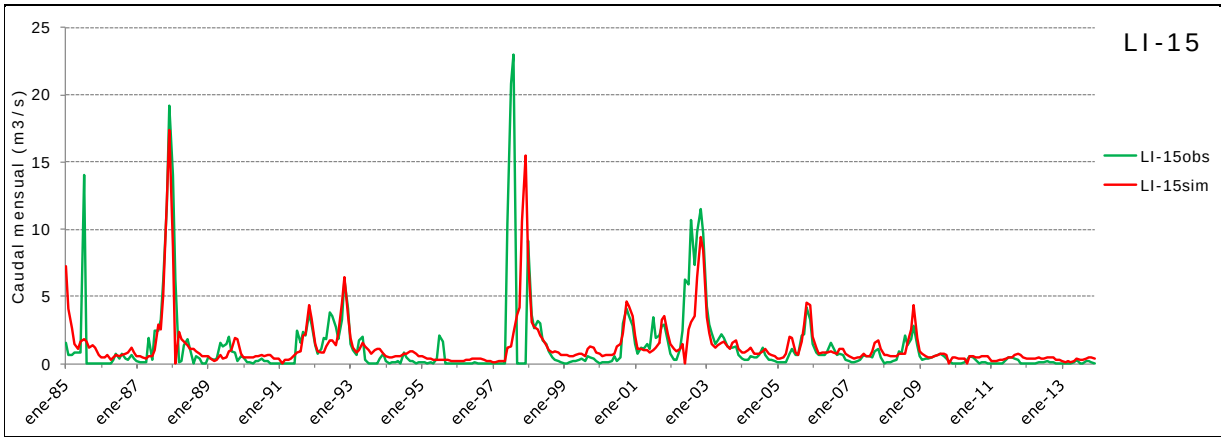
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-7: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-05



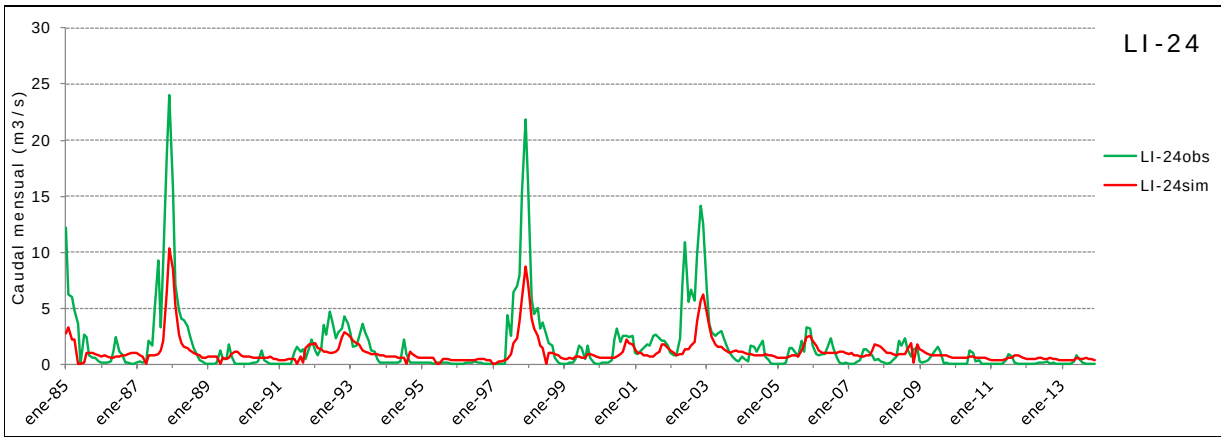
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-8: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-15



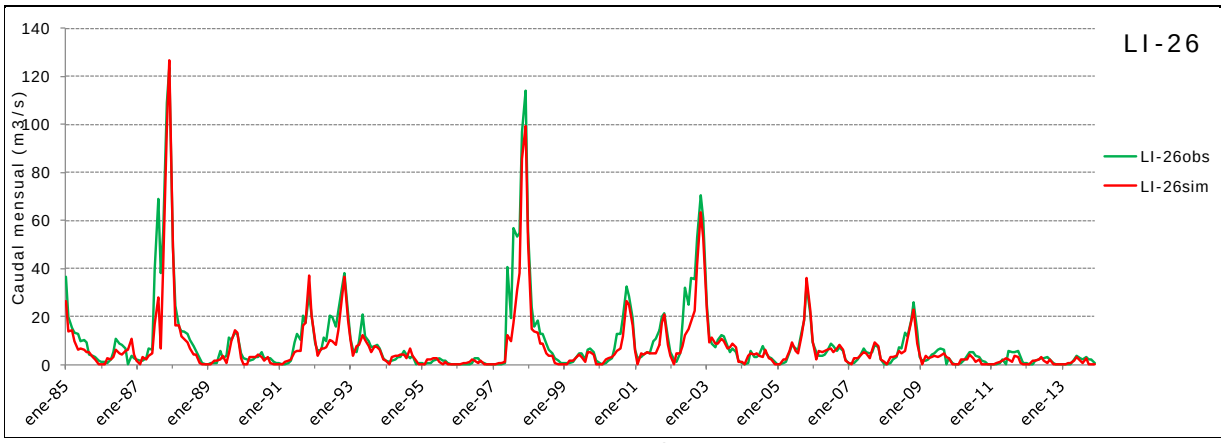
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-9: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-24



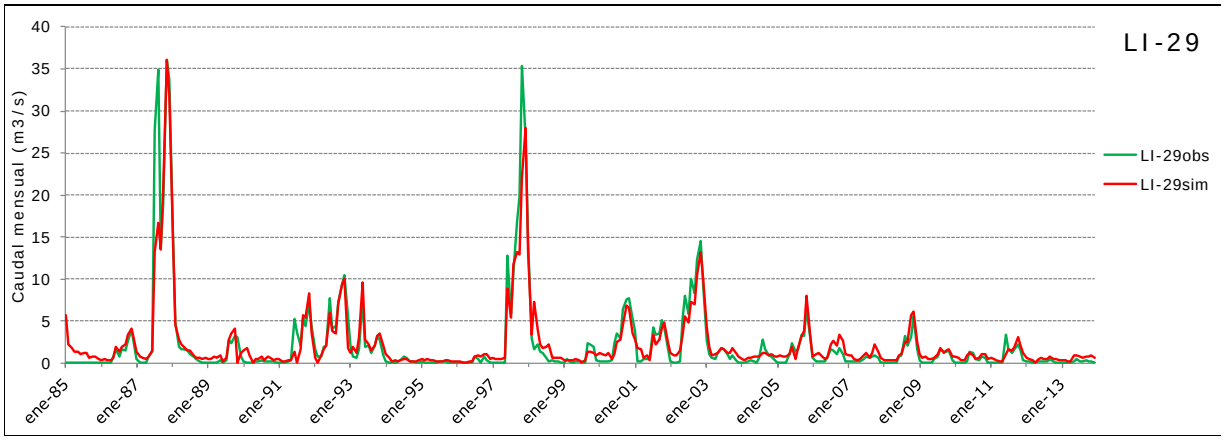
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-10: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-26



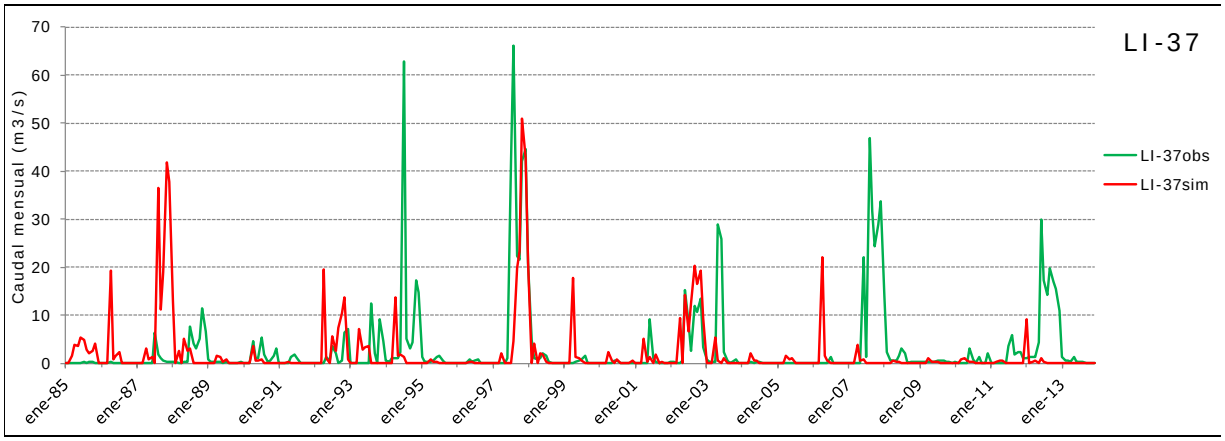
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-11: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-29



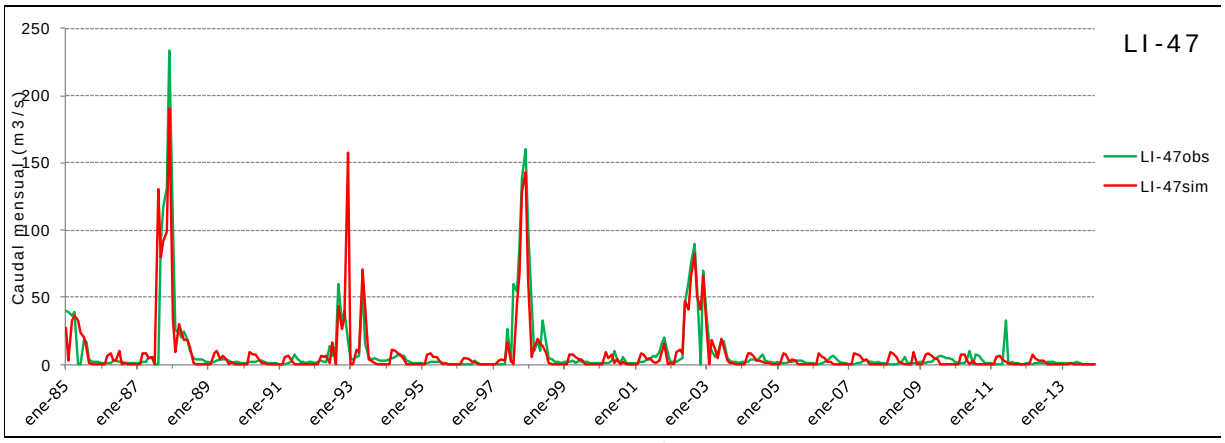
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-12: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-37



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-13: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-47



Fuente: Elaboración Propia

Para la *Cuenca del Río Aconcagua*, la calibración del modelo de simulación se realizó principalmente en la parte alta de la cuenca (primera sección y en Putaendo), ya que la información hacia aguas abajo no fue suficiente para realizar una buena comparación de los caudales. Esto motivó que el periodo de calibración y aplicación del modelo en esta cuenca fuera entre enero de 1970 a diciembre de 2013, a modo de incluir una mayor cantidad de registros.

El modelo se calibró en las siguientes estaciones: AC-09, AC-16, AC-18 y AC-34. En la Tabla 7-6 se presentan los caudales medios mensuales registrados y simulados, además de la desviación estándar de éstos. Entre las Figura 7-14 y Figura 7-17 se presentan los hidrogramas observados y simulados para cada estación.

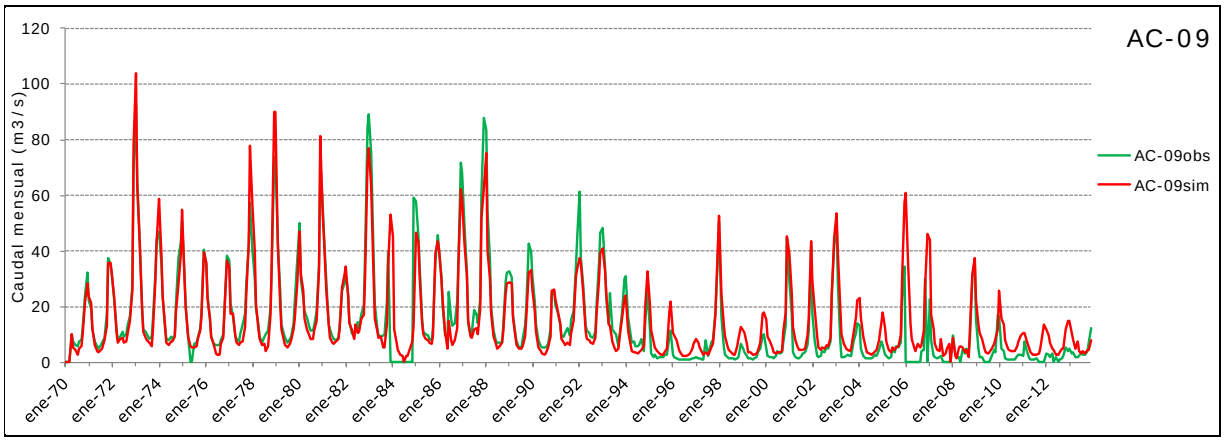
Los caudales medios simulados representan bien los caudales medios observados, manteniendo en la mayoría de los casos valores similares a los reales. La estación AC-34 (Figura 7-17) es la que presenta mayor error en su ajuste pero es debido a la cantidad de meses sin información registrada. Pese a esto, el modelo es capaz de representar aquellos periodos con información, lo que valida la aplicación del modelo considerando los objetivos del estudio.

Tabla 7-6. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s)

Estación	Caudal medio	Desv. Estándar
AC-09obs	14,2	277,6
AC-09sim	15,3	254,2
AC-16obs	33,7	996,9
AC-16sim	33,6	1.853,6
AC-18obs	16,3	574,8
AC-18sim	17,5	628,7
AC-34obs	11,3	503,5
AC-34sim	24,4	1.031,4

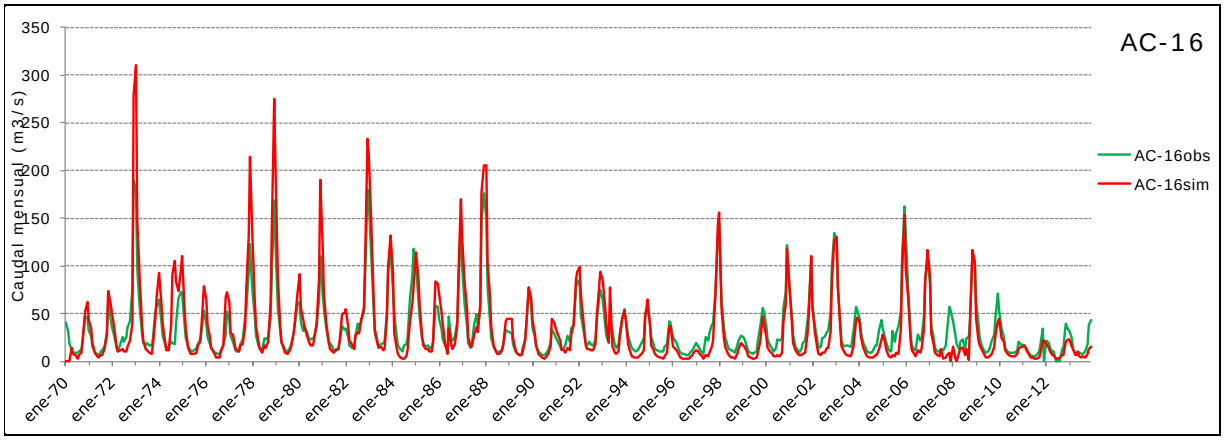
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-14: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-09



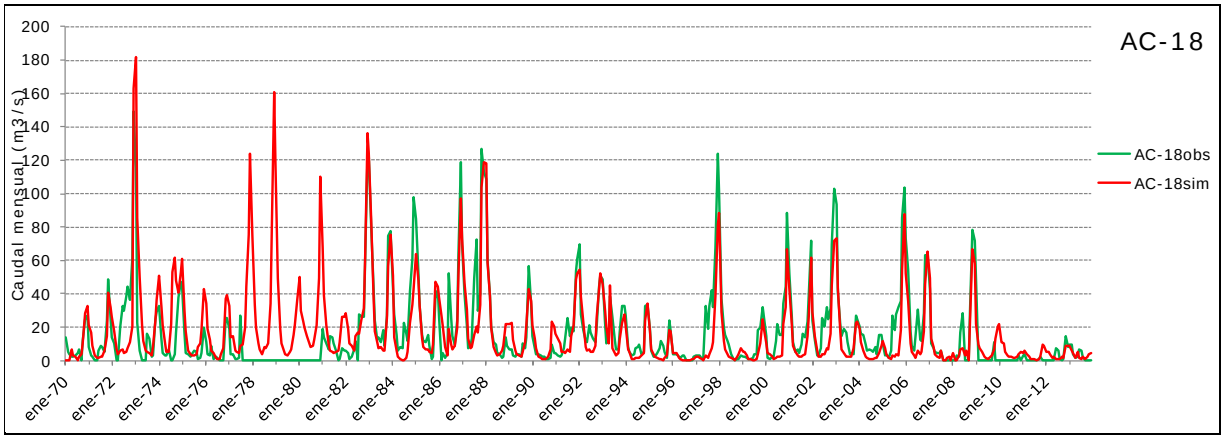
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-15: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-16



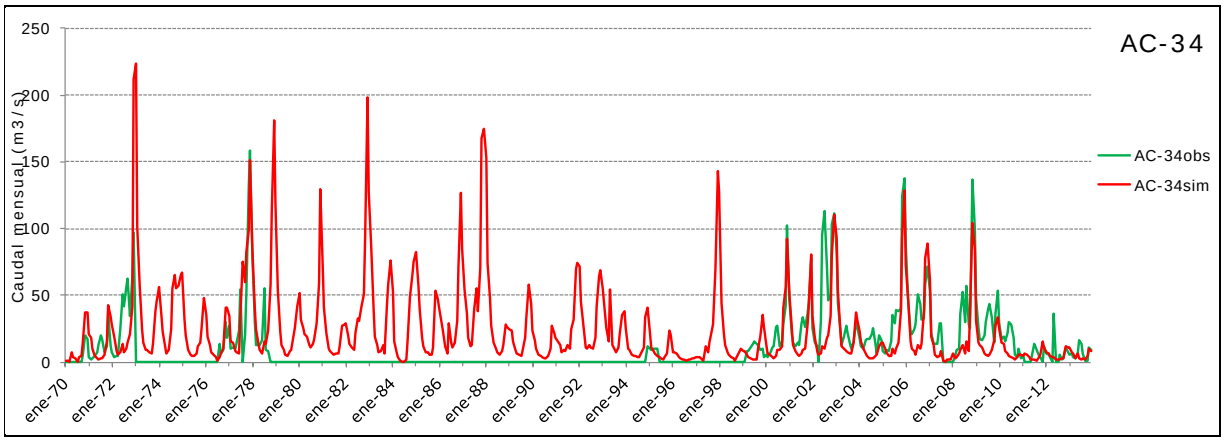
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-16: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-18



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-17: Series de caudal mensual observado y simulado. AC-34



Fuente: Elaboración Propia

En la Cuenca del *Río Rapel*, la calibración y posterior aplicación del modelo, considerando que el Embalse Rapel no cuenta con información fluviométrica actual del caudal de descarga, supuso que el caudal de salida es igual al caudal de entrada al embalse, siempre y cuando exista un volumen embalsado capaz de entregar esta demanda; en caso contrario, sólo entrega el caudal disponible.

La operación del embalse Convento Viejo, que regula las aguas del estero Chimbarongo y del canal Teno-Chimbarongo, cuenta con una estación fluviométrica aguas abajo de la descarga (RA-28) que determina la oferta hídrica para este tramo de la cuenca.

Para calcular el caudal natural proveniente desde el río Coya, se realizó una transposición de caudales a partir de la información de caudales registrada en la estación RA-09.

Dada la calidad de la información, para la cuenca del río Rapel, la aplicación del modelo de simulación consideró el periodo entre enero de 1985 a diciembre de 2013.

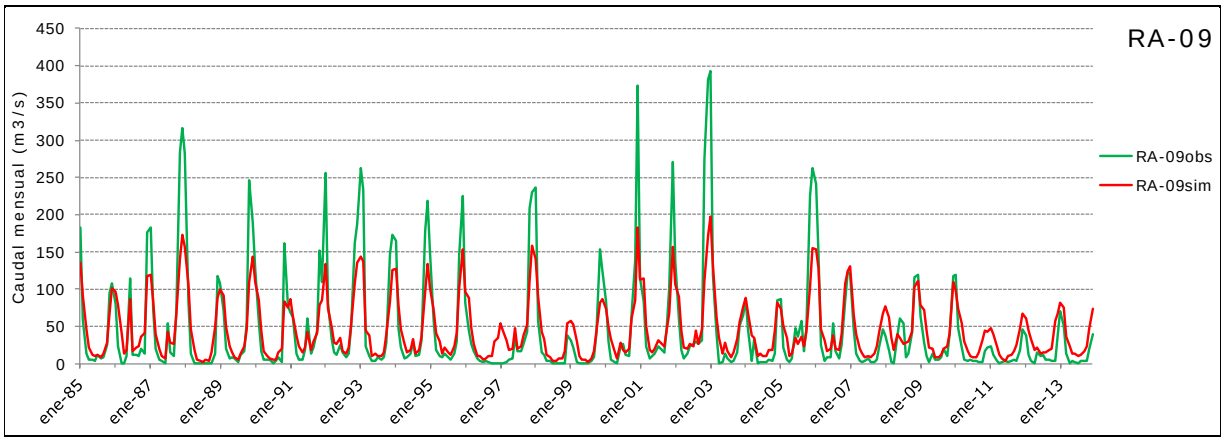
Las estaciones con respecto a las cuales se calibra el modelo fueron: RA-09, RA-20 y RA-29. Las tres estaciones inician sus registros a partir de 2002 y gran parte de la serie se encuentra rellenada, lo que dificulta la calibración. En la Tabla 7-7 se presentan los caudales medios mensuales registrados y simulados, además de la desviación estándar de éstos. Las Figura 7-18, Figura 7-19 y Figura 7-20 presentan los hidrogramas observados y simulados para cada estación. La calibración permite obtener una representación de los caudales medios en el largo plazo, mantenido los estadígrafos de las series originales, aunque es imprecisa en la estimación de eventos puntuales.

Tabla 7-7. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s)

Estación	Caudal medio	Desv. Estándar
RA-09obs	45,8	71,0
RA-09sim	45,9	40,5
RA-20obs	91,1	65,5
RA-20sim	91,3	62,1
RA-29obs	64,7	57,0
RA-29sim	70,6	43,7

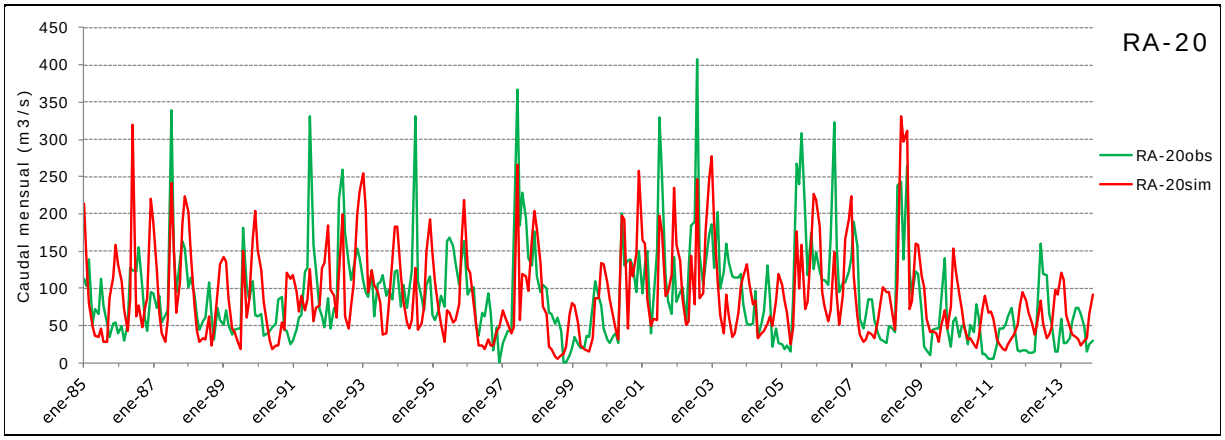
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-18: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-09



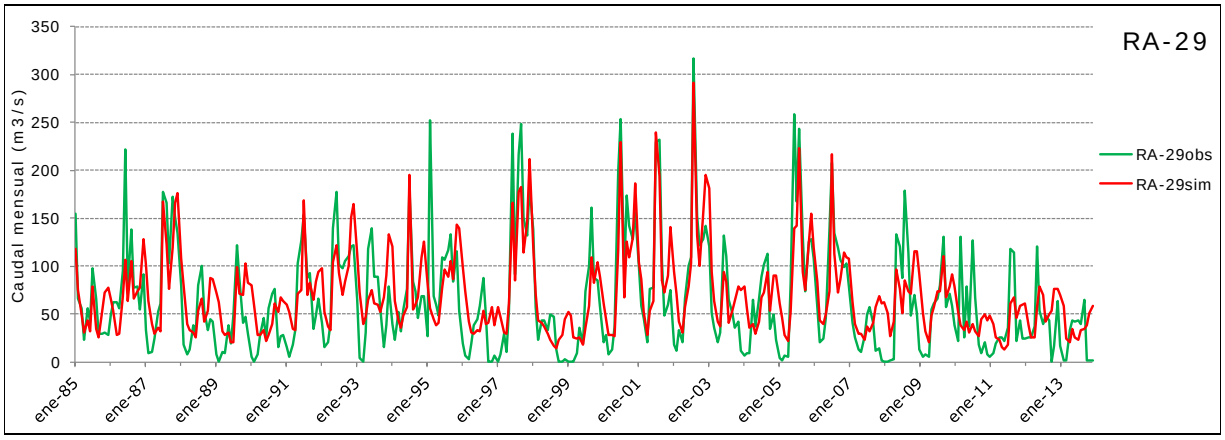
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-19: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-20



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-20: Series de caudal mensual observado y simulado. RA-29



Fuente: Elaboración Propia

7.2 RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN

Tal como se indicó en la introducción del capítulo, el modelo hidrológico se utilizó para realizar análisis con dos objetivos:

- Balance Oferta Demanda a largo plazo: Presenta la disponibilidad teórica de cada subcuenca o sección de río en análisis, considerando como disponibilidad hídrica el caudal asociado a 85% de probabilidad de excedencia. El modelo es utilizado como herramienta para generar series de caudales en subcuencas sin control fluviométrico.
- Balance Oferta Demanda en la serie histórica: Corresponde a la realización específica de la serie histórica, aplicando el balance hidrológico a cada uno de los meses del periodo modelado.

  En base a dicho balance se establece el déficit para cubrir la demanda, dado por la diferencia entre la demanda mensual y el caudal disponible en el cauce.

  En este análisis se incluye la evaluación de la aplicación de caudales ecológicos a todos los tramos donde se ubicó un módulo S, incrementando la demanda total.

A continuación se presenta el desarrollo de cada balance, junto a sus resultados principales.

7.2.1 Balance Oferta Demanda de Largo Plazo

La oferta hídrica se estima a partir de los caudales simulados pasantes por cada punto de control representado en cada módulo Subcuenca (*S*). Este cálculo se realiza a partir de la serie histórica simulada y equivale al comportamiento hidrológico en el largo plazo para cada subcuenca.

Para cada cuenca se presenta la estimación de oferta hídrica por subcuenca (Tabla 7-8, Tabla 7-9 y Tabla 7-10). Para cada subcuenca estudiada se presenta a escala anual el caudal medio (Q med.), caudal del 20%, caudal del 50%, caudal del 85% de excedencia, el caudal ecológico incluido en cada módulo *S* (Qeco), el caudal demandado (Qdda), el caudal disponible en la actualidad (Q85%-Qdda) y el caudal disponible considerando el establecimiento de caudales ecológicos (Q85%-Qdda-Qeco). Para la estimación del caudal demandado en la cuenca del río Aconcagua, no se consideraron 2,86 m^3/s del sector industrial por no tener claridad de la fuente de estas aguas, y 0,25 m^3/s del sector minero por ser considerada sólo la gran minería. El caudal ecológico incluido es estimado a partir de la estadística registradas aguas arriba del módulo. Éste difiere a la estimación de caudal ecológico estimado a partir de la estadística de ingreso al módulo simulado debido a la programación que representa y simplifica el sistema, pero se mantienen en el mismo rango de valores sobre todo para los módulos ubicados hacia aguas arriba. Aguas abajo, cuando la demanda hídrica aumenta y el caudal ecológico es estimado a partir de condiciones aguas arriba, representativas del régimen natural, la diferencia entre los caudales ecológicos es mayor.

Para la cuenca del río Limarí sólo la subcuenca río Limarí cuenta con derechos otorgados con establecimiento de caudal ecológico por lo que se utilizó la metodología A para su análisis; en el resto de las subcuencas se utilizó la metodología B al no existir una definición del caudal ecológico. Para las cuencas del Aconcagua y Rapel, como sí existe definición de caudal ecológico, y como mayoritariamente están calculados a partir del 10% del caudal medio anual, se utilizó la metodología A para su establecimiento.

En general se observa que la disponibilidad hídrica en las partes altas de cada cuenca es suficiente para cubrir las demandas, salvo en río Huatulame en Limarí y Estero Alhué en Rapel, donde las demandas son mayores que las ofertas. Hacia aguas abajo los requerimientos hídricos aumentan y con eso también lo hace el déficit hídrico. En el largo plazo, la inclusión del caudal ecológico afecta principalmente a aquellas subcuencas que se encuentran en su límite de uso hídrico (es decir, las demandas son cercanas a la oferta hídrica), como el Río Hurtado en Limarí y Tercera y Cuarta sección en Aconcagua, y Río Rapel en Rapel.

Tabla 7-8. Oferta hídrica cuenca del río Limarí estimada (m^3/s)

Subcuenca Limarí	Q med.	Q 20%	Q 50%	Q 85%	Q eco	Qdda	Q85%-Qdda	Q85%-Qdda-Qeco
Río Hurtado Alto	2,8	3,9	2,4	1,3	0,3	0,6	0,7	0,4
Río Hurtado Bajo	1,4	2,0	1,2	0,7	0,2	0,6	0,1	-0,1
Río Grande Medio	6,3	9,2	4,5	1,9	0,6	1,0	0,9	0,3
Río Grande Alto	6,3	9,0	4,9	2,4	0,5	1,3	1,1	0,6
Río Huatulame	3,0	4,5	1,7	0,5	0,0	3,8	-3,3	-3,3
Río Grande Bajo	10,2	14,9	6,0	1,9	0,3	0,8	1,1	0,8
Río Limarí	13,8	19,7	9,8	4,2	1,6	8,6	-4,4	-6,0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7-9. Oferta hídrica cuenca del río Aconcagua estimada (m^3/s)

Subcuenca Aconcagua	Q med.	Q 20%	Q 50%	Q 85%	Q eco	Qdda	Q85%-Qdda	Q85%-Qdda-Qeco
Primera sección (minería)	9,1	13,8	7,1	3,2	0,9	0,8	2,4	1,6
Primera sección	34,3	48,7	29,4	15,8	4,9	4,5	11,3	6,4
Putaendo	7,5	10,8	6,0	2,9	0,9	2,8	0,1	-0,8
Segunda sección	24,9	36,7	20,4	9,9	4,9	4,9	5,0	0,1
Tercera sección	20,2	36,4	13,2	3,8	4,9	5,0	-1,2	-6,1
Cuarta sección	16,3	29,1	10,3	2,3	6,1	2,5	-0,2	-6,3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7-10. Oferta hídrica cuenca del río Rapel estimada (m^3/s)

Subcuenca Rapel	Q med.	Q 20%	Q 50%	Q 85%	Q eco	Qdda	Q85%-Qdda	Q85%-Qdda-Qeco
Tinguiririca Alto	59,7	72,7	57,6	43,2	7,7	1,2	42,0	34,2
Tinguiririca Bajo	64,8	81,0	61,6	44,0	9,1	31,8	12,2	3,1
Cachapoal (minería)	2,3	3,3	2,0	1,1	0,1	7,5	-6,4	-6,5
Cachapoal Alto	47,5	58,6	45,7	33,6	9,3	0,8	32,8	23,6
Cachapoal Bajo	93,2	119,2	87,8	60,3	7,4	37,2	23,1	15,7
Estero Alhué	5,4	7,8	3,7	1,5	0,5	4,9	-3,4	-3,9
Río Rapel	94,0	138,5	77,3	37,6	17,1	23,6	14,0	-3,1

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 7-11 se presenta un análisis de los derechos otorgados en cada subcuenca en relación a la oferta hídrica estimada. Para el análisis sólo se consideraron derechos permanentes y consuntivos.

Para los casos de la primera sección del río Aconcagua y Cachapoal alto se hizo una subdivisión considerando la presencia de minería.

Como se observa, en gran parte de las cuencas el caudal otorgado es menor a la oferta hídrica estimada por este estudio.

De las cuencas analizadas, las que a priori presentan el menor uso de los recursos hídricos están dadas por la cuenca Río Grande bajo con sólo el 5% de la oferta hídrica. Situación similar se observa en la 1ra sección Minería del río Aconcagua (7%), dado que la mayor parte de los derechos de esta zona son de tipo no consuntivo y eventual.

Con respecto a las cuencas que presentan los mayores usos, la 3ra sección del río Aconcagua tiene un 97% de la oferta ya otorgada. En las cuencas del río Huatulame, Limarí y 4ta sección del río Aconcagua el caudal otorgado es mayor a la oferta hídrica.

Con respecto a la cantidad de caudal otorgado que está asociado a un caudal ecológico, se observa que actualmente es marginal o nulo en gran parte de las cuencas. La única cuenca que cuenta con un porcentaje importante en la subcuenca del Río Rapel.

Tabla 7-11. Comparación entre Oferta Hídrica y Derechos Otorgados

Cuenca	Subcuenca	Oferta Hídrica (L/s)	Derechos Totales Permanentes y Consuntivos		Derechos SIN Caudal ecológico		Derechos CON Caudal ecológico	
			Caudal (L/s)	(%)	Caudal (L/s)	(%)	Caudal (L/s)	(%)
Limarí	Hurtado arriba	1.293	1.495	100%	1.495	100%	0	-
	Hurtado abajo	692						
	R. Grande medio	1.909	402	21%	387	20%	15	1%
	R. Grande alto	2.357	984	42%	984	42%	0	-
	Huatulame	514	6.015					
	R. Grande bajo	1.934	98	5%	97	5%	1	-
	Río Limarí	4.156	6.465		6.465		0	-
Aconcagua	1ra Sección Minería	8.520	561	7%	561	7%	0	-
	1ra Sección	15.588	5.657	36%	5.657	36%	0	-
	Putaendo	2.924	1.930	66%	1.718	59%	212	7%
	2da Sección	9.855	4.864	49%	4.172	42%	692	7%
	3ra Sección	3.890	3.760	97%	3.757	97%	3	-
	4ta Sección	2.440	3.655		3.305		350	-
Rapel	Tinguiririca alto	43.182	4.175	10%	4.175	10%	0	-
	Tinguiririca bajo	34.708	12.880	37%	12.880	37%	0	-
	Cachapoal alto Minería	42.385	6.337	15%	6.337	15%	0	-
	Cachapoal alto	34.826	9.743	28%	9.743	28%	0	-
	Cachapoal bajo	61.485	11.264	18%	11.264	18%	0	-
	Estero Alhué	1.459	1.216	83%	1.216	83%	0	-
	Rapel	60.637	49.242	81%	8.887	15%	40.355	66%

Fuente: Elaboración Propia

7.2.2 Balance Oferta Demanda en la Serie Histórica

Se aplicó el modelo de simulación de caudales para evaluar el impacto que tiene establecer caudales ecológicos a todos los derechos de aprovechamiento en las cuencas pilotos.

Para analizar el efecto que tendría el establecimiento de caudales ecológicos en la demanda hídrica de cada cuenca, se comparó la situación actual (que no considera el establecimiento de caudal ecológico) con la situación en que cada punto de control (módulo *S)* debe dejar pasar el caudal ecológico definido para cada subcuenca.

Para ello se estimó el déficit hídrico en ambas situaciones, siendo la diferencia entre ellos el efecto del establecimiento de los caudales ecológicos en el sistema.

Para la estimación del déficit hídrico se analizaron tres escenarios:

- efecto en toda la serie modelada;
- efecto sólo en aquellos años en que el caudal medio anual (Q_{ma}) es menor que el caudal de 50% de excedencia en cada subcuenca;
- efecto en un periodo particularmente seco, donde se analizó entre marzo de 2010 a diciembre de 2013, para las cuencas del río Aconcagua y Rapel, por ser en periodo de sequía importante y el último. Adicionalmente, para la cuenca del río Limarí se consideró también el año 2014 (marzo de 2010 a diciembre de 2014) solamente en el análisis en el periodo seco, para evaluar los efectos de la incorporación del caudal ecológico en el último periodo, afectado por una importante sequía. Particularmente en la cuenca del río Rapel existen otros periodos más críticos, pero se mantuvo este periodo de análisis para una mejor comparación.

Los resultados para la cuenca del Limarí se presentan en la Tabla 7-12 y Figura 7-21, los de la cuenca del Aconcagua en Tabla 7-13 y Figura 7-22 y los de la cuenca del Rapel en la Tabla 7-14 y Figura 7-23.

En cada tabla se presenta por subcuenca la demanda hídrica total (Total Q), los déficit hídrico en la situación actual (Sin Q_{eco}) y con el establecimiento de un caudal ecológico (Con Q_{eco}), y el impacto de implementar esta medida (Dif y Dif %), todo esto para cada escenario de análisis. Este impacto se calcula como la diferencia entre los déficit hídricos estimados en base a la demanda hídrica total (Ecuación 7-2).

$$Dif\ \% = \frac{Con\ Qeco - Sin\ Qeco}{Total\ Q} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

En general, el mayor impacto se observa en la cuenca del río Aconcagua, mientras que el menor ocurre en la cuenca del río Limarí. En el caso del Limarí el bajo impacto se explica porque en la situación actual la cuenca ya se encuentra en un estado deficitario importante, por lo que la influencia de la normativa en el déficit sería menor; por el contrario, la cuenca del río Rapel se encontraría en una situación hídrica más favorable, con una oferta hídrica disponible para satisfacer gran parte de la demanda, por lo que el impacto también sería moderado. En cambio, para la cuenca del Aconcagua, que es una situación intermedia entre las anteriores, la inclusión de un caudal ecológico tendría un efecto considerable ya que su

situación sería más cercana a un equilibrio entre oferta y demanda, por lo que esta normativa tendería hacia una mayor demanda y por ende a un mayor déficit hídrico.

Particularmente, considerando toda la serie modelada, el establecimiento de un caudal ecológico a respetar en todos los ríos, incide en un aumento de entre 5% y 13% de déficit en la satisfacción de la demanda en el largo plazo, con respecto a la demanda total. El déficit promedio es de un 5,4% en la Cuenca del Río Limarí, 12,8% en la Cuenca del Río Aconcagua y 5,1% en la Cuenca del Río Rapel.

Del análisis acotado a los periodos de bajos caudales, en el que naturalmente se produce un mayor conflicto con los usuarios para respetar los caudales ecológicos, se observa que para la cuenca del río Limarí el impacto de la nueva normativa no varía significativamente, independiente del período considerado, mientras que para las otras cuencas, el impacto aumenta para períodos más críticos. Estos ocurre principalmente en la cuenca del Aconcagua donde el déficit hídrico aumenta a 13 m^3/s en el periodo marzo de 2010 a diciembre de 2013, que equivale al 60% de la demanda total (en Rapel el déficit aumenta a un 35% de la demanda). El impacto mayor para clase cuencas de la zona central-sur, también está explicado porque la estimación del caudal ecológico depende de la estadística fluviométrica, lo que en estas cuencas resulta en una demanda ecológica mayor.

Al analizar la situación sin caudal ecológico, respecto a la demanda total por cuenca, y considerando el primer escenario, en la cuenca del río Limarí hay un 34% de déficit, mientras que en Aconcagua y Rapel el déficit es aproximadamente un 12%. Si se aplica caudal ecológico, este déficit aumenta a un 40% en Limarí, mientras que en Aconcagua y Rapel el aumento es a un 21% y 18% respectivamente.

En el periodo de sequía (tercer escenario), el déficit hídrico es de un 65% en la cuenca del río Limarí, de un 37% en Aconcagua y un 23% en Rapel. Considerando la aplicación del caudal ecológico, los déficits aumentan a un 70% en Limarí, un 60% en Aconcagua y un 35% en la cuenca del río Rapel.

Los resultados presentados se acotan a demandas asociadas a derechos otorgados considerando la disponibilidad hídrica como el caudal de 85% de probabilidad de excedencia, y de tipo permanente y consuntivo. Se espera que en demandas asociadas a derechos eventuales, los impactos de respetar un caudal ecológico sean menores al ser dependientes de la disponibilidad hídrica.

Finalmente, al analizar el efecto del establecimiento de caudal ecológico en el largo plazo, en general el impacto es bajo ya que periodos de abundancia compensan periodos de escasez. Pero si se acota el análisis a periodos de mayor escasez hídrica, el impacto de la inclusión del caudal ecológico adquiere importancia y tiene efectos considerables en la satisfacción de demanda hídrica.

A nivel mensual y de subcuenca (Figura 7-21, Figura 7-22 y Figura 7-23), los efectos son variables y dependientes del uso y disponibilidad de agua, con meses que alcanzan un déficit de 100% de la demanda, subcuencas con déficits actuales considerables y bajo impacto de la normativa para cada escenario analizado (río Huatulame), subcuencas con un déficit actual bajo o moderado y un impacto importante con el establecimiento de caudales ecológicos como la I y II sección del Aconcagua, etc.

Tabla 7-12. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Limarí (m^3/s)

Sección	Total Q	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años Qma<Q50%				Déficit (mar10-dic13)			
		Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)
Río Grande Alto	1,26	0,08	0,13	0,04	3,5	0,12	0,20	0,07	5,6	0,26	0,40	0,14	11,4
Río Grande Medio	1,02	0,25	0,27	0,03	2,7	0,36	0,41	0,05	4,4	0,57	0,64	0,07	6,7
Río Grande Bajo	0,78	0,01	0,02	0,01	1,3	0,01	0,03	0,02	2,1	0,20	0,23	0,03	4,2
Río Limarí	8,64	2,99	3,68	0,69	8,0	3,74	4,56	0,82	9,5	6,30	6,87	0,57	6,6
Río Hurtado	1,29	0,13	0,17	0,03	2,7	0,23	0,29	0,06	4,3	0,39	0,47	0,08	6,3
Río Huatulame	3,79	2,32	2,41	0,09	2,4	2,24	2,30	0,05	1,4	3,12	3,13	0,01	0,2
Total	16,78	5,78	6,68	0,90	5,4	6,71	7,77	1,06	6,3	10,85	11,75	0,90	5,4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7-13. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Aconcagua (m^3/s)

Sección	Total Q	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años Qma<Q50%				Déficit (mar10-dic13)			
		Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)
Primera	5,32	0,02	0,43	0,41	7,7	0,03	0,89	0,86	16,3	0,06	1,19	1,13	21,2
Segunda	4,86	0,14	0,83	0,69	14,3	0,31	1,79	1,48	30,5	0,55	3,36	2,81	57,9
Tercera	4,96	1,06	1,93	0,87	17,5	2,28	3,38	1,10	22,3	3,88	4,82	0,94	19,0
Cuarta	2,55	0,81	1,23	0,42	16,5	1,52	1,97	0,45	17,5	2,45	2,55	0,10	4,1
Putaendo	2,82	0,39	0,62	0,24	8,4	0,58	0,92	0,34	12,1	0,61	1,13	0,52	18,3
Total	20,51	2,41	5,04	2,63	12,8	4,72	8,96	4,24	20,7	7,54	13,05	5,51	26,8

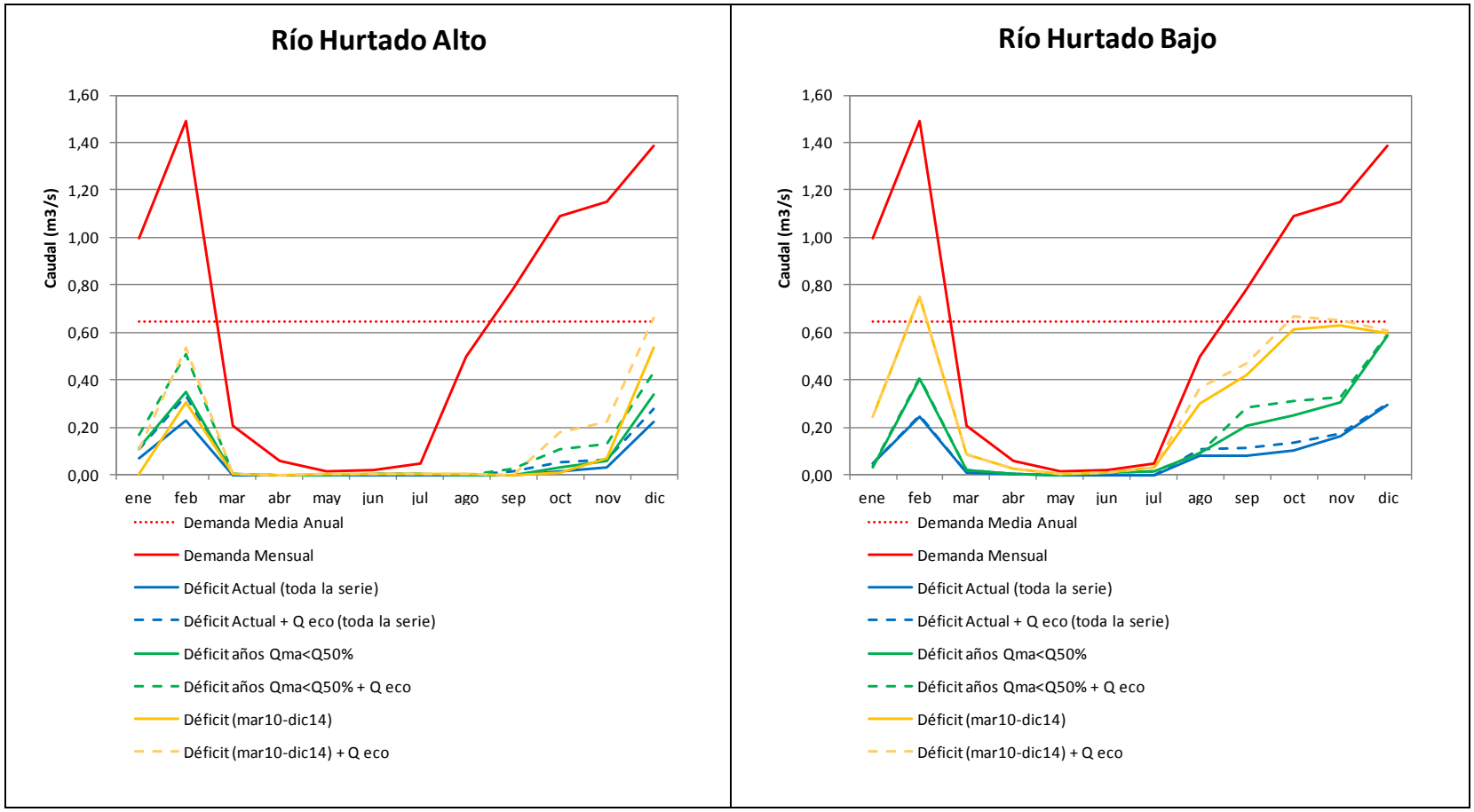
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7-14. Déficit hídrico con inclusión de caudal ecológico en cuenca del río Rapel (m^3/s)

Sección	Total Q	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años Qma<Q50%				Déficit (mar10-dic13)			
		Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)	Sin Q_{eco}	Con Q_{eco}	Dif.	Dif (%)
Cachapoal Bajo	37,40	0,58	1,34	0,75	2,0	1,20	2,73	1,53	4,1	1,41	3,89	2,48	6,6
Cachapoal Alto	8,44	5,60	5,72	0,12	1,4	6,12	6,31	0,18	2,1	6,84	7,04	0,21	2,5
Río Rapel	23,04	3,17	5,07	1,90	8,2	5,55	8,78	3,24	14,1	10,64	15,02	4,38	19,0
Estero Alhué	4,86	3,13	3,47	0,34	7,0	3,49	3,91	0,42	8,6	3,55	3,86	0,31	6,4
Tinguiririca Alto	1,21	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Tinguiririca Bajo	31,75	0,78	3,08	2,30	7,2	1,26	4,40	3,13	9,9	2,12	7,40	5,27	16,6
Total	106,70	13,26	18,68	5,41	5,1	17,62	26,13	8,50	8,0	24,55	37,20	12,65	11,9

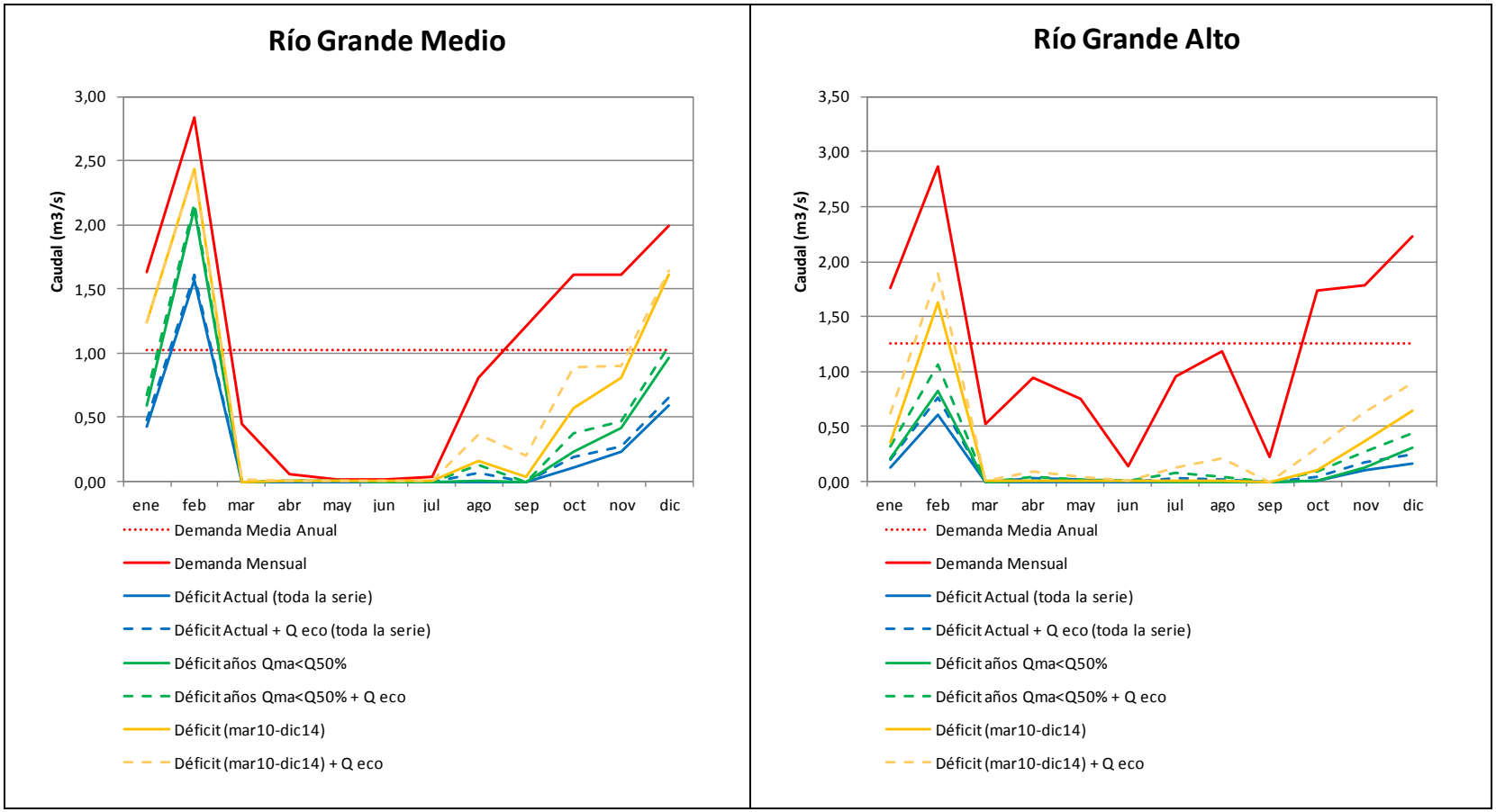
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-21: Déficit hídrico Subcuencas Río Limarí (m^3/s)



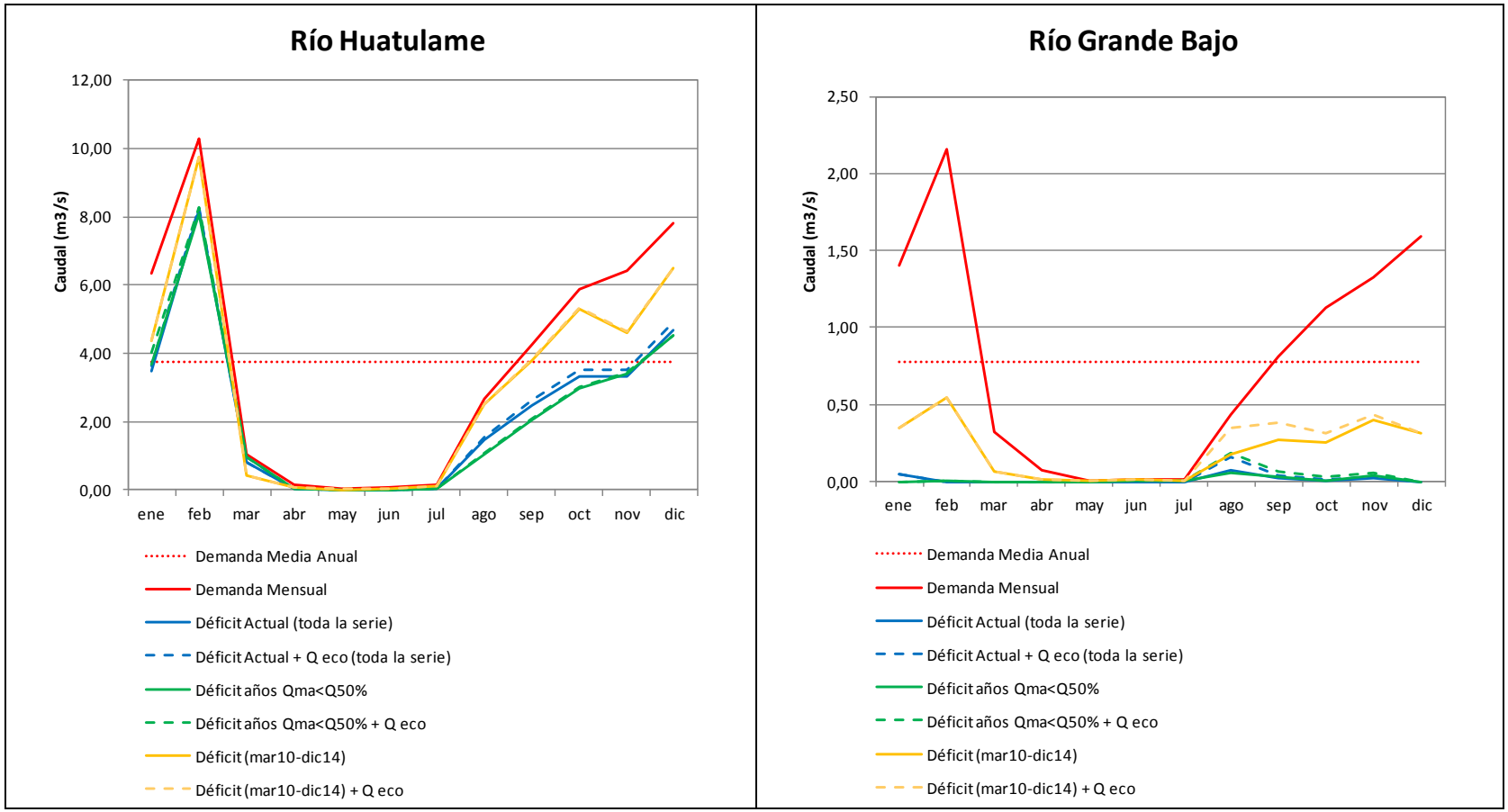
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-21: Déficit hídrico Subcuencas Río Limarí (m^3/s) (Continuación)



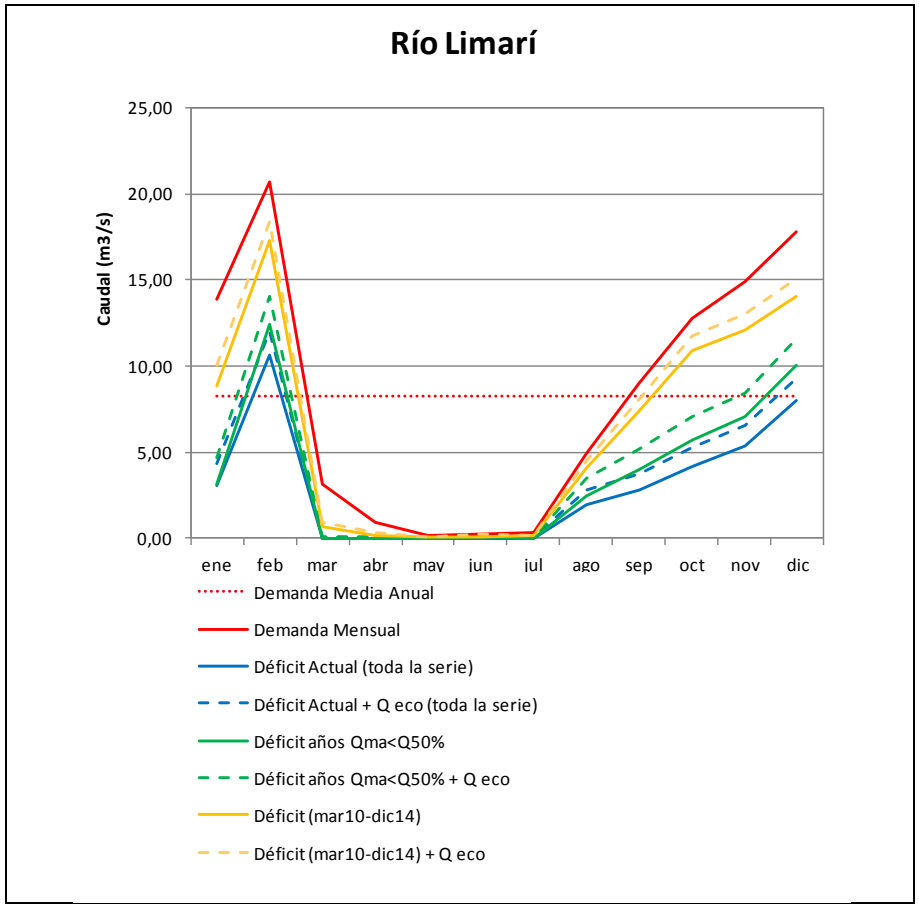
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-21: Déficit hídrico Subcuencas Río Limarí (m^3/s) (Continuación)



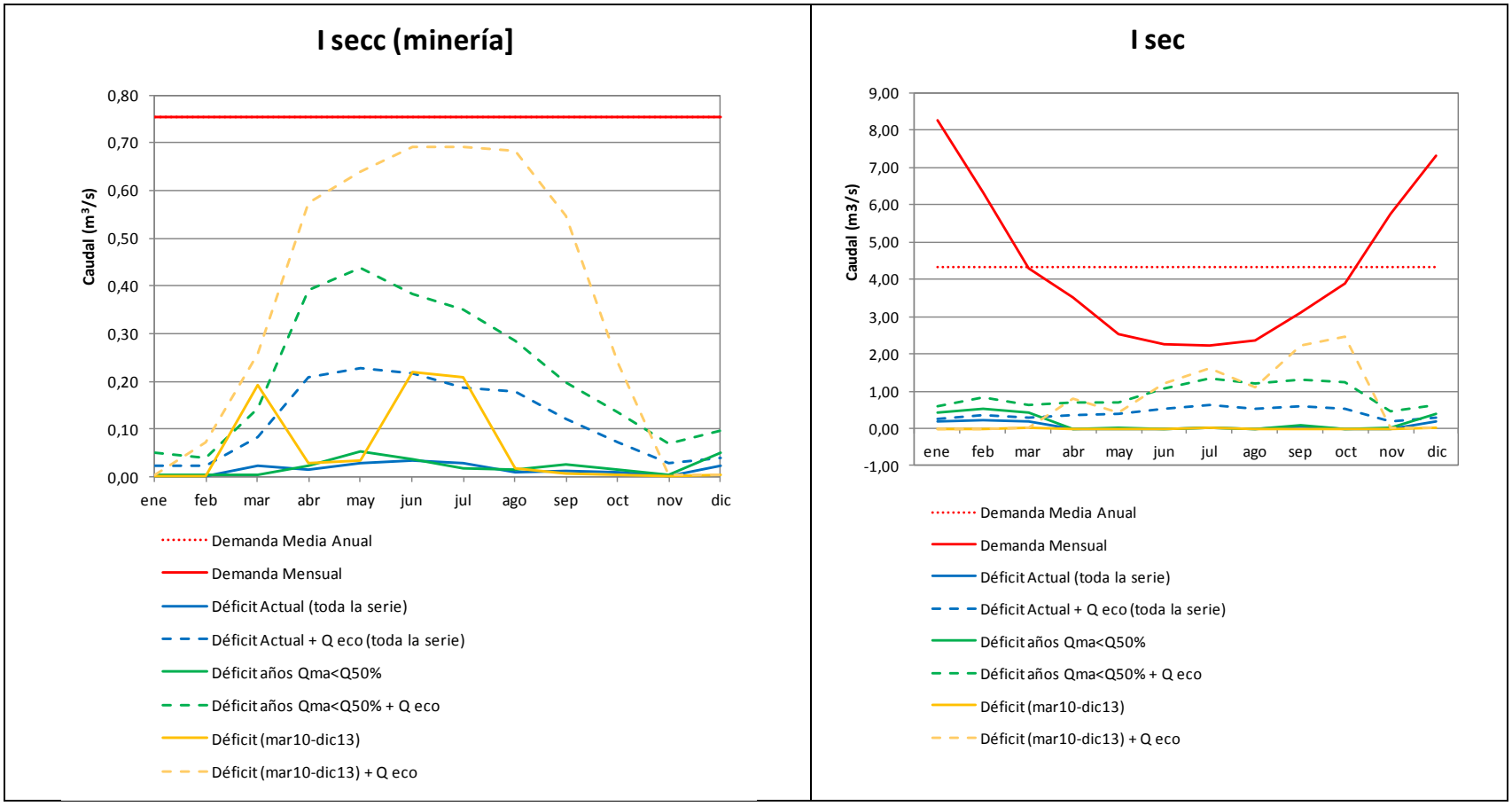
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-21: Déficit hídrico Subcuencas Río Limarí (m^3/s) (Continuación)



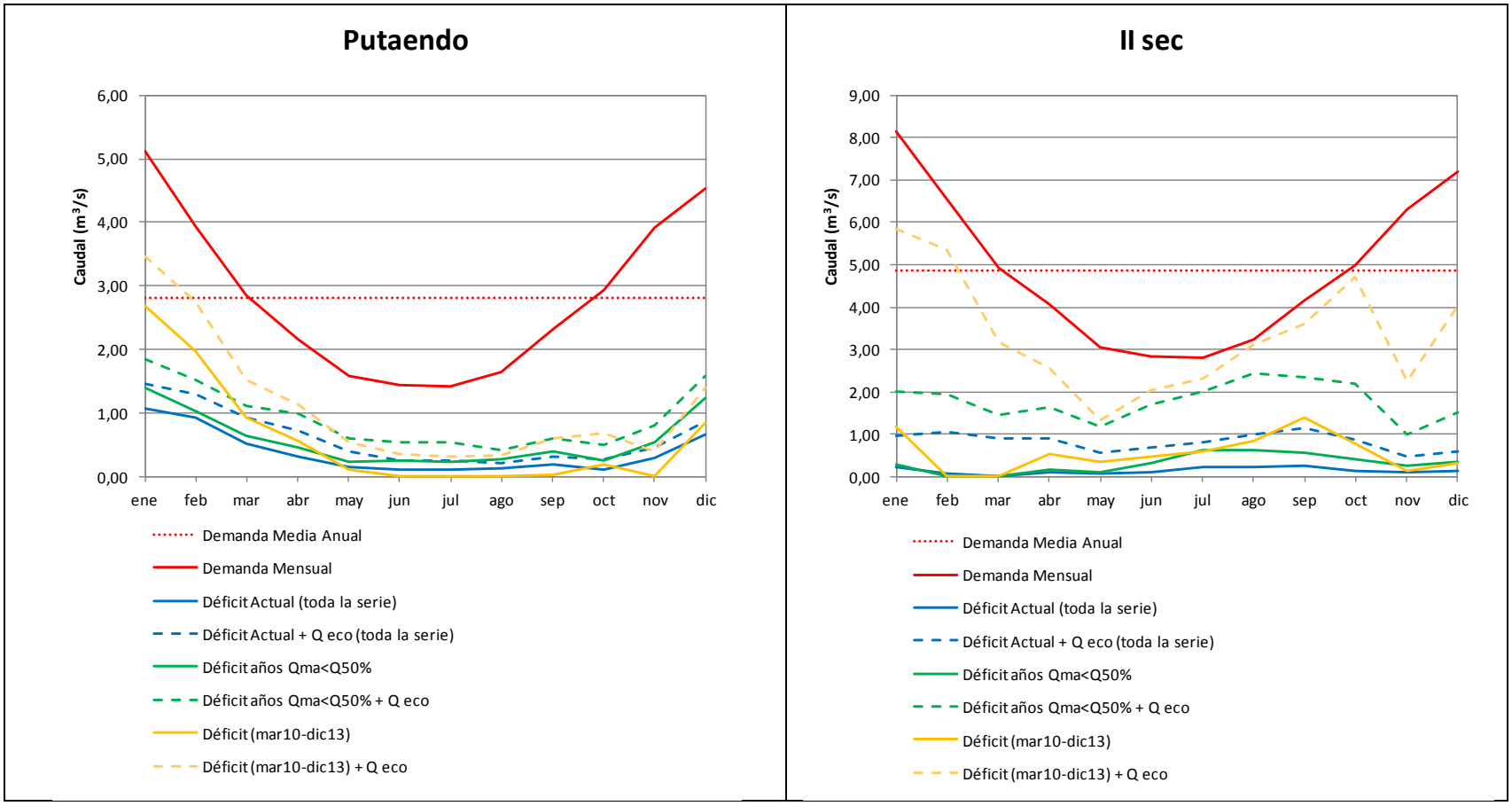
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-22: Déficit hídrico Subcuencas Río Aconcagua (m^3/s)



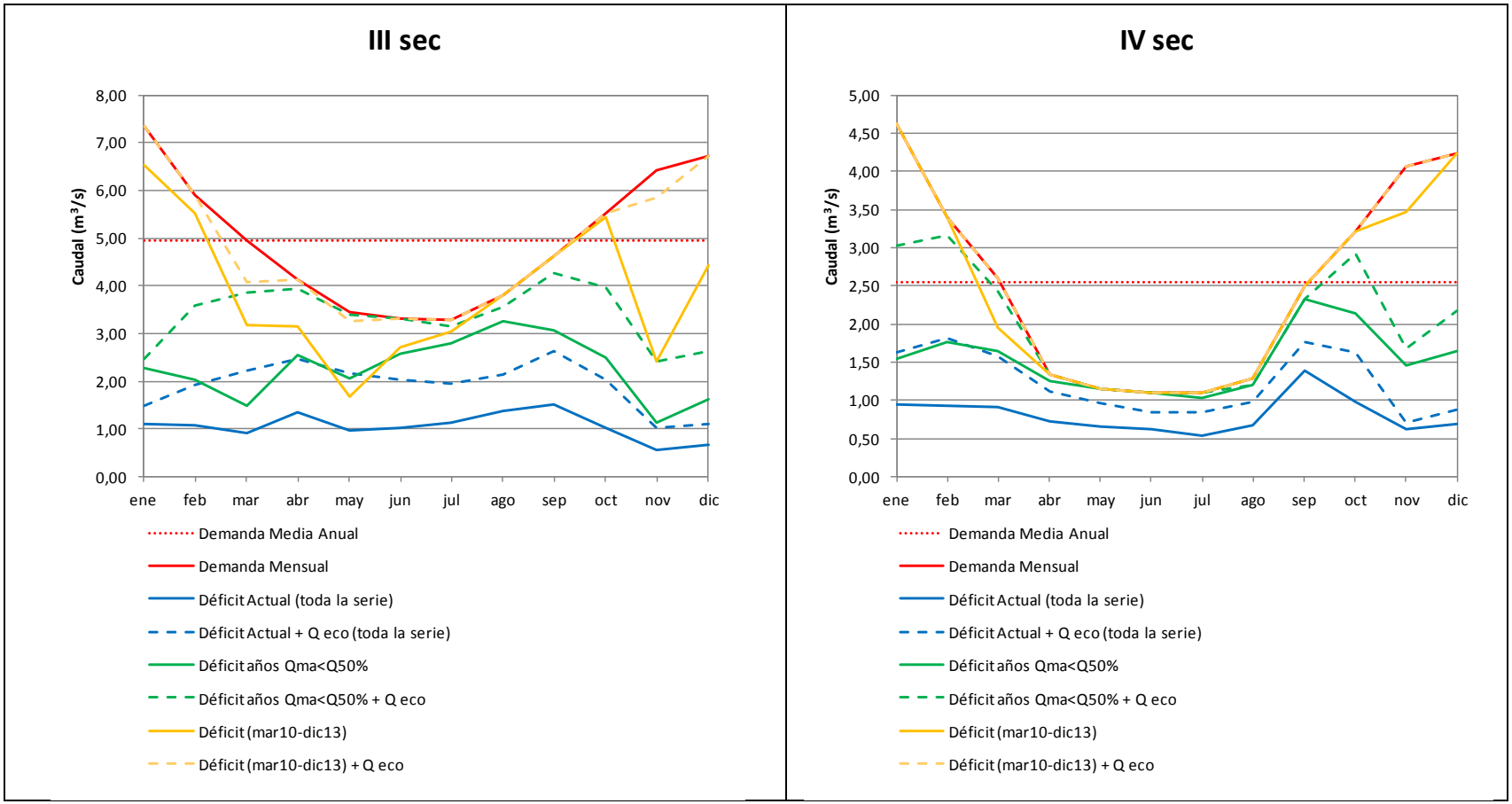
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-22: Déficit hídrico Subcuencas Río Aconcagua (m^3/s) (Continuación)



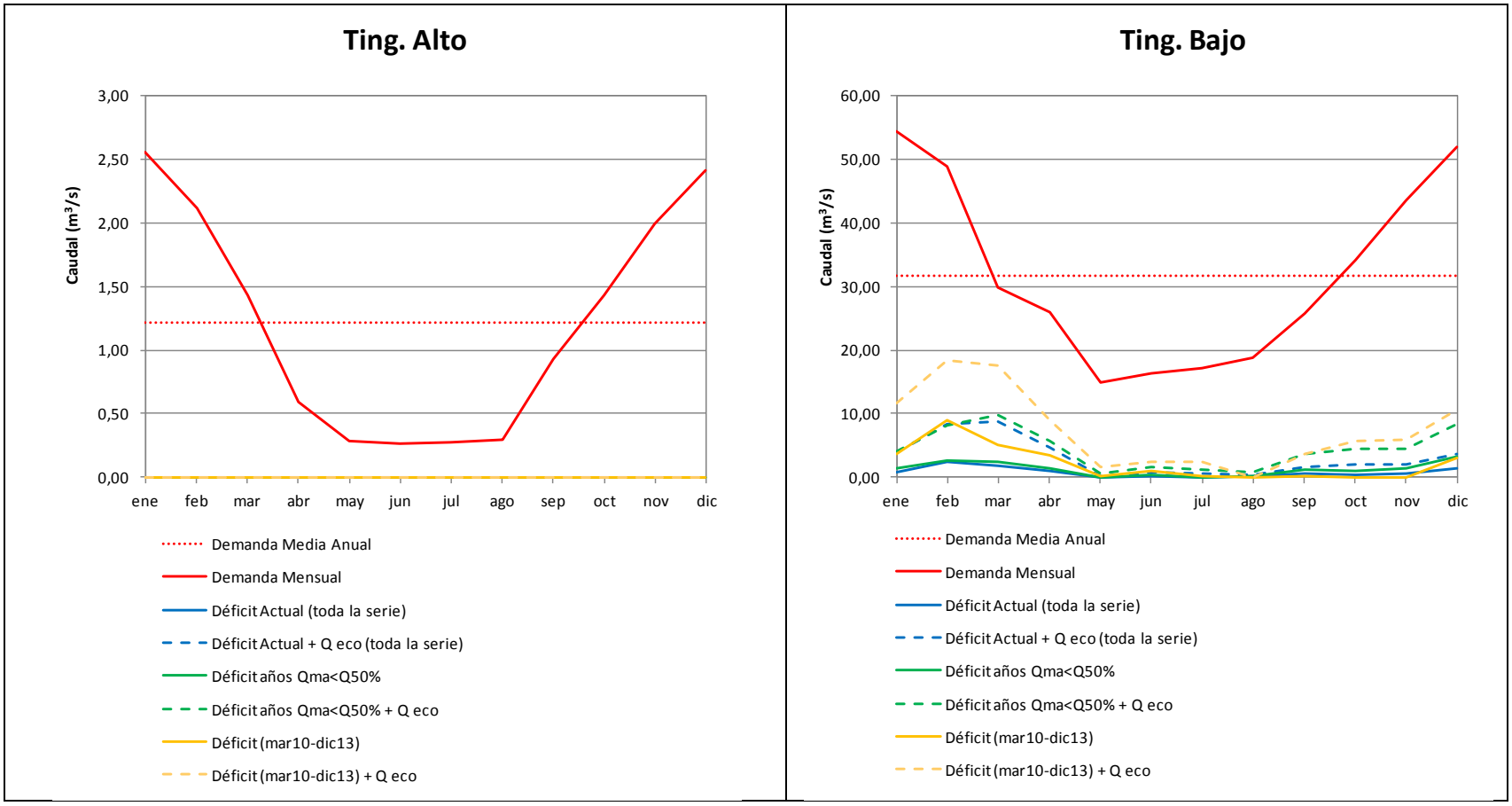
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-22: Déficit hídrico Subcuencas Río Aconcagua (m^3/s) (Continuación)



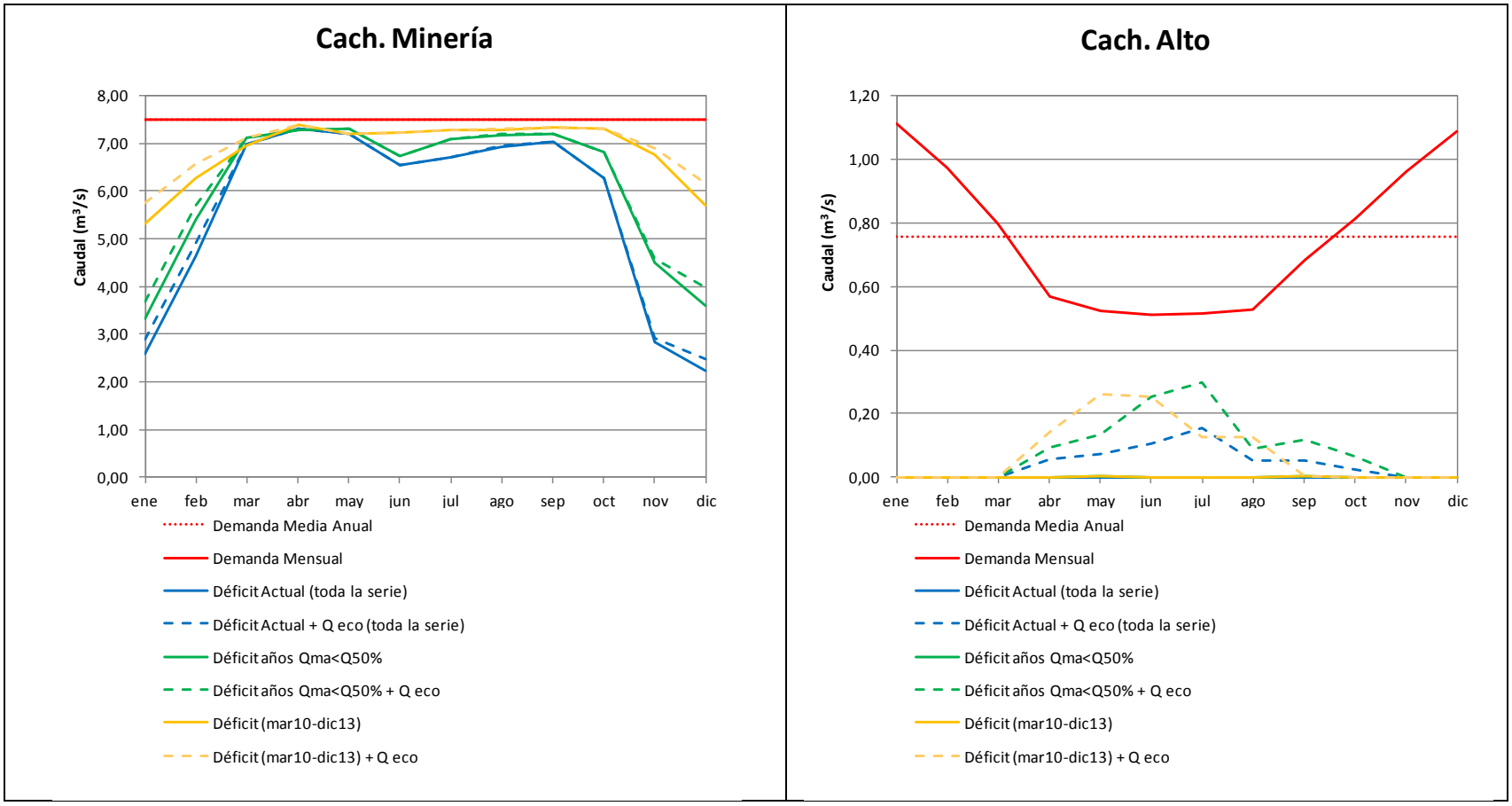
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-23: Déficit hídrico Subcuencas Río Rapel (m^3/s)



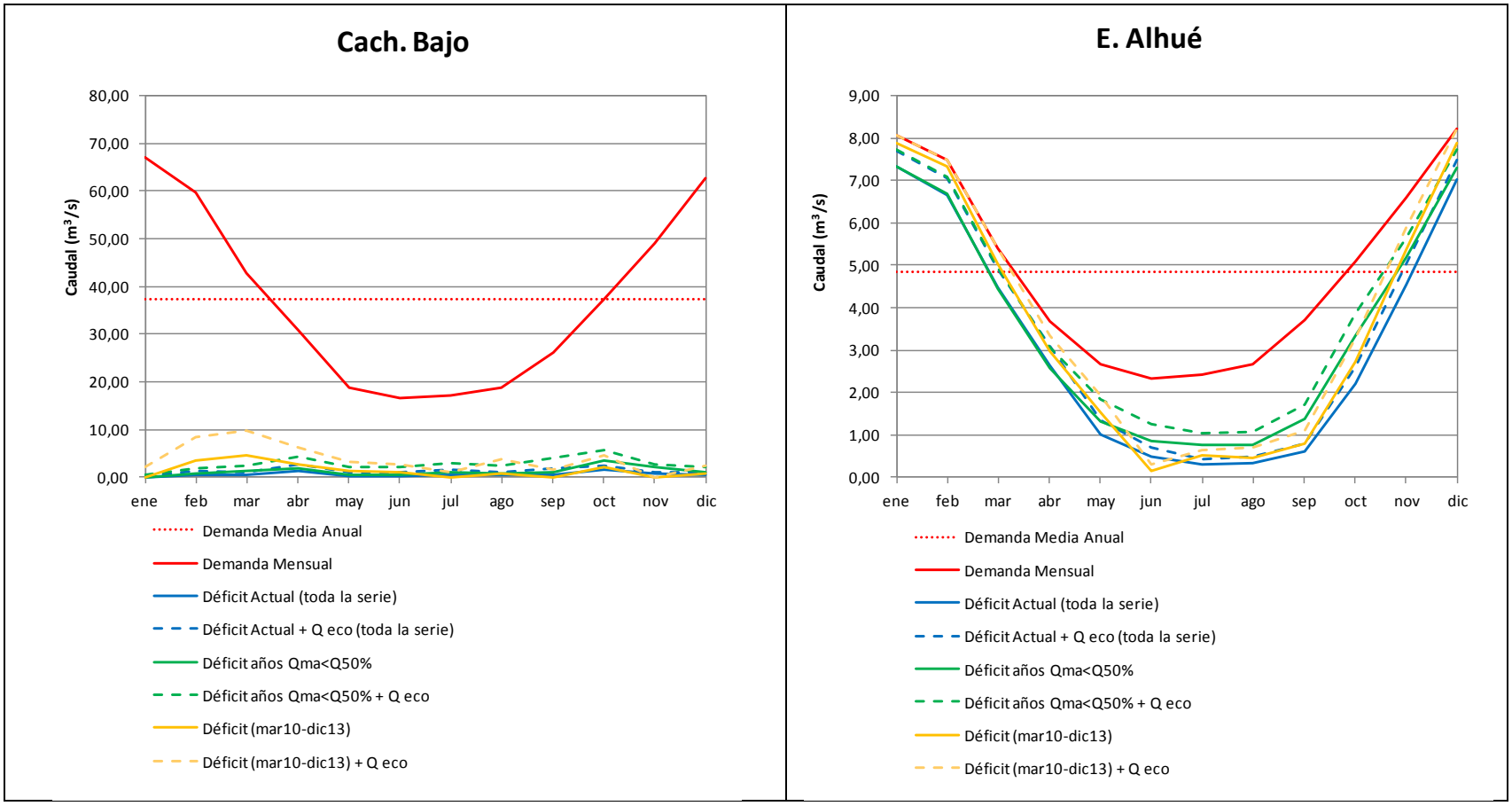
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-23: Déficit hídrico Subcuencas Río Rapel (m^3/s) (Continuación)



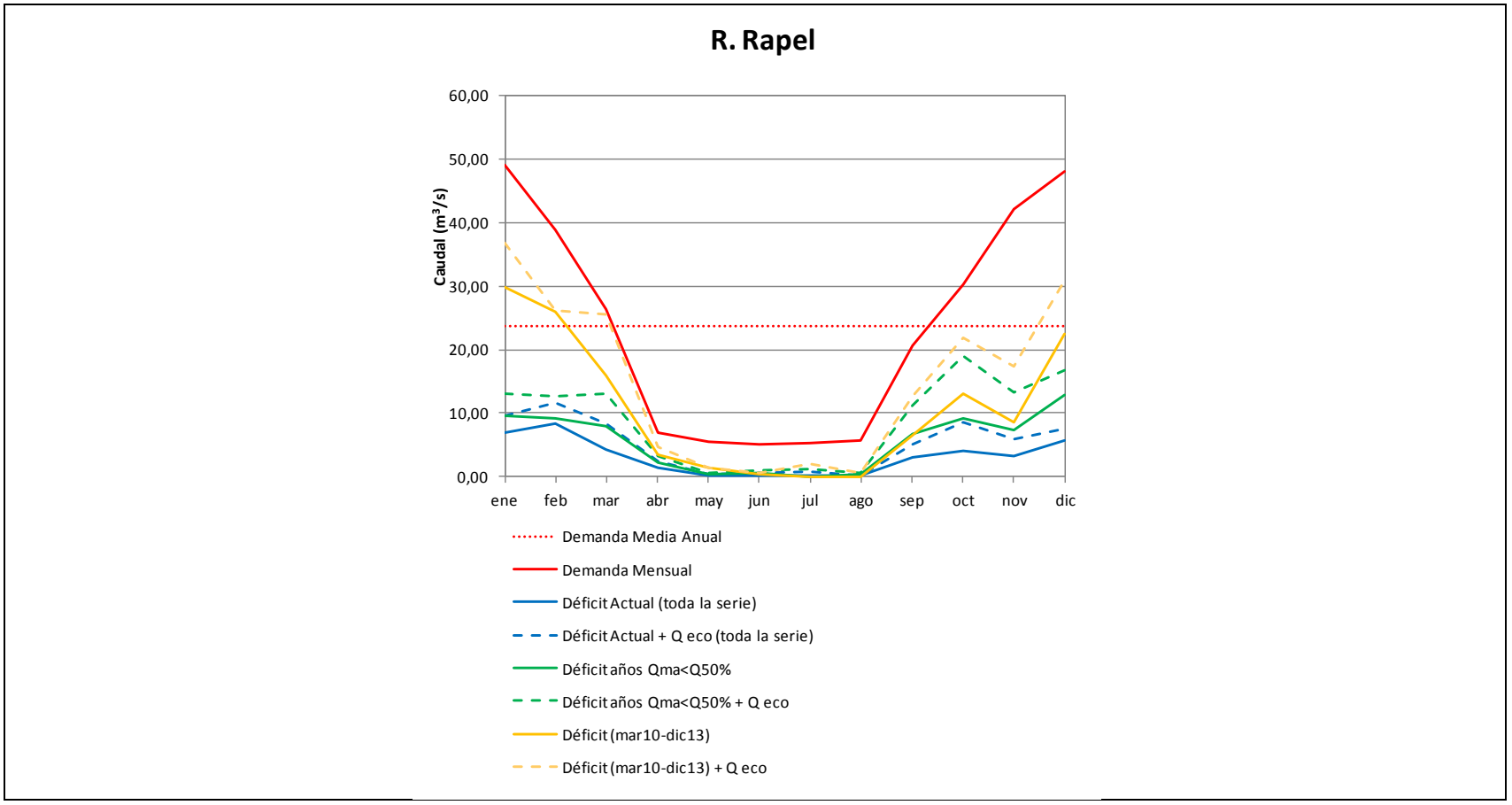
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-23: Déficit hídrico Subcuencas Río Rapel (m^3/s) (Continuación)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-23: Déficit hídrico Subcuencas Río Rapel (m^3/s) (Continuación)



Fuente: Elaboración Propia

7.3 DISCUSIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para el análisis de los resultados del modelo de simulación de caudales se deben considerar los supuestos presentados en el resumen ejecutivo.

Con estas consideraciones, se cuenta con un modelo de simulación de caudales que responde favorablemente a los objetivos planteados por el estudio, permitiendo entender los efectos de definir caudales ecológicos en el sistema.

De esta manera, a partir del modelo se infiere que para las cuencas con menor oferta hídrica (Limarí) o mayor oferta hídrica (Rapel), los efectos en la satisfacción de demanda son menores que en una cuenca en una situación intermedia (Aconcagua). Además, permite acotar la discusión más allá del comportamiento histórico de los sistemas, a aquellos periodos de escasez hídrica, que es donde el efecto de la inclusión del caudal ecológico se torna más crítico.

8 VALORIZACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se analiza el impacto económico que tendría aplicar caudal ecológico a los derechos en las cuencas en estudio.

En un primer análisis se estimó el precio del agua en base a las transacciones de derechos, para lo cual se revisó la información del Conservador de Bienes Raíces (CBR), disponible en el portal web de la DGA. En dicha planilla se tiene registro de las compraventa realizadas en la región respectiva, con datos sobre la naturaleza del agua, caudal asociado, unidad del caudal, valor de la compraventa, CBR dónde se realizó el trámite, entre otros.

Para determinar el precio del agua, se analizaron las transacciones que sólo consideraban compraventa de derechos de agua y no involucraban otros bienes tales como propiedad o predio. Los precios de las transacciones fueron recalculados en UF, de acuerdo al año en que se realizó la compraventa, para así poder estimar aproximadamente el precio del litro de agua (se considera que una acción equivale a 1 L/s). Cabe señalar que en algunos casos no hay mayor información registrada por lo que no se tiene certeza si el monto que se muestra en la planilla incluye o no algún otro bien, además en muchas transacciones registradas el monto no resulta del todo confiable, además de la información de la unidad monetario usada, por lo que muchos de estos registros se eliminaron para hacer este análisis. Misma situación ocurre con los derechos de tipo no consuntivo, donde generalmente el monto de transacción resultaba ser mucho mayor, por lo que no se consideraron para efectos del presente análisis.

Por otra parte, a modo de complementar el análisis, se revisaron estudios anteriores que contenían información sobre mercados del agua en las cuencas en estudio.

Por último, se incluye un análisis en donde se cuantificó cómo la disminución de oferta hídrica estimada afecta a las actividades productivas de las cuencas en estudio, definidas a través de su vocación productiva.

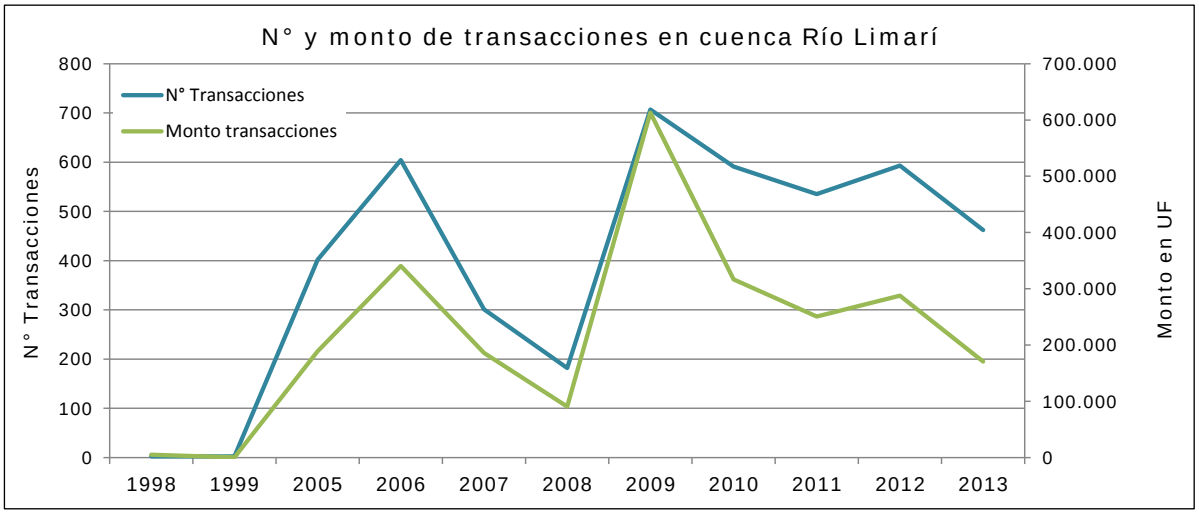
Para el caso de la superficie de riego, se estimó el valor promedio de hectáreas que deja de regarse por el hecho de aplicar caudal ecológico en los 3 escenarios de simulación, considerando toda la serie, caudal menor al 50% de probabilidad de excedencia y para un periodo de estiaje definido en función de los datos observados. Para la actividad minera se estimó el déficit de agua en las zonas donde se emplazan las faenas de CODELCO.

8.1 EVALUACIÓN DEL PRECIO DEL AGUA

En la *Cuenca del Río Limarí* se tiene registro de transacciones a partir del año 1998. En el gráfico de la Figura 8-1 se muestra el monto total en UF y el número de compraventas realizadas en la cuenca, de acuerdo a la información revisada y depurada de las transacciones registradas en el CBR. Se puede ver que entre el año 2007 y 2008 se genera una baja en la cantidad de transacciones realizadas y monto total transferido, generándose un gran aumento hacia el año 2009. Posterior a este año se observa una leve disminución, reflejada principalmente en el monto total.

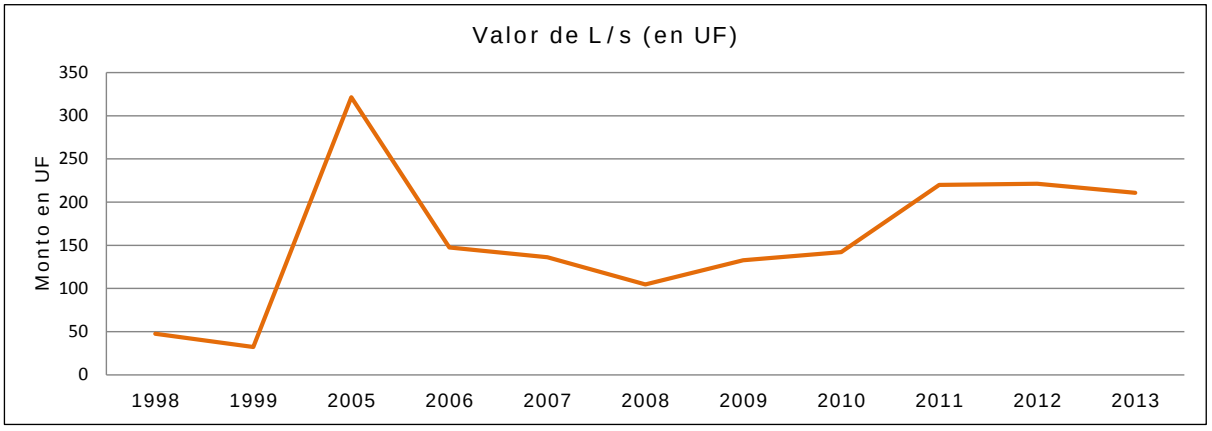
En la Figura 8-2 se muestra el valor del L/s por año. Se observa que en el año 2005 hay un valor aproximado de 300 UF el L/s, mientras que entre los años 2006 a 2010 el monto se mantiene entre las 100 a 150 UF. A partir del año 2011 el valor supera las 200 UF.

Figura 8-1: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Limarí



Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

Figura 8-2: Valor del agua (UF/L/s) en cuenca Río Limarí



Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

Por otra parte, a modo de complementar lo mostrado, de acuerdo a la estimación realizada en el estudio "Estimación del Precio de Mercado y Precio Social de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas" (EMG Consultores, 2011) se obtienen los valores de precio de mercado para la cuenca del Río Limarí presentados en la Tabla 8-1.

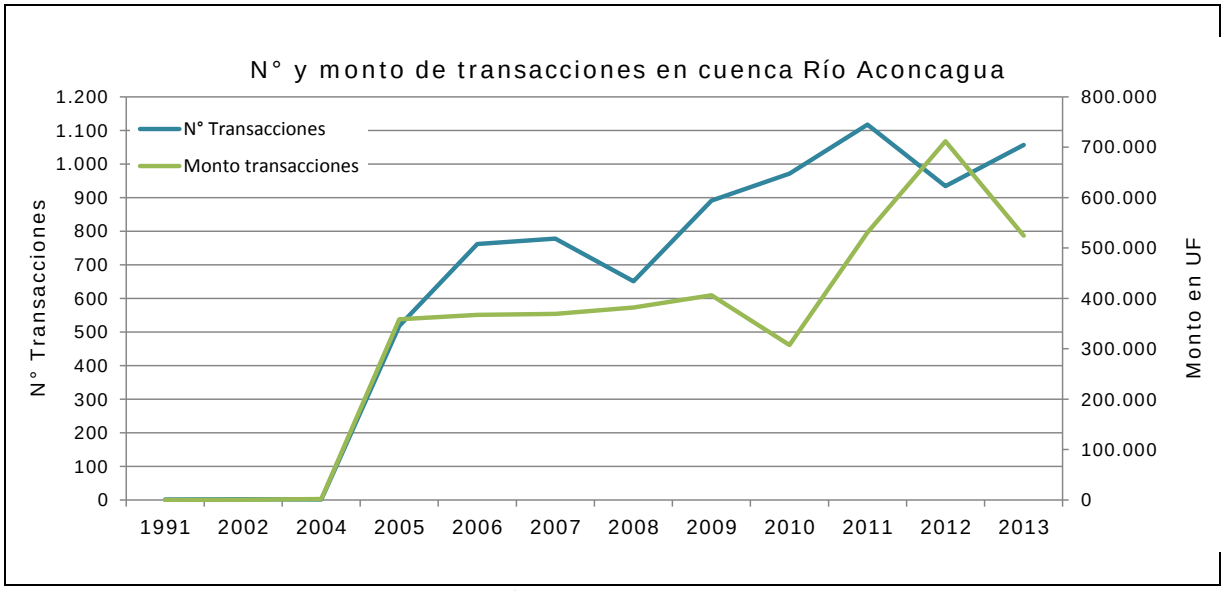
Tabla 8-1. Precio de mercado de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Limarí (UF/L/s)

Mercado	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Río Limarí	76	112	127	93	117	105
Embalse Recoleta	383	597	633	617	548	556
Embalse Cogotí	522	585	610	661	589	593

Fuente: EMG Consultores (2011)

Para el caso de la *Cuenca del Río Aconcagua,* de acuerdo a la información del CBR, se registran transacciones desde el año 1991 para aguas superficiales. En la Figura 8-3 se muestra el monto total en UF de las transacciones realizadas en la cuenca. Se observa que a partir del año 2004 se genera un aumento, estabilizándose entre los años 2005 a 2009. En el año 2010 se presenta una caída en relación al monto, mientras que la cantidad de compraventas se mantiene al alza hasta el año 2011. El año 2012 hay un máximo en el monto transferido, lo que no se ve reflejado en el número de transacciones, que sufre una leve caída.

Figura 8-3: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Aconcagua



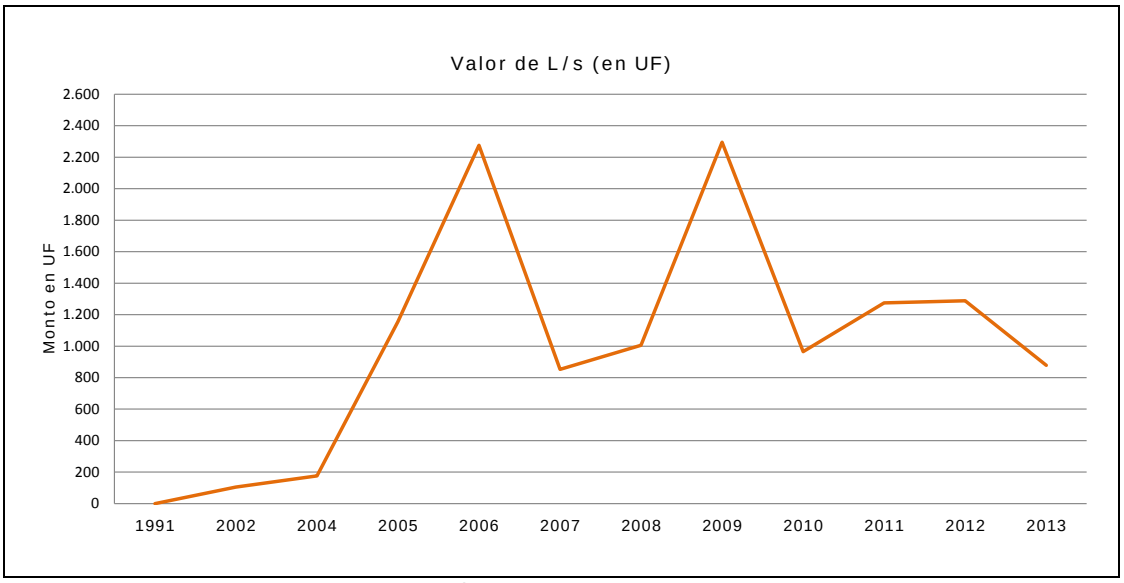
Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

En relación al precio del L/s en esta cuenca, en la Figura 8-4 se muestra un gráfico con la evolución del valor del agua (UF/L/s). Como se observa, hacia el año 2005 se observa un aumento en el precio del agua, el cual disminuye en el año 2007. Hacia el año 2009 se genera nuevamente un máximo en el monto. De acuerdo a este análisis, el valor del L/s ha tenido un valor de más de 2.200 UF, y entre el año 2010 al 2013 este valor ha disminuido a menos 1.100 UF.

Adicionalmente, para la cuenca del río Aconcagua se contó con información de los estudios "Estimación del precio de mercado y precio social de derechos de aprovechamiento de aguas" realizado por EMG Consultores para la Subsecretaría de Agricultura en julio de 2011 y "Análisis del mercado del agua de riego en Chile: Una revisión crítica a través del caso de la región de Valparaíso" realizado por el departamento de Economía Agraria de la Pontificia Universidad Católica de Chile para la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) en 2010. En el primero se estimó el precio de mercado en UF/L/s en el río Aconcagua y río Putaendo y en el segundo para la primera, segunda y tercera sección del río Aconcagua y para la sección comprendida por el río Putaendo. En la Tabla 8-2 se muestran los resultados

del estudio de EMG Consultores, pudiendo observarse que el valor del L/s en esta cuenca es del orden de las 50 UF.

Figura 8-4: Valor del agua (UF/L/s) en cuenca Río Aconcagua



Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

Tabla 8-2. Precio de mercado (UF/L/s) de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Aconcagua por año

Mercado	2004	2005	2006	2007	2008	Promedio
Río Aconcagua	43	47	53	43	48	47
Río Putaendo	42	51	44	61	60	51

Fuente: EMG Consultores (2011)

En la Tabla 8-3 se muestran los resultados del estudio de la ODEPA, donde se muestran tres estimadores ampliamente utilizados para cada uno de los mercados: media, mediana y media ponderada. En el estudio se indica que la media es un estimador poco robusto, debido a su alta sensibilidad a variaciones en la muestra o distribución de los datos. La mediana y la media ponderada por caudal son estimadores de mayor robustez que la media, ya que presentan menores variaciones ante cambios en los datos. De esta forma, se considera que el valor del recurso para cada mercado debe estar entre la mediana y la media ponderada. De esta forma, el valor del recurso para la Sección Putaendo, el valor del recurso oscilaría entre los 60 UF/L/s y los 82 UF/L/s; para la Primera Sección, el valor del recurso oscilaría entre los 192 UF/L/s y los 278 UF/L/s; para la Segunda Sección, el valor del recurso se encontraría entre los 19 UF/L/s y los 120 UF/L/s; y para la Tercera Sección, el valor del recurso oscilaría entre los 20 UF/L/s y los 42 UF/L/s.

Tabla 8-3. Precio de mercado (UF/L/s) de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del río Aconcagua (resumen de estadígrafos)

Mercado	Media	Mediana	Media ponderada
Sección Putaendo	110	60	82
Primera Sección	1.099	278	192
Segunda Sección	1.065	120	19
Tercera Sección	102	20	42

Fuente: ODEPA (2010)

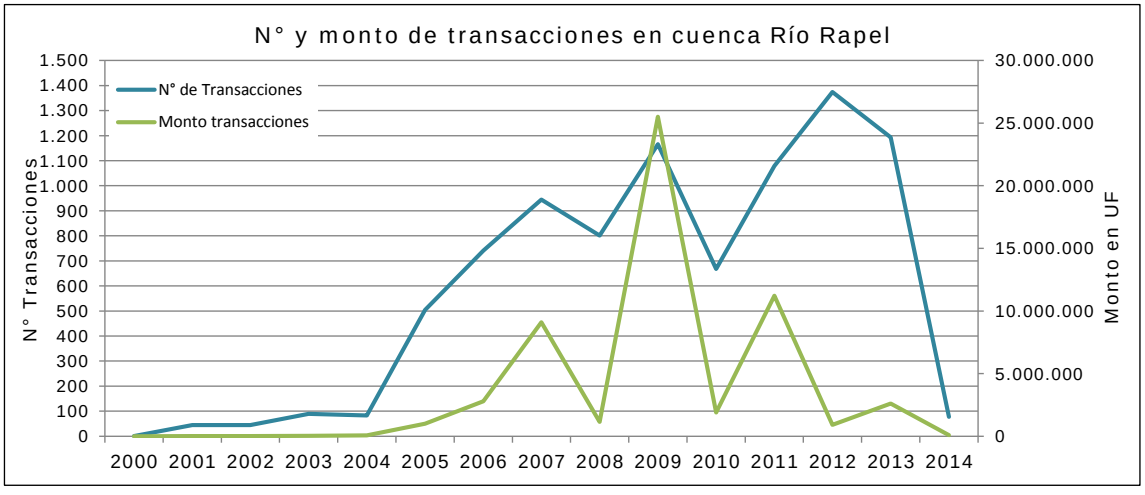
Al comparar los valores entre los estudios se observa que en el caso del río Putaendo, los valores son similares, sin embargo para el caso de Aconcagua se observa una variabilidad mayor por lo que al valorizar el agua deben considerarse las situaciones particulares de cada compraventa en especial para derechos en la 1ª sección de riego del río Aconcagua (ya que presenta los valores más altos) y un buen estimador es entregar un rango tomando un escenario más bien conservador.

En relación a los valores obtenidos en base a información del CBR, se observan diferencias altas entre los montos de L/s, lo que podría explicarse por valores errados en los montos de transacciones registrados en la planilla.

Para el caso de la *Cuenca del río Rapel*, se tiene registro de transacciones de derechos superficiales a partir del año 1982. En la Figura 8-5 se muestra el total de transacciones por año y los respectivos montos involucrados. El gráfico refleja la situación a partir del año 2000, dado que en el periodo anterior, se registró un promedio de 4,5 transacciones al año, por lo que no se podía representar en el gráfico.

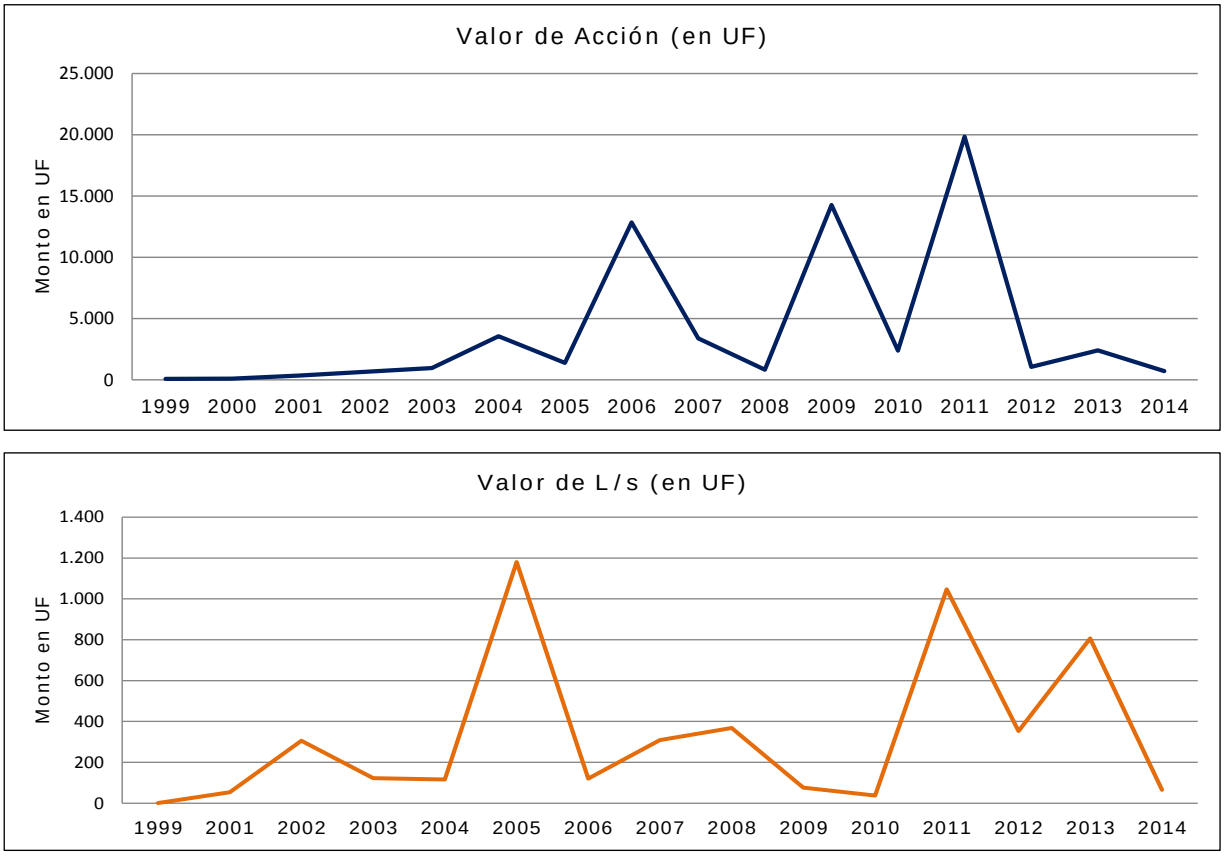
Con respecto al valor del litro de agua, para esta cuenca se hizo el análisis para la unidad de L/s y de acciones, dada la gran cantidad de derechos que se registran en unidad de acción. En los gráficos de la Figura 8-6 se muestra el precio del agua por unidad de caudal para un mismo periodo de análisis. Se observa que el valor de la acción ha alcanzado el valor de 20.000 UF, en el año 2011, mientras que L/s alcanzó las 1.200 UF en el año 2005.

Figura 8-5: Monto y transacciones de derechos superficiales en cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

Figura 8-6: Valor del agua (UF/L/s y UF/Acción) en cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR

Del análisis de la evaluación del precio del agua presentada en esta sección se desprende que éste tiene una alta variabilidad interregional y es dependiente de la metodología, supuestos y períodos considerados para su estimación. Cabe señalar que los análisis presentado en este estudio está orientado en la evaluación hidrológica e hídrica de los impactos de implementar una normativa que establezca caudales ecológicos retroactivos, y por tanto el análisis económico es meramente referencial, y una evaluación precisa y detallada deberá considerar los aspectos particulares que se involucran. El análisis presentado en esta sección no considera externalidades significativas en los usos productivos de los recursos, disponibilidad de recurso, ni otros aspectos económicos que influirían en esta estimación.

En la Tabla 8-4 se presenta una evaluación del impacto económico en aquellos derechos afectados por el aumento de la demanda ecológica, basado en la evaluación hídrica del impacto y la valorización económica del agua presentada en esta sección y en las referencias mencionadas. Estas referencias, ODEPA (2010) y EMG Consultores (2011), no presentan un análisis para la cuenca del río Rapel; es por esto que para este análisis se consideró para Rapel un valor del agua igual al promedio entre el valor estimado por cada una en la cuenca del Aconcagua. Se observa que la evaluación económica del impacto de establecer caudales ecológicos mínimos retroactivos tiene una alta variabilidad, por lo que

su estimación precisa requiere de una evaluación no sólo económica sino que también social debido al bien considerado.

Tabla 8-4. Precio total estimado relacionado al déficit hídrico por cuenca

Cuenca	Precio del agua UF/L/s	Período	Fuente	Escenario análisis	Impacto		
					m^3/s	$UF*10^{-3}$	MM[1]$
Limarí	182	2005-2013	GeoH	Serie histórica	0,9	164	4.095
				Mar-10 a Dic-13	0,9	164	4.095
	418	2005-2009	EMG	Serie histórica	0,9	376	9.405
				Mar-10 a Dic-13	0,9	376	9.405
Aconcagua	1.217	2004-2013	GeoH	Serie histórica	2,63	3.201	80.018
				Mar-10 a Dic-13	5,51	6.706	167.642
	49	2004-2008	EMG	Serie histórica	2,63	129	3.222
				Mar-10 a Dic-13	5,51	270	6.750
	84	1999-2009	ODEPA	Serie histórica	2,63	221	5.523
				Mar-10 a Dic-13	5,51	463	11.571
Rapel	350	1999-2013	GeoH	Serie histórica	5,41	1.894	47.338
				Mar-10 a Dic-13	12,65	4.428	110.688
	70	-	GeoH (EMG/ ODEPA)	Serie histórica	5,41	379	9.468
				Mar-10 a Dic-13	12,65	886	22.138

Fuente: Elaboración Propia en base a registros en CBR (2014), ODEPA (2010), EMG Consultores (2011)

8.2 EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

En este capítulo se analiza el impacto económico en las actividades productivas con mayor presencia en el área de estudio, principalmente actividad agrícola y minera, a través de la estimación de pérdidas en producción de cultivos y en producción de cobre.

La estimación de las pérdidas consideró los tres escenarios de déficit hídrico descritos en el capítulo 7:

- efecto en toda la serie modelada;
- efecto sólo en aquellos años en que el caudal medio anual (Q_{ma}) es menor que el caudal de 50% de excedencia en cada subcuenca;
- efecto en un periodo particularmente seco, donde se analizó entre marzo de 2010 a diciembre de 2013, para las cuencas del río Aconcagua y Rapel, y para la cuenca

[1] Asumiendo un valor de la UF igual a $25.000 (CLP). Julio de 2015

del río Limarí se consideró también el año 2014 solamente en el análisis en el periodo seco.

En todos los escenarios considerados, se presenta un déficit hídrico, y la aplicación del caudal ecológico tienen distintas implicancias para cada escenario.

8.2.1 Actividad Agrícola

En la Tabla 8-5, Tabla 8-6 y Tabla 8-7 se presenta la estimación de la superficie que dejaría de regarse si se aplica caudal ecológico a los derechos de aprovechamiento, considerando los tres periodos de análisis, para cada cuenca.

Se observa en la *Cuenca del río Limarí* que, en periodo de sequía, se dejan de regar 23.115 ha, las que aumentan en un 14% si se aplica caudal ecológico, llegando a un déficit de 26.286 ha. Estos valores se consideran razonables acorde a lo indicado con las reuniones con juntas de vigilancia realizadas, donde se comentó que para el año 2014 tienen un déficit hídrico que puede alcanzar las 20.000 ha.

El déficit en situación base, es decir sin la aplicación de un caudal ecológico, implica una pérdida en hectáreas de riego que fluctúa entre un 21% para el déficit actual (toda la serie), a un 45% en periodo de sequía, este es con respecto a la superficie total destinada a riego en la cuenca (51.926 ha), mientras que en el supuesto de aplicación de caudal ecológico, estas pérdidas aumentan entre 25% en situación de déficit actual a 51% en periodo de sequía.

En la *Cuenca del río Aconcagua,* el déficit alcanza cerca de las 20.000 ha, lo que aumenta en un 84% si se aplica el caudal ecológico, para el periodo de sequía.

Las pérdidas en relación a la superficie total de riego de la cuenca fluctúan entre un 11% a 32%, sin caudal ecológico, para el escenario que considera la serie completa y en el escenario de sequía, respectivamente. Al aplicar el caudal ecológico a los derechos, las pérdidas aumenten entre un 24% a 58%.

Por último, en la *Cuenca del río Rapel*, se observa que en el periodo de sequía las pérdidas en hectáreas regadas ascienden a 23.569 ha, y la aplicación del caudal ecológico incrementa estas en más del 100%, llegando a 50.226 ha de déficit.

En esta zona las superficies de riego disminuyen entre un 5% a un 10% respecto al área total de riego de Rapel, y al aplicar el caudal ecológico, estas disminuciones aumentan entre un 10% a 21%.

En síntesis, considerando toda la serie analizada, la aplicación del caudal ecológico implica disminuciones en las superficies de riego de aproximadamente un 25% en las cuencas del río Limarí y río Aconcagua, mientras que en la cuenca del río Rapel, la disminución de las superficies de riego es de un 10%. En un periodo de sequía, el impacto de aplicar caudal ecológico es mayor sobre las superficies de riego, siendo del orden de un 54% la disminución de hectáreas en Limarí y Aconcagua, y de un 21% en Rapel.

Tabla 8-5. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Limarí

Subcuenca	Total ha riego	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años $Q_{ma}<Q_{50\%}$				Déficit (mar10-dic13)			
		Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.	Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.	Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.
Río Grande Alto	3.051	105	182	77	2,5%	165	291	127	4,2%	344	618	273	9,0%
Río Grande Medio	2.935	325	382	56	1,9%	524	620	96	3,3%	936	1.167	231	7,9%
Río Grande Bajo	2.628	56	106	50	1,9%	138	257	118	4,5%	822	1.009	187	7,1%
Río Limarí	29.399	6.160	8.257	2.097	7,1%	7.827	10.339	2.511	8,5%	14.826	17.147	2.321	7,9%
Río Hurtado	3.650	215	274	59	1,6%	514	605	91	2,5%	944	1.081	138	3,8%
Río Huatulame	10.263	3.867	4.021	154	1,5%	3.770	3.850	80	0,8%	5.242	5.264	22	0,2%
Total	51.926	10.729	13.222	2.493	23,2%	12.938	15.961	3.023	23,4%	23.115	26.286	3.171	13,7%

Tabla 8-6. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Aconcagua

Sección	Total ha riego	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años Qma<$Q_{50\%}$				Déficit (Mar10-Dic13)			
		Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.	Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.	Sin Q_{ec}	Con Q_{ec}	Dif.	% Dif.
Primera	12.615	72	1.731	1.659	13,2%	108	3.598	3.490	27,7%	258	4.928	4.670	37,0%
Segunda	15.233	411	2.378	1.967	12,9%	951	5.175	4.223	27,7%	1.608	8.799	7.191	47,2%
Tercera	16.231	3.145	5.778	2.632	16,2%	6.831	9.955	3.123	19,2%	10.657	13.151	2.495	15,4%
Cuarta	8.396	2.117	3.195	1.079	12,8%	3.920	4.769	849	10,1%	5.549	5.761	212	2,5%
Putaendo	9.808	1.195	2.085	890	9,1%	1.886	3.258	1.372	14,0%	1.596	3.569	1.973	20,1%
Total	62.283	6.940	15.167	8.227	118,6%	13.696	26.754	13.058	95,3%	19.667	36.208	16.541	84,1%

Tabla 8-7. Estimación de superficie de riego que deja de regarse al aplicar caudal ecológico en la cuenca del río Rapel

Subcuenca	Total ha riego	Déficit actual (toda la serie)				Déficit años Qma<Q50%				Déficit (mar10-dic13)			
		Sin Qec	Con Qec	Dif.	% Dif.	Sin Qec	Con Qec	Dif.	% Dif.	Sin Qec	Con Qec	Dif.	% Dif.
Cachapoal Bajo	107.781	2.054	5.218	3.164	2,9%	4.228	10.715	6.487	6,0%	4.668	13.457	8.789	8,2%
Cachapoal Alto	681	0	40	40	5,9%	1	81	80	11,8%	1	73	73	10,7%
Río Rapel	17.460	2.010	3.561	1.551	8,9%	3.635	6.089	2.454	14,1%	6.243	9.535	3.292	18,9%
Estero Alhué	12.340	6.618	7.558	940	7,6%	7.853	9.175	1.322	10,7%	7.584	8.474	890	7,2%
Tinguiririca Alto	12.291	0	0	0	0,0%	28	28	0	0,0%	28	28	0	0,0%
Tinguiririca Bajo	87.109	1.863	7.770	5.907	6,8%	3.021	11.449	8.428	9,7%	5.045	18.658	13.613	15,6%
Total	237.663	12.545	24.148	11.603	92,5%	18.765	37.537	18.772	100,0%	23.569	50.226	26.656	113,1%

La disminución de hectáreas de riego implica que disminuya la producción agrícola. Para determinar dicho efecto, producto de la inclusión del caudal ecológico, se estimó el impacto equivalente a las unidades de cultivo que se dejarían de producir. Para efectos de este análisis, se usó la información de valores promedio de producción por especie de los distintos Catastros Frutícolas de cada región (CIREN), estadísticas de la ODEPA y del INIA.

En la cuenca del río Limarí los cultivos más representativos son los frutales, equivalentes a un 36% de la superficie total regada, seguido de la vid pisquera, con 18% de la superficie y las praderas (plantas forrajeras), equivalentes a un 16%.

En la cuenca del río Aconcagua aproximadamente el 61% de la superficie de riego se destina a frutales, principalmente paltos, uva de mesa y nogales, mientras que un 13% se destina al cultivo de hortalizas.

En cuanto a la cuenca del río Rapel, los frutales ocupan aproximadamente el 28% de la superficie regada, el rubro forestal abarca el 26% mientras que los cereales el 19%.

Considerando los porcentajes de superficie de las especies más representativas, se distribuyó el área que se deja de regar producto de la aplicación del caudal ecológico, considerando el peor escenario, es decir el periodo de sequía, obteniendo así las unidades que no se producirían para cada rubro.

En la Tabla 8-8 se muestra el volumen que deja de producirse por especie, con lo que se tiene el impacto en la actividad agrícola, considerando las pérdidas monetarias que implica la baja en la producción.

Tabla 8-8 Volumen que no se produce por especie

Especie	Limarí	Aconcagua	Rapel	Unidad
Mandarino	18.698	-	-	Toneladas
Nogal	1.605	2.647	-	Toneladas
Olivo	4.954	-	-	Toneladas
Palto	7.047	34.736	-	Toneladas
Vid de mesa	8.613	84.061	22.799	Toneladas
Alfalfa	9.641	-	-	Toneladas
Vid pisquera	7.992	-	-	Miles de litros
Tomate	-	48.692	-	Toneladas
Zanahoria	-	14.868	-	Toneladas
Lechuga	-	12.465	-	Toneladas
Ciruelo europeo	-	-	11.992	Toneladas
Duraznero tipo conservero	-	-	14.287	Toneladas
Manzano rojo	-	-	20.573	Toneladas
Trigo	-	-	45.582	qqm
Maíz	-	-	4.114	qqm
Vino	-	-	26.550	Miles de litros

Fuente: Elaboración Propia

La disminución de producción implica una baja en el ingreso monetario de los agricultores. Para cuantificar estás pérdidas se estimó el impacto por concepto de exportación, para lo cual se usó la información del porcentaje de producción frutícola que se exporta, y las estadísticas de monto de exportación de la ODEPA. Las pérdidas monetarias se muestran en la Tabla 8-9. Con estos datos se tiene una aproximación del impacto económico al aplicar

el caudal ecológico. Además se debe considerar las pérdidas por concepto de venta en el mercado nacional, y los demás rubros que no se analizaron en este apartado.

Tabla 8-9 Pérdidas monetarias por concepto de exportación

Especie	Limarí	Aconcagua	Rapel
	Millones de dólares (FOB)	Millones de dólares (FOB)	Millones de dólares (FOB)
Mandarino	14		
Nogal		16	
Palto	9	34	
Vid de mesa	15	120	38
Ciruelo europeo			2
Manzano rojo			14
Total	38	171	54

Fuente: Elaboración Propia

8.2.2 Actividad Minera

En la cuenca del río Limarí no hay faenas mineras por lo que el análisis se enfoca en las cuencas de los ríos Aconcagua y Rapel, en donde se encuentran operando Andina y El Teniente respectivamente, ambas de CODELCO.

La fuente de información para realizar este análisis corresponde a las estadísticas de "Consumo de agua de la Minería del Cobre al año 2014" de COCHILCO, la cual entrega información de consumo de agua por región y productividad

De acuerdo a las estadísticas de COCHILCO, la extracción de agua para minería asciende a 1,4 m^3/s y a 1,6 m^3/s respectivamente.

De acuerdo a los resultados del modelo de simulación, en relación al déficit hídrico para minería en Aconcagua, se observa que no hay déficit de agua en la situación base, es decir, situación sin caudal ecológico. Al aplicar el caudal ecológico, el déficit aumenta, llegando a 0,37 m^3/s en un periodo de sequía.

Para la cuenca del río Rapel se realizó el análisis en la subcuenca Cachapoal Alto, que es donde se encuentran los derechos de agua de CODELCO División Teniente. El déficit hídrico se estimó considerando dos escenarios:

- uso por parte de CODELCO de todos sus derechos consuntivos, lo que asciende a un caudal de 7,5 m^3/s (a).
- uso de acuerdo a lo informado por COCHILCO, es decir, el caudal demandado para minería es 1,6 m^3/s (b).

El déficit de agua en esta cuenca asciende a 6,8 m^3/s en el escenario a, el cual aumenta a 7 m^3/s considerando la aplicación de caudal ecológico. En el segundo escenario la aplicación de caudal ecológico no tiene mayor impacto en la disponibilidad de agua para minería, y es del orden de 0,06 m^3/s.

Tabla 8-10 Déficit de agua para uso minero (m^3/s)

Sector	Toda la serie			Q<50%			mar10-dic13		
	Sin Q eco	Con Q eco	Dif.	Sin Q eco	Con Q eco	Dif.	Sin Q eco	Con Q eco	Dif.
Aconcagua	0,01	0,12	0,10	0,02	0,22	0,19	0,06	0,37	0,31
Rapel a	5,60	5,68	0,08	6,12	6,22	0,10	6,83	6,96	0,13
Rapel b	0,77	0,79	0,02	-	-	-	1,07	1,13	0,06

Fuente: Elaboración Propia

Para estimar el impacto en la producción de cobre que generaría la inclusión del caudal ecológico, se consideraron los datos de producción de tonelada de mineral del año 2014, de acuerdo a las estadísticas de COCHILCO. Con la información de producción y el consumo de agua total del año 2014, se estima que el consumo unitario de agua para producir una tonelada de cobre es de 0,006 m^3/s en la faena de Andina, mientras que en El Teniente el consumo unitario asciende a 0,004 m^3/s.

Por lo tanto, considerando el déficit de agua en el periodo de sequía con aplicación de caudal ecológico, se tiene la pérdida en producción de toneladas, de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 8-11.

Tabla 8-11 Pérdidas en producción para CODELCO División Andina y El Teniente

Sector	Déficit Con Qeco (m^3/s)	Toneladas	% Producción anual	US$ Millones
Aconcagua	0,31	53.593	23%	365
Rapel a	0,13	37.064	8%	252
Rapel b	0,06	17.106	4%	116

Fuente: Elaboración Propia

8.2.3 Servicio Sanitario

Dado que en la cuenca del río Aconcagua es donde se presentan los mayores déficits hídricos, el impacto de aplicar caudal ecológico al sistema sanitario se evalúa en esta cuenca.

El abastecimiento de agua potable en las zonas urbanas está a cargo de la compañía Esval. Considerando la producción de las captaciones superficiales de la compañía, y el porcentaje de la demanda de agua potable por sobre la demanda total de la cuenca, se tiene que el déficit hídrico en un periodo de sequía es de 0,8 m^3/s sin caudal ecológico, mientras que al aplicar caudal ecológico este déficit aumenta a 1,4 m^3/s.

Según datos del año 2014, la producción de las captaciones superficiales de Esval fue de 2,3 m^3/s, producción que disminuiría a 1,7 m^3/s considerando la aplicación de caudal ecológico. El consumo de agua potable en el año 2014 correspondió a aproximadamente el 60% de la producción de agua, por lo que si se genera una baja en la producción, el consumo de agua potable bajaría en ese porcentaje aproximadamente.

Para cuantificar este impacto, en este análisis se evalúa la situación en el sistema Gran Valparaíso, que es el que cuenta con mayor población, llegando a una dotación de 179 L/hab/día en el año 2014. Con la inclusión de caudal ecológico en el periodo de sequía, se tiene que la dotación baja a 92 L/hab/día, o bien, manteniendo la dotación diaria, la población abastecida baja en casi 2.000 personas.

9 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Motivado por la discusión que permitiría el establecimiento retroactivo de caudales ecológicos mínimos para todos los derechos de aprovechamiento existentes, este trabajo tuvo por objetivo identificar y evaluar los posibles impactos que generaría esta normativa. Para ello se analizó la situación en las cuencas del río Limarí, río Aconcagua y río Rapel.

Para el desarrollo del estudio se levantó información que permitió conocer la situación de oferta y demanda hídrica en la zona, y con ello se desarrolló un modelo de simulación de caudales superficiales orientado a la evaluación del objetivo planteado.

Una de las principales fuentes de información fue el Catastro Público de Aguas (CPA), lo que permitió tener una aproximación de la presión hídrica sobre las cuencas, los usos y la existencia de caudal ecológico estimado.

De la revisión del CPA se constató que no todos los derechos cuentan con coordenadas ni información de referencia que permitan localizarlos y realizar análisis a nivel de fuente de abastecimiento, con lo que se puede analizar las zonas con mayor presión por concepto de extracción. A pesar de lo anterior, se logró localizar casi el 99% de los derechos a nivel de subcuenca.

Adicionalmente, existe cierta incertidumbre en el análisis del total de derechos y caudal otorgado, dado que, por ejemplo, quedan registradas las transferencias, lo que produce que se registre tanto el titular original como el nuevo titular del derecho, los cambios de punto de captación que no se actualizan, produciendo que también se registren dos derechos, perfeccionamientos, entre otros, por lo que no se tiene claridad si es que se está usando información duplicada.

Con respecto al análisis de caudal otorgado, el principal problema es que se presenta tanto en L/s como en acción, lo que dificulta realizar análisis y sumatorias para determinar las extracciones debido a la variabilidad en la equivalencia entre ambas definiciones.

Como se mencionó en el informe, las reuniones con las Juntas de Vigilancia permitieron conocer el funcionamiento de los sistemas, y además conocer la situación actual en la que se encuentran, bajo una escasez hídrica. Si bien se recabó suficiente información, contar con la dotación por canal resulta incierta, y sólo en algunos casos se tuvo dicho dato. Por esa razón, para los análisis se asumió la dotación 1 acción a 1 L/s.

En cuanto a derechos con caudal ecológico asociado, sólo el 8% del total en las 3 cuencas posee caudal ecológico, debido principalmente a que la mayoría de ellos corresponden a derechos otorgados antes de la década del 90.

Del análisis se constató que para un mismo río hay distintos caudales ecológicos estimados, dada la diferencia de año de otorgamiento, y por ende, distinta metodología aplicada para estimar dicho caudal, principalmente al considerar la variación estacional de los caudales a nivel mensual (DGA,2008). También la convivencia para un mismo tramo de río de derechos otorgados con un establecimiento de caudal ecológico mínimo (en un bajo porcentaje) y otros sin esta restricción, lo que dificulta el cumplimiento y fiscalización de la normativa.

Como resultado, se observa que las consecuencias de establecer un caudal ecológico obligatorio a todos los derechos son diferentes según cada zona y su disponibilidad hídrica.

De la evaluación de los impactos hídricos e hidrológicos, se estima que la cuenca que se vería más afectada sería la del río Aconcagua, mientras que en la cuenca del río Limarí los efectos de la normativa serían menores. En el caso del Limarí el bajo impacto se explica porque en la situación actual la cuenca ya se encuentra en un estado deficitario importante, por lo que la influencia de la normativa en el déficit sería menor; por el contrario, la cuenca del río Rapel se encontraría en una situación hídrica más favorable, con una oferta hídrica disponible para satisfacer gran parte de la demanda, por lo que el impacto también sería moderado. En cambio, para la cuenca del Aconcagua, que es una situación hídrica intermedia entre las anteriores, la inclusión de un caudal ecológico tendría un efecto considerable ya que su situación sería más cercana a un equilibrio entre oferta y demanda, por lo que esta normativa tendería hacia una mayor demanda y por ende a un mayor déficit hídrico.

En síntesis, el establecimiento de un caudal ecológico obligatorio retroactivo empeora la situación de escasez en la zona centro norte del país y tiene impactos determinantes en la zona sur sólo en épocas de crisis. Sin embargo, es necesario integrar al análisis el comportamiento en las cuencas de más al sur, donde se ubican grandes hidroeléctricas.

En este contexto, se considera que el establecimiento de los caudales ecológicos debería ser definido para cada zona en particular como objetivos a perseguir, por ejemplo, dentro de los planes estratégicos de recursos hídricos, considerando su situación histórica, disponibilidad hídrica y vocación productiva, de tal manera de alinear a los servicios públicos y actores privados a cumplir dicho objetivo.

Para analizar los resultados obtenidos, es importante tener en cuenta las limitaciones y supuestos considerados para la construcción del modelo de simulación de caudales:

- La escala del modelo permite análisis regionales desagregados a nivel de subcuenca. Esta escala, si bien permite una buena aproximación y comprensión de los balances hídrico, no favorece para evaluación de comportamientos locales en tramos acotados de ríos y así representar, por ejemplo, condiciones específicas de determinadas juntas de vigilancia (río Rapel y Mostazal en la cuenca del Limarí, 3° sección en la cuenca del Aconcagua, y 2° sección en la cuenca del río Rapel).
- Es un modelo orientado a la evaluación hídrica superficial que no integra la interacción de éste con el sistema subterráneo. Este supuesto es válido a escala regional, pero a medida que se refina la escala de trabajo (más local) el efecto se vuelve más importante.
- Dada la información disponible, se asumen representativos del régimen natural (sin intervención antrópica) los caudales de entrada al modelo dados por las estadísticas de las estaciones fluviométricas, ubicados en las cabeceras de los cauces considerados.
- Para la evaluación del impacto del establecimiento de caudales ecológicos se asumió que en la actualidad éstos no se respetan, lo que es consistente con la operatividad que hoy en día tiene respetar caudales ecológicos en bocatomas donde conviven derechos con y sin caudal ecológico (este supuesto no incluye caudales ecológicos establecidos por el SEA).
- Para la estimación de demandas se consideraron sólo derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, consuntivos y de ejercicio permanente.

Un análisis adicional en este estudio fue la estimación del precio del agua, para lo cual se usó la información del Conservador de Bienes Raíces que se envía mensualmente a la DGA. Con ello se tienen todas las transferencias de derechos de agua registradas, incluyendo el monto de transacción, fuente de abastamiento y el caudal asociado, en la mayoría de los casos. Después de depurar la información, que consideró no incluir las transacciones que involucraran también un bien, unificar el monto dado que vienen en distintas monedas y llevar el valor a UF contemporánea a la transacción, se logró estimar el valor del L/s en cada cuenca.

De este análisis se desprende que la estimación del precio del agua tiene una alta variabilidad interregional y es dependiente de la metodología, supuestos y períodos considerados. El análisis presentado en este estudio está orientado en la evaluación hidrológica e hídrica de los impactos de implementar una normativa que establezca caudales ecológico retroactivos, y por tanto el análisis económico realizado permite tener una aproximación del funcionamiento del mercado del agua, pero una evaluación precisa y detallada deberá considerar los aspecto particulares que se involucran, además de una evaluación social debido al tipo de bien considerado.

Para la cuenca del río Limarí, se estimó un precio del agua entre 200 y 400 UF/L/s, con el análisis presentado en este estudio y el presentado por EMG Consultores (2011). En Aconcagua es donde se obtienen mayor variabilidad en la estimación, con un valor del orden de 1.200 UF/L/s obtenido en este estudio, y entre 50 y 80 UF/L/s por EMG Consultores (2011) y ODEPA (2010), respectivamente. En Rapel el precio del agua estimado es de 350 UF/L/s, y no se cuenta con referencias para comparar este valor. La alta variabilidad de la estimación, provoca por tanto una alta variabilidad en la estimación económica del impacto que tendría establecer la normativa evaluada.

Finalmente, se evaluó el impacto de aplicar caudal ecológico para los usos principales de las cuencas, enfocado en disminución de hectáreas de riego, disminución de capacidad de producción de cobre y efectos en los servicios sanitarios. La disminución de hectáreas equivaldría a pérdidas monetarias para los productores, las cuales fueron estimadas en base a información de producción por las especies más representativas en cada cuenca, y los precios de exportación, considerando que cierto porcentaje se exporta. Cabe destacar en este punto que esta estimación es una aproximación, en base a datos de censos agrícolas y precios publicados por ODEPA, sin conocer en mayor detalle hacia dónde se van los productos. Las pérdidas monetarias (en millones de dólares, MM USD) serían del orden de MM USD38 para la cuenca del río Limarí, MM USD 171 en Aconcagua, y MM USD 54 en Rapel. A este impacto se debe incluir las pérdidas por concepto de venta en el mercado nacional.

En cuanto a la producción minera, las pérdidas en toneladas de cobre se estimaron considerando las extracciones y los datos de producción de toneladas publicadas por COCHILCO. En base a ello, y el precio de transacción del cobre, se estimó la pérdida monetaria. Al igual que en el caso del uso agrícola, esta estimación no incluye un análisis económico profundo, y corresponde a una pérdida puntual, sin considerar la vida útil de los proyectos. Las pérdidas monetarias (en millones de dólares, MM USD) serían del orden de MM USD365 para la cuenca del río Aconcagua, y entre MM USD115 y MM USD250 en la cuenca de Rapel, dependiendo del escenario analizado.

En los servicios sanitarios, se evaluó el impacto en la cuenca del río Aconcagua, dada la información disponible. Para cuantificar este impacto, en este análisis se evaluó la situación

en el sistema Gran Valparaíso, que es el que cuenta con mayor población, llegando a una dotación de 179 L/hab/día en el año 2014. Con la inclusión de caudal ecológico en el periodo de sequía, se tiene que la dotación baja a 92 L/hab/día (menor a lo recomendado por la OMS, que define el acceso óptimo como un promedio de 100 L/hab/día), o bien, manteniendo la dotación diaria, la población abastecida baja en 2.000 persona aproximadamente.

Como comentario final, la evaluación presentada en este estudio aborda el conflicto de manera agregada, a modo de delinear los impactos y consecuencias que generaría el establecer caudales ecológicos mínimos de manera retroactiva en las cuencas analizadas. Por lo mismo, evaluaciones específicas requerirán de un análisis detallado para precisar los impactos reales.

10 BIBLIOGRAFÍA

AC Ingenieros Consultores Ltda., 2007. Levantamiento e información sobre derechos no inscritos susceptibles de regularizar. Cuenca del río Aconcagua

AQUASYS, 2011. Diagnóstico para el desarrollo del riego en la segunda sección del río Claro de Rengo y estero Zamorano.

Aquaterra Ingenieros Ltda., 2009. Actualización y complementación de información de organizaciones de usuarios.

Arthington, A., Pusey, B., Brizga, S., Mccosker, R., Bunn, S. & I. Growns. 1998. Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment techniques: R & D Requirements. LWRRDC Ocassional paper 24/98

Ayala, Cabrera y Asociados, 2001. Plan Director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua.

Ayala, Cabrera y Asociados, 2003. Diagnóstico del riego y drenaje en la VI región.

Ayala, Cabrera y Asociados, 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras.

Caudales ecológicos mínimos y proyectos hidroeléctricos (V Jornadas de Derecho Ambiental, Ponencia Pablo Jaeger, 2010)

CAZALAC; RODHOS ASESORÍAS Y PROYECTOS LTDA, 2006. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua, estudio de caso en la Región de Coquimbo.

CONIC-BF, 2002. Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales, III Etapa.

CONIC-BF, 2013. Diagnóstico Plan Maestro para la gestión de recursos hídricos, Región De Coquimbo.

Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2004. Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua.

Dirección de Planeamiento, 2006. Análisis y valoración de la funcionalidad de la red fluviométrica y asignación de derechos de aprovechamiento. Anexo IV

EMG Consultores, 2011. Estimación del precio de mercado y precio social de derechos de aprovechamiento de aguas.

Endesa Chile, 2011. Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos. Un análisis de las tendencias actuales.

García de Jalón, D. & M. González del Tánago. s/f. El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. Referencia electrónica disponible en: http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/jalon-tanago-1998.pdf. Fecha de consulta: 30-09-2009.

Hidrometría Chile Ltda, 2011. Estudio y análisis de caudales en la segunda sección del Río Aconcagua.

Infraestructura y Ecología S.A, 2011. Actualización Catastro de usuarios/as de aguas de la primera sección de la Cuenca del Río Aconcagua.

Martínez, F. 2002. Preferencias de microhábitat de Barbus bocagei, Chondrostoma polylepis y Leuciscus pyrenaicus en la cuenca del río Tajo. Ecosistemas 11 (1). Referencia electrónica disponible en: http://www.revistaecosistemas.net/index_frame.asp?pagina=http%3A/www. revistaecosistemas.net/articulo.asp%3FId%3D318. Fecha de consulta: 8-10-2009.

Minuta Comisión de Recursos Hídricos Cámara de Diputados: "Carlos Estévez y autoridades de la Dirección General de Aguas exponen sobre caudal ecológico ante la comisión de Recursos Hídricos" (Ojo Con El Parlamento, abril 2014).

MOP, 2012. Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Valparaiso.

MOP, 2012. Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Morales, C., & Rojas, R, 2010. Análisis del Manejo Operacional para escenarios críticos del Embalse La Paloma.

Normativas y Legislación asociada a Caudales Ecológicos en Chile (PPT Jefe de Fiscalización Francisco J. Riestra Miranda, 2011)

Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Economía Agraria, 2010. Análisis del mercado del agua de riego en Chile: Una revisión crítica a través del caso de la región de Valparaíso.

11 ANEXOS

- Archivos recopilados en reuniones con Juntas de Vigilancia (archivos en digital)
- Análisis expedientes digitalizados con Caudal ecológico(archivos en digital)