

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

EVALUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN CUENCAS DE LA IV, V Y VI REGIÓN

INFORME FINAL BORRADOR

REALIZADO POR:

GEOHIDROLOGÍA CONSULTORES LTDA.

50011-1000-GH-INF-001_B

Santiago, Diciembre de 2014

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. Leonardo Bravo
Sr. Cristóbal Vargas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	5
2	CAUDAL ECOLÓGICO	7
2.1	REVISIÓN HISTÓRICA DE METODOLOGÍAS DGA PARA CÁLCULO DE CAUDAL ECOLÓGICO	8
2.2	MODIFICACIÓN AL DECRETO SUPREMO N° 14	11
2.3	DISCUSIÓN DE APLICACIÓN DE DISTINTAS METODOLOGÍAS	14
3	ANÁLISIS DE INCONGRUENCIA	17
4	METODOLOGÍA	18
4.1	ÁREA DE ESTUDIO	18
4.1	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	18
4.2	OFERTA HÍDRICA	19
4.3	DEMANDA HÍDRICA	19
4.4	BALANCE OFERTA-DEMANDA	20
4.5	VALORIZACIÓN ECONÓMICA	21
4.6	EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONOMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	21
5	EVALUACIÓN CUENCA RÍO LIMARÍ	22
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	22
5.2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	24
5.2.1	Estudios Técnicos	24
5.2.2	Información Catastro Público de Aguas	26
5.2.3	Revisión de expedientes con caudal ecológico establecido	26
5.3	OFERTA HÍDRICA	28
5.3.1	Disponibilidad de Información	28
5.3.2	Análisis de caudales medios Limarí	32
5.3.3	Análisis de frecuencia para caudales mensuales	34
5.4	DEMANDA HÍDRICA	37
5.4.1	Análisis de información Catastro Público de Aguas	37
5.4.2	Levantamiento de información de demanda en terreno	41
5.4.3	Demanda hídrica usuarios de Juntas de Vigilancia	46
5.4.4	Estimación demanda de riego	48
5.4.5	Estimación del Caudal Ecológico	51
5.5	BALANCE OFERTA-DEMANDA	54
5.5.1	Modelo Hidrológico	54
5.6	VALORIZACIÓN ECONÓMICA	63
5.7	EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONOMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	64
5.8	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	65
6	EVALUACIÓN CUENCAS RÍOS ACONCAGUA Y RAPEL	67
6.1	CUENCA RÍO ACONCAGUA	67
6.1.1	Recopilación de antecedentes	67
6.1.2	Levantamiento de información de demanda en terreno	71
6.2	CUENCA RÍO RAPEL	72
6.2.1	Recopilación de antecedentes	73
6.2.2	Levantamiento de información de demanda en terreno	74
7	BIBLIOGRAFÍA	78
8	ANEXOS	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación general cuencas de análisis.....	6
Figura 5.1: Diagrama Determinación Caudal Ecológico de acuerdo a modificaciones a Decreto Supremo N° 14	13
Figura 5.1: Cuenca del Río Limarí	23
Figura 5-2: Expedientes con estimación de caudal ecológico	27
Figura 5-3: Estaciones fluviométricas DGA.....	30
Figura 5-4: Disponibilidad de información fluviométrica.....	31
Figura 5-5: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca	33
Figura 5-6: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia.....	34
Figura 5-7: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia (continuación).....	35
Figura 5-8: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia (continuación).....	36
Figura 5-9: Derechos, Solicitudes en trámite y regularizaciones de agua superficial	38
Figura 5-10: Porcentajes de derechos otorgados según magnitud de caudal	39
Figura 5-11: Evolución histórica del caudal otorgado.....	40
Figura 5-12: Evolución histórica del caudal solicitado	40
Figura 5-13: Juntas de Vigilancia Cuenca Río Limarí.....	47
Figura 5-14: Zonas de riego y subcuencas en Limarí.....	50
Figura 5-15: Caudales ecológicos estimados en la cuenca del río Limarí recopilados desde expedientes de solicitud de aprovechamiento, y la metodología presentada el 2014a. ...	53
Figura 5-16: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego.....	55
Figura 5-17: Esquema del modelo hidrológico programado en ExtendSim.....	56
Figura 5-18: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-05.....	58
Figura 5-19: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-15.....	58
Figura 5-20: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-24.....	58
Figura 5-21: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-26.....	59
Figura 5-22: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-29.....	59
Figura 5-23: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-37.....	59
Figura 5-24: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-47.....	60
Figura 5-25: Balance entre oferta y demanda en Bocatmas unificadas.....	61
Figura 5-26: Monto transacciones de derechos superficiales.....	63
Figura 5-27: Valor del agua (UF/L/s).....	64
Figura 6-1: Cuenca río Aconcagua	68
Figura 6-2: Cuenca río Rapel.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. N° Expedientes con caudal ecológico estimado.....	18
Tabla 5-1. Datos Organizaciones de agua	25
Tabla 5-2. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Limarí	26
Tabla 5-3. Juntas de Vigilancia registradas en DGA Cuenca Río Limarí.....	26
Tabla 5-4. Expedientes con caudal ecológico estimado	27
Tabla 5-5. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Limarí	29
Tabla 5-6. Caudal medio anual en las estaciones seleccionadas	32
Tabla 5-7. Caudal medio mensual en las estaciones seleccionadas (m ³ /s).....	33
Tabla 5-8. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (L/s)	36
Tabla 5-9. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (L/s)	37
Tabla 5-10. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Limarí ...	41
Tabla 5-11. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca	46
Tabla 5-12. Área de riego en subcuencas.....	48
Tabla 5-13. Evapotranspiración Potencial por subcuenca (mm).....	48
Tabla 5-14. Coeficiente de cultivo por especie (<i>Kc</i>)	49
Tabla 5-15. Demanda Hídrica en subcuenca (m ³ /seg)	49
Tabla 5-16. Estimación de caudales ecológicos mínimos (L/s).	52
Tabla 5-17. Caudal medio mensual observado y simulado (m ³ /s).	57
Tabla 5-18. Balance entre oferta y demanda en Bocatomas unificadas (L/s).....	60
Tabla 5-19. Caudal de demanda media mensual no satisfecha.	61
Tabla 5-20. Déficit hídrico para los escenarios de modelación.....	62
Tabla 5-21. Precio de mercado (UF/L/s)	64
Tabla 6-1. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Aconcagua.....	70
Tabla 6-2. Juntas de Vigilancia registradas en la DGA Cuenca Río Aconcagua	70
Tabla 6-3. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Rapel.....	71
Tabla 6-4. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Rapel	74
Tabla 6-5. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Rapel.....	75

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 análisis se realiza siguiendo tres enfoques:

- Estimación de impacto en los derechos de aprovechamiento y la demanda real. En las cuencas a estudiar existen varias áreas o subcuencas declaradas zonas de escasez y/o agotamiento, por lo que establecer un caudal ecológico para cada tramo implicaría la afección de derechos ya otorgados, traducida en la disminución de la oferta hídrica. Junto a lo anterior, se realizara 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.
- Análisis de incongruencias entre nueva normativa y políticas públicas existentes. A partir de criterio de especialista, se levantarán y analizará la consistencia (o inconsistencia) entre la posible nueva normativa y las políticas de incentivo ligadas a aumentar el uso de recursos hídricos actualmente existentes.

El siguiente documento corresponde a la primera entrega formal del estudio, en el que principalmente se aplicó la metodología de estudio a la cuenca del río Limarí. Para las cuencas de los ríos Aconcagua y Rapel, se registran avances con respecto al proceso de información, quedando pendiente su análisis integrado.

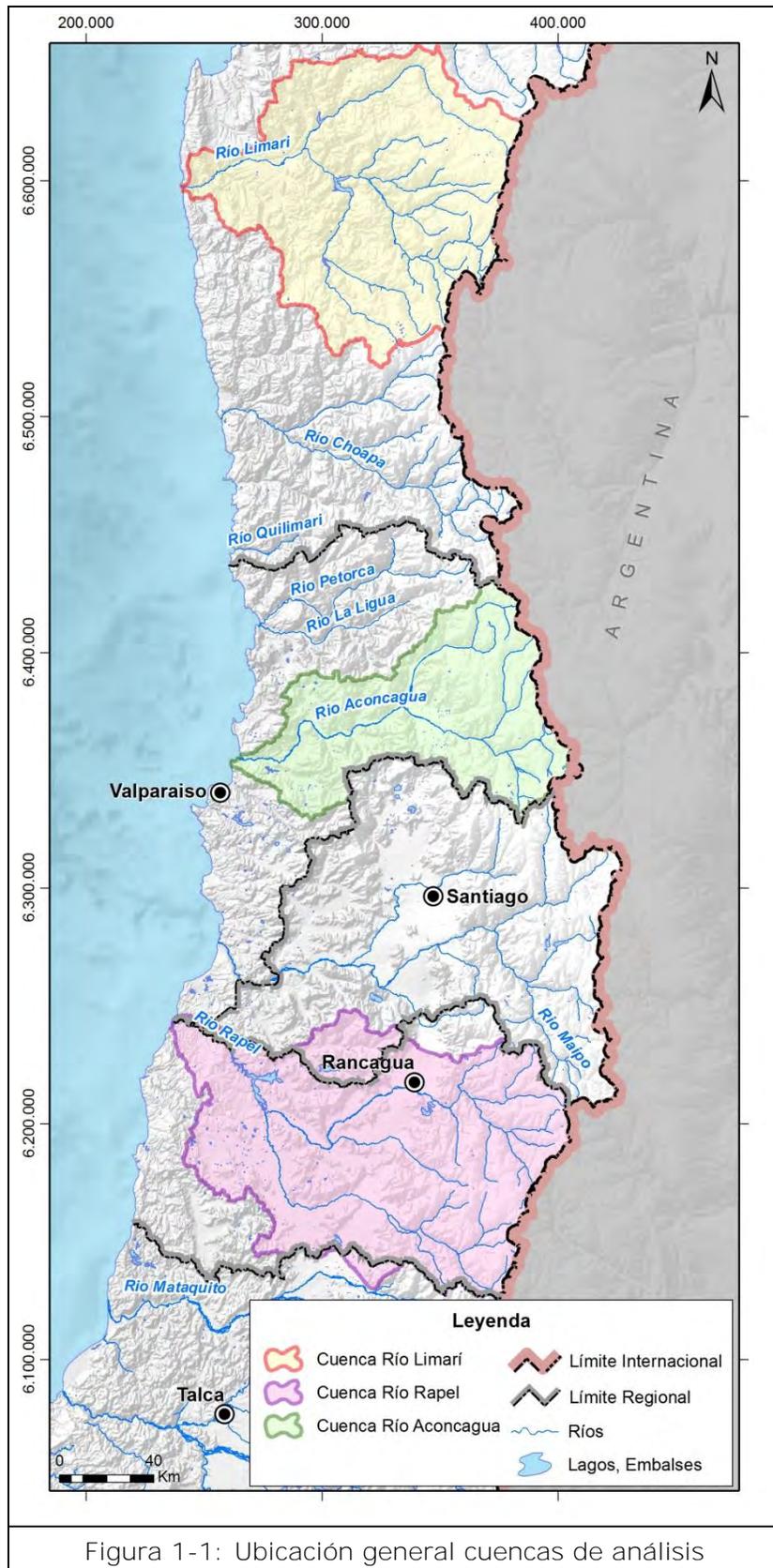


Figura 1-1: Ubicación general cuencas de análisis

2 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 máximos y mínimos de caudal. 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 que se basan en datos históricos sobre 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, 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, evaluado 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.

2.1 REVISIÓN HISTÓRICA DE METODOLOGÍAS DGA PARA CÁLCULO DE CAUDAL ECOLÓGICO

A continuación se describen las metodologías promulgadas por la DGA para la determinación del caudal ecológico, desde antes que se definiera el concepto de caudal ecológico, hasta las metodologías actuales.

Metodologías de la década de 1980

En el Código de Aguas del año 1981 (DFL 1.122/81), no existe el concepto de caudal ecológico ni mucho menos una metodología para su determinación. A lo que hace mención el Código de Aguas, en cuanto a las condiciones del uso de los derechos de aprovechamiento, es que no se debe perjudicar los derechos de terceros constituidos sobre las mismas aguas (Artículo 14).

En el artículo 22 del mismo Código de Agua, se refiere a que para la adquisición de derechos de aprovechamiento, la autoridad constituirá el derecho de aprovechamiento sobre aguas existentes en fuentes naturales no pudiendo perjudicar los derechos de terceros.

Metodologías de la década de 1990

En 1999 la DGA aprueba el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, en donde se define 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
- Caudal igual al 50% del caudal mínimo de estiaje del año asociado a una probabilidad de excedencia del 95%.
- 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.

Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (2002)

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

- Caudal igual al 10% del caudal medio anual o
- Caudal igual al 50% del caudal mínimo de estiaje del año asociado a una probabilidad de excedencia del 95%.

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

Modificación Código de Aguas (Artículo 129 bis 1, Ley 20.017 año 2005)

Con esta modificación del Código de Aguas, se especifica en el artículo 129 que "al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y 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".

Esta disposición sólo se aplicaba a los nuevos derechos otorgados, sin tener un carácter retroactivo, es decir no afectaba a los derechos existentes.

Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (2008)

En esta versión del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, se determina un caudal ecológico variable, para el caso de solicitudes de nuevos derechos, con un tope máximo de 20% del caudal medio anual y en caso excepcionales hasta un 40% del caudal medio anual.

El procedimiento para determinar el caudal ecológico variable, consideraba los siguientes escenarios:

a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo (Q_{ecmin}) del 10% caudal medio anual (Q_{ma})

Se considerarán los caudales asociados al 50% del caudal, con probabilidad de excedencia del 95% ($Q_{95\%}$), para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%}$ es menor al caudal determinado para el 10% del Q_{ma} , entonces el Q_{ecmin} en esos meses será el 10% Q_{ma} .

Es decir, si $50\%Q_{95\%} < 10\%Q_{ma} \Rightarrow Q_{ecmin} = 10\%Q_{ma}$

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%}$ es mayor al caudal determinado para el 10% del Q_{ma} y menor que el caudal determinado para el 20% Q_{ma} , entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del $Q_{95\%}$.

Es decir, si $10\%Q_{ma} < 50\%Q_{95\%} < 20\%Q_{ma} \Rightarrow Q_{ecmin} = 50\%Q_{95\%}$

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%}$ es mayor al caudal determinado para el 20% del Q_{ma} , entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 20% del Q_{ma} .

Es decir, si $50\%Q_{95\%} > 20\%Q_{ma} \Rightarrow Q_{ecmin} = 20\%Q_{ma}$

b) Cauce con derechos constituidos con Q_{ecmin} del menor 50% del $Q_{95\%}$

Se considerarán los caudales asociados a 50% del $Q_{95\%}$, para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%}$ es menor al caudal determinado para el 20% del Q_{ma} , entonces el Q_{ecmin} en esos meses será el 50% del $Q_{95\%}$.

Es decir, si $50\%Q_{95\%} < 20\%Q_{ma} \Rightarrow Q_{ecmin} = 50\%Q_{95\%}$

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%}$ es mayor al caudal determinado para el 20% del Q_{ma} , entonces el Q_{ecmin} en esos meses será el 20% del Q_{ma} .

Es decir, si $50\%Q_{95\%} > 20\%Q_{ma} \Rightarrow Q_{ecmin} = 20\%Q_{ma}$

c) Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido:

En estos casos se aplicara el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.

Resolución DGA N° 240 (2009)

En esta resolución, se reconocen las metodologías de años anteriores y establece resoluciones específicas para cada cuenca hidrográfica o conjunto de ellas.

Ley N° 20.417 de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, donde se crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente

Con la promulgación de esta ley, se crea el Ministerio de Medio Ambiente, el cual colaborará con el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, y en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos.

Ley N° 19.300 de 2011, del Ministerio de Medio Ambiente, sobre Bases Generales del Medio Ambiente

Con la creación del Ministerio del Medio Ambiente, mediante la Ley N° 20.417 descrita anteriormente, se crea las Bases Generales del Medio Ambiente

Se aclara en el artículo 41 de la Ley N° 19.300, que el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, se efectuará asegurando su capacidad de regeneración y la diversidad biológica asociada a ellos.

Complementando el artículo anterior, en el artículo 42 se especifica que el Ministerio de Medio Ambiente, en conjunto con el organismo público encargado por la ley de regular el uso o aprovechamiento de los recursos naturales, podrá exigir la presentación y cumplimiento de planes de manejo de estos recursos. Dentro de estos planes cabe mencionar, la mantención de caudales de aguas y la conservación de especies.

Decreto N° 14 de 2012 del Ministerio de Medio Ambiente

Según este decreto, el caudal ecológico mínimo se debiera fijar, para cada mes del año, equivalente al 20% del caudal medio mensual y considerando como valor máximo el 20% del caudal medio anual.

Lo anterior deja obsoleto la metodología que se indica en el manual de normas y procedimientos del 2008, el cual utilizaba el caudal asociado al 95% de probabilidad de excedencia y otros valores límites.

2.2 MODIFICACIÓN AL DECRETO SUPREMO N° 14

Actualmente se están tramitando modificaciones al Decreto Supremo N°14 (promulgado el año 2012), del Ministerio del Medio Ambiente, a lo cual el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad se pronunció favorablemente, mediante el Acuerdo N°15, del 26 de septiembre de 2014.

Las razones que han impulsado dicha modificación, son respaldadas porque se reconoce que la aplicación de los criterios establecidos en el artículo 3° 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 2.1:

- Se sustituye el artículo 3°, que indica la metodología para estimar el caudal ecológico mínimo, estableciendo:
 - 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 7º letra c), la expresión "servicios ambientales" por "servicios ecosistémicos".

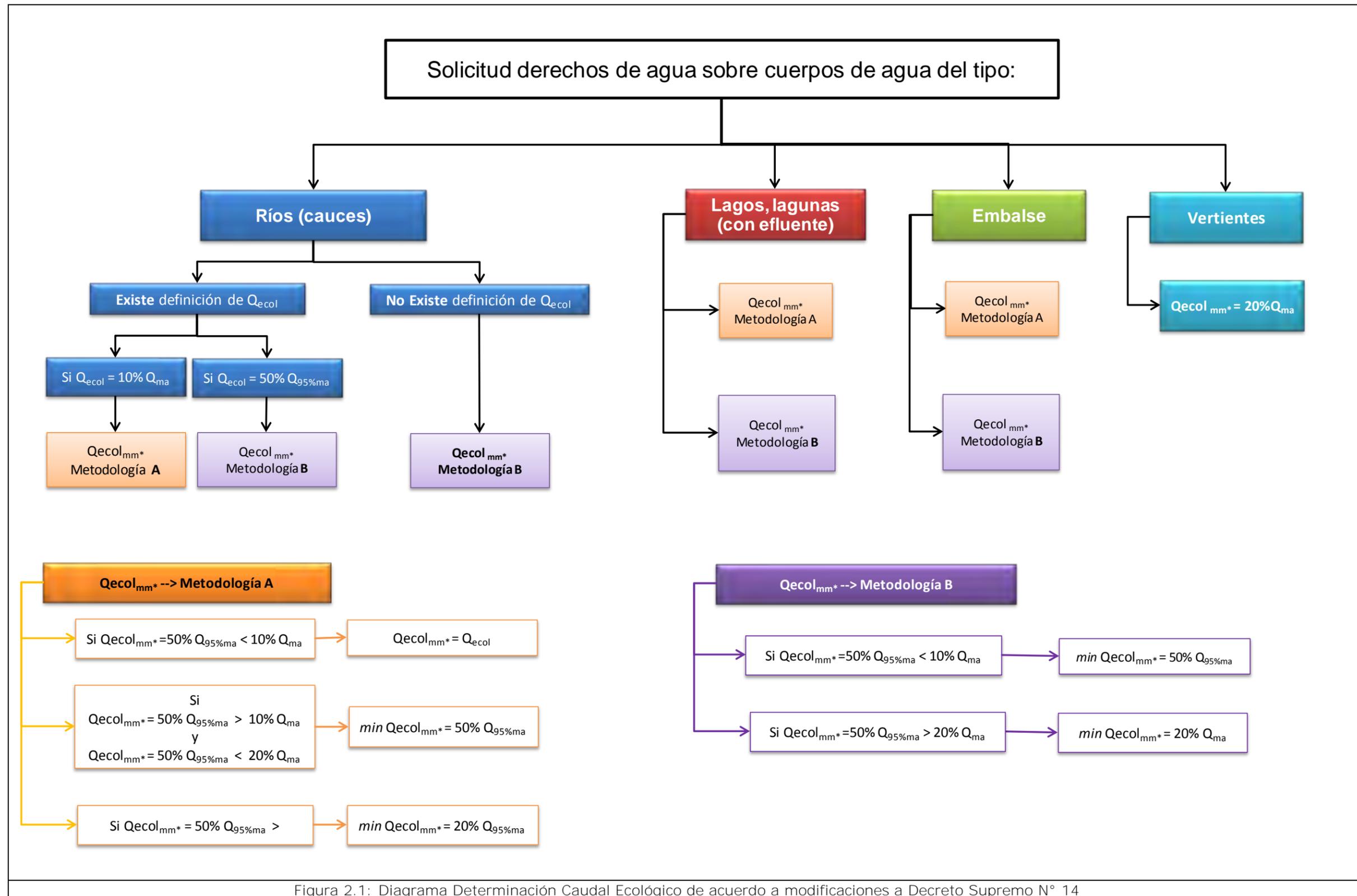


Figura 2.1: Diagrama Determinación Caudal Ecológico de acuerdo a modificaciones a Decreto Supremo N° 14

2.3 DISCUSIÓN DE APLICACIÓN DE DISTINTAS METODOLOGÍAS

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.

En la década del 90, la DGA realizó diferentes estudios relacionados con el establecimiento de metodología y factibilidad de los caudales ecológicos.

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). (Estudios de disponibilidad del recurso hídrico a nivel de cuencas hidrográficas).

Desde el año 2002 la DGA posee un Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, en donde se precisa la determinación del caudal ecológico.

En ese documento se establece un caudal ecológico en la constitución de todos los derechos de aprovechamiento. Por otra parte se recomiendan 4 metodologías para su cálculo, pero sólo se aplican dos de ellas como valor permanente y continuo todo el año:

- Q ecológico= 10% del Caudal Medio Anual (QMA)
- Q ecológico= 50% del Caudal Mínimo de Estiaje del Año 95% de Probabilidad de Excedencia.

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.

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.

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 2.2.

3 ANALISIS DE INCONGRUENCIA

En base a entrevistas con autoridades involucradas en la gestión de recursos hídricos o aspectos relacionados, junto a la revisión de los Especialistas Senior, se establecerán políticas públicas que puedan presentar inconsistencias con la nueva normativa, y se cuantificará en forma aproximada el impacto en dichas políticas en términos económicos.

Este análisis será presentado en la siguiente entrega. Actualmente se está en proceso de contacto con autoridades de al menos los siguientes servicios públicos:

- Dirección General de Aguas (DGA), ya que es la entidad encargada de hacer cumplir la política nacional de aguas.
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), ya que es responsable de la dirección del programa rural para el abastecimiento de agua, además proporciona asistencia en la construcción y el mantenimiento de la infraestructura de riego
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI), dada las diferentes entidades que dependen de este ministerio y tienen relación con recursos hídricos.
- Ministerio de medio ambiente (MMA), ya que sus funciones dicen relación con la conservación del entorno medio ambiental.
- Comisión Nacional de Riego (CNR), ya que su objetivo principal es desarrollar y mejorar la infraestructura de riego y drenaje a lo largo de todo Chile.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF), ya que parte de su misión es a protección de los recursos vegetacionales, así como a la conservación de la diversidad biológica a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas,
- Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP), ya que tiene por objetivo promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos.

4 METODOLOGÍA

El siguiente capítulo presenta la metodología que será utilizada transversalmente en el análisis de cada una de las cuencas de estudio. En esta entrega, ya se ha aplicado la metodología en la cuenca del río Limarí, y se está trabajando en la aplicación de las cuencas Aconcagua y Rapel.

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

Se presenta una breve descripción del área de estudio incluyendo, límites, hidrografía, clima y principales actividades económicas.

4.1 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

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) y universidades, entre otras instituciones.

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.

Además se solicitó información sobre las organizaciones de usuarios registradas en cada cuenca.

Revisión de expedientes con caudal ecológico establecido

Para cada cuenca en estudio hay derechos otorgados que, de acuerdo a la información del CPA, tienen estimación de caudal ecológico; el número de expedientes por cuenca se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. N° Expedientes con caudal ecológico estimado

Cuenca	N° Expedientes
Río Limarí	11
Río Aconcagua	41
Río Rapel	90

En primera instancia se verificó en el portal de la DGA (<http://www.dga.cl>) si estos expedientes se encuentran digitalizados y disponibles para ser descargados. Hasta la fecha la plataforma de los expedientes digitalizados se encuentra con problemas, por lo que se solicitó a la DGA que revisara si dichos expedientes se encuentran en formato digital para que puedan ser enviados, o si es necesario ir a revisarlos a las DGA

regionales respectivas. Se ha recibido información de los expedientes de la cuenca del Río Limarí, y se están revisando los de las otras cuencas.

4.2 OFERTA HÍDRICA

Se solicitó la totalidad de los registros fluviométricos de la red de monitoreo de la DGA en cada cuenca, a los cuales se realizó un análisis de los caudales medios mensual y un análisis de frecuencia, 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.

4.3 DEMANDA HÍDRICA

La demanda hídrica se evaluó para las subcuencas correspondientes a cada cuenca de estudio. Las actividades realizadas para determinar la demanda son:

Análisis de información Catastro Público de Aguas

Se analiza la información de los derechos en la cuenca. Para efectos de este análisis se considera que una acción equivale a un caudal de 1 L/s. Con esta información se tiene una aproximación de la demanda de agua superficial en la zona.

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.

Demanda hídrica usuarios de Juntas de Vigilancia

De acuerdo a información de las Juntas de Vigilancia (en base a las reuniones concretadas e información de la DGA) se tiene el total de acciones, las cuales son distribuidas de acuerdo a la jurisdicción de cada Junta de Vigilancia y las respectivas subcuencas del estudio. Así se tiene una demanda aproximada de los usuarios del agua.

Estimación demanda de riego

Como información principal se requiere datos de riego, para lo cual se utilizan datos actualizados de los estudios recopilados, y/o 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. Dicha información es distribuida a nivel de subcuenca.

Para estimar la demanda hídrica se requiere valor de la evaporación real (*ETR*). Estos valores pueden estar estimados para las cuencas en estudio. En caso de no contar con dicha información, se estima a través de del método de Blaney-Criddel:

$ETR = (HS_j) * (0,46 * Temp_j + 8,13)$: Evapotranspiración real de cultivo de referencia [mm/d]

En donde se utiliza valor de temperatura media mensual de la cuenca en estudio y valor del Porcentaje mensual de horas luz de día durante el año (*HS_j*).

Se requiere además información de Coeficientes de cultivo (*Kcp*) para cada sector de riego (*A_{RIEGO_i}*). Si dicha información no está disponible en bibliografía para la zona en estudio, se estima de la siguiente forma:

$Kcp = (\sum_{i=1}^5 Kc_i * A_{RIEGO_i}) / A_{RIEGO}$: Coeficiente de uso consuntivo mensual en todo el sector de riego

Finalmente se estima la demanda de riego por cada subcuenca.

$DH_R = 10 * Kcp * ETR * A_{RIEGO}$ Demanda Hídrica

Estimación del Caudal Ecológico

Para esta estimación se recopilaron caudales ecológicos presentados principalmente en expedientes de solicitud de derechos de aprovechamiento de agua, además de su estimación a partir de los registros fluviométricos de la cuenca utilizando la metodología de la modificación del año 2014, la que coincide con la metodología 2008.

4.4 BALANCE OFERTA-DEMANDA

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

El ambiente 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.

Para esto utiliza como información de entrada caudales superficiales en las cuencas de cabecera, información de demandas reales e información de estimaciones de caudales ecológicos para cada tramo del río.

Para la modelación hidrológica superficial se programaron tres módulos que representan distintos procesos del sistema.

El primer módulo *Hidrología (H)* es una representación simplificada de los procesos hidrológicos que representa la propagación del hidrograma de caudales, a partir de una serie de caudales versus tiempo en las cuencas de cabecera. En este módulo intervienen los cuatro parámetros que definen la programación del modelo. A su vez está dividido en tres sub-módulos:

- 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.

$$S = K \cdot [I \cdot x + Q \cdot (1 - x)] \text{ ec.1}$$

- 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 **Bocatoma (BT)** es en el cual, a partir de la disponibilidad hídrica, se extrae el caudal ecológico estimado y la demanda hídrica según el tramo que representa.

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. Como este es un modelo simplificado, la demanda hídrica más significativa de las cuencas corresponde a demanda por riego.
- Caudal ecológico mínimo. Para la modelación base se considera que este caudal es nulo, valor que será modificado para los dos escenarios de simulación.

4.5 VALORIZACIÓN ECONÓMICA

Para evaluar el precio del agua se revisa la información del Conservador de Bienes Raíces, que es enviada mensualmente a la DGA (esta planilla se obtiene del portal web de la DGA). En dicha planilla se tienen datos sobre la naturaleza del agua, caudal asociado, unidad del caudal, valor de la compraventa, CBR dónde se realizó el trámite, entre otros.

Se analizan las transacciones que sólo considera compraventa de derechos de agua y no involucra otros bienes, ocurridas en los CBR correspondientes a la cuenca en estudio. Los montos de las transacciones son calculados en UF, de acuerdo al año en que se realizó la compra venta, para así estimar aproximadamente el precio del litro de agua (se considera que una acción equivale a 1 L/s).

Además, se analizan estudios anteriores que contengan información sobre mercados del agua en la cuenca en estudio.

4.6 EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONOMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

En esta etapa se cuantificara como la disminución de oferta hídrica determinada por el establecimiento afecta a las actividades productivas de las cuencas en estudio, definidas a través de su vocación productiva. Como resultado se espera obtener el número de unidades de producción (hectáreas para riego, toneladas de mineral para la minería) que se dejan de producir.

5 EVALUACIÓN CUENCA RÍO LIMARÍ

A continuación se presenta el análisis integrado para la cuenca del río Limarí, el que fue desarrollado antes que los análisis de las cuencas de Aconcagua y Rapel, con el objetivo de validar la metodología utilizada y facilitar la aplicación en las demás cuencas.

El capítulo presenta básicamente la definición de demanda y oferta hídrica, junto al balance. La evaluación de establecer caudal ecológico en el balance se realiza definiendo distintos escenarios de demanda, donde el caudal ecológico es considerado como demanda ambiental.

Como conclusión del análisis se presenta una caracterización de la situación actual del sistema y la comparación con los distintos escenarios de aplicación de caudal ecológico.

Es importante destacar que los objetivos del análisis son información de balances presentados de manera simplificada y agregada a nivel de subcuenca, para servir de antecedente en las discusiones en torno a la modificación del código de aguas.

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Limarí está ubicada en la IV Región de Coquimbo, entre el valle del río Elqui por el norte y el valle del río Choapa por el sur (Figura 5.1). 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 m³. 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.

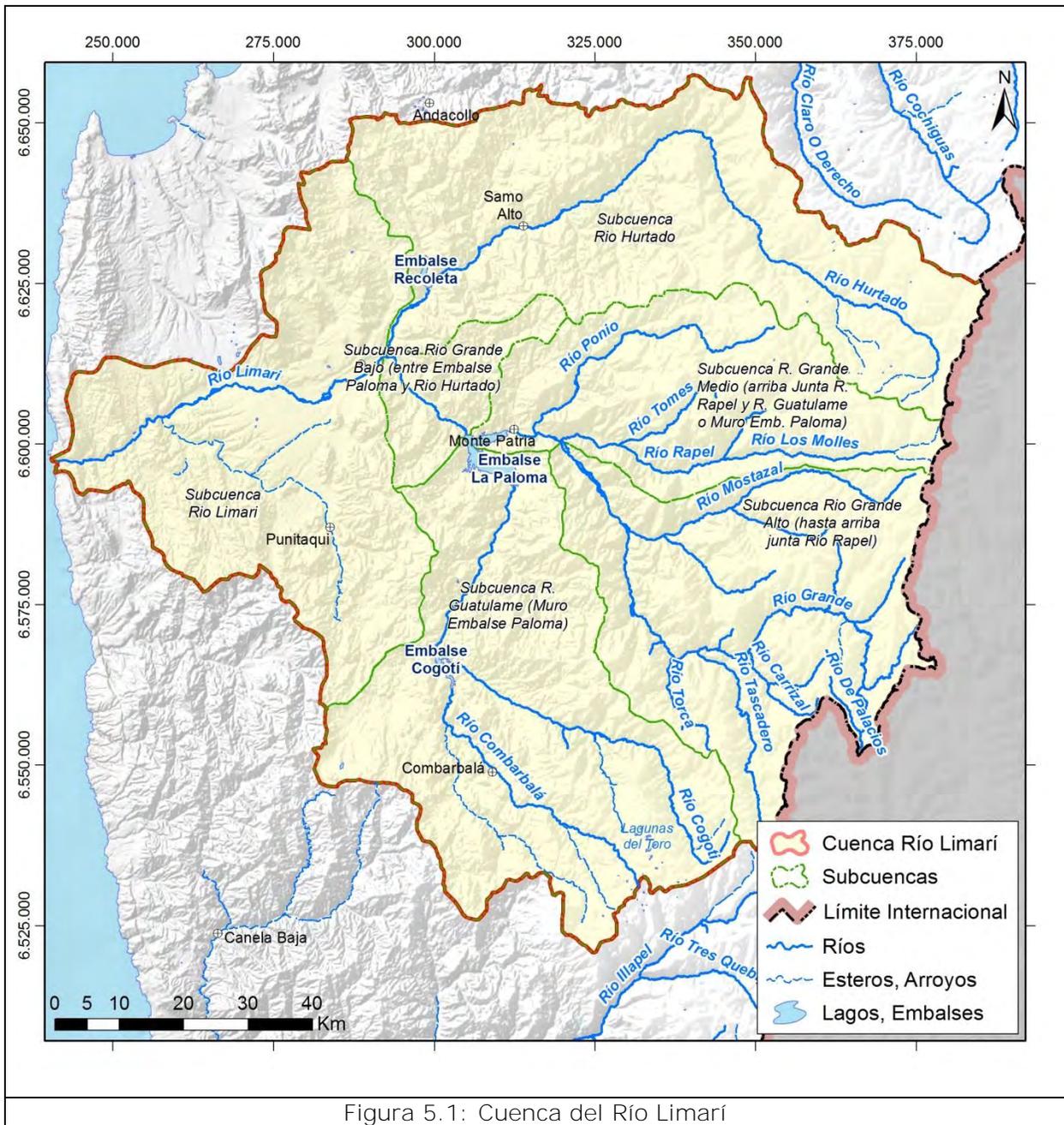


Figura 5.1: Cuenca del Río Limarí

5.2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

5.2.1 Estudios Técnicos

Se revisaron informes y estudios enfocados en recopilar información de derechos y uso de agua superficial, oferta y demanda hídrica y organizaciones de usuarios.

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 de zonas de riego con sus respectivos tipos de cultivo. 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 m³ y es administrado por la Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta. El Embalse Cogotí tiene una capacidad útil de 150 millones de m³ y es administrado por la Asociación de Canalistas del Embalse Cogotí. Por último, el Embalse La Paloma posee una capacidad de 750 millones de m³.

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. Para la cuenca del Río Limarí se identificaron 9 Juntas de Vigilancia, 7 de las cuales tienen registro en la DGA.

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.

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 5-1).

Tabla 5-1. 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 Guatulame	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 Tamecura, 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.

5.2.2 Información Catastro Público de Aguas

De acuerdo a la información recopilada, en la cuenca del Río Limarí hay 1.524 derechos otorgados, 96 solicitudes en trámite y 427 solicitudes que corresponden a regularizaciones ingresadas por 2do artículo transitorio, que cuentan con informe técnico DGA pero que no se tiene conocimiento de la sentencia final emitida por el juzgado de letras correspondiente.

Tabla 5-2. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Limarí

Unidad de Caudal	Derechos Otorgados		Solicitudes en Trámite		Solicitudes Artículo 2 ^{do} Transitorio	
	Nº Derechos	Caudal	Nº solicitudes	Caudal	Nº solicitudes	Caudal
Acciones	1.322	10.308				
L/s	202	93.464	96	40.908	427	39.480.537

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

Tabla 5-3. Juntas de Vigilancia registradas en DGA Cuenca Río Limarí

Expediente	Nombre de Organización	Acciones	Integrantes
NJ-0402-5	Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí y sus Afluentes	14.092	S/I
NJ-0402-2	Junta de Vigilancia del Río Mostazal y sus Afluentes	4.431	77
NJ-0402-6	Junta de Vigilancia del Río Hurtado y sus Afluentes	3.844	125
NJ-0402-4	Junta de Vigilancia del Río Combarbalá y sus Afluentes	3.606	44
NJ-0402-7	Junta de Vigilancia del Río Cogotí y sus Afluentes	2.123	42
NJ-0402-3	Junta de Vigilancia del Río Pama y sus Afluentes	1.205	17
NJ-0402-1	Junta de Vigilancia Río Huatulame	1.011	294

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

5.2.3 Revisión de expedientes con caudal ecológico establecido

Para cada cuenca en estudio hay derechos otorgados que tienen estimación de caudal ecológico, de acuerdo a la información contenida en el CPA. En primera instancia se solicitó a la DGA que revisara si dichos expedientes se encuentran en formato digital para su revisión.

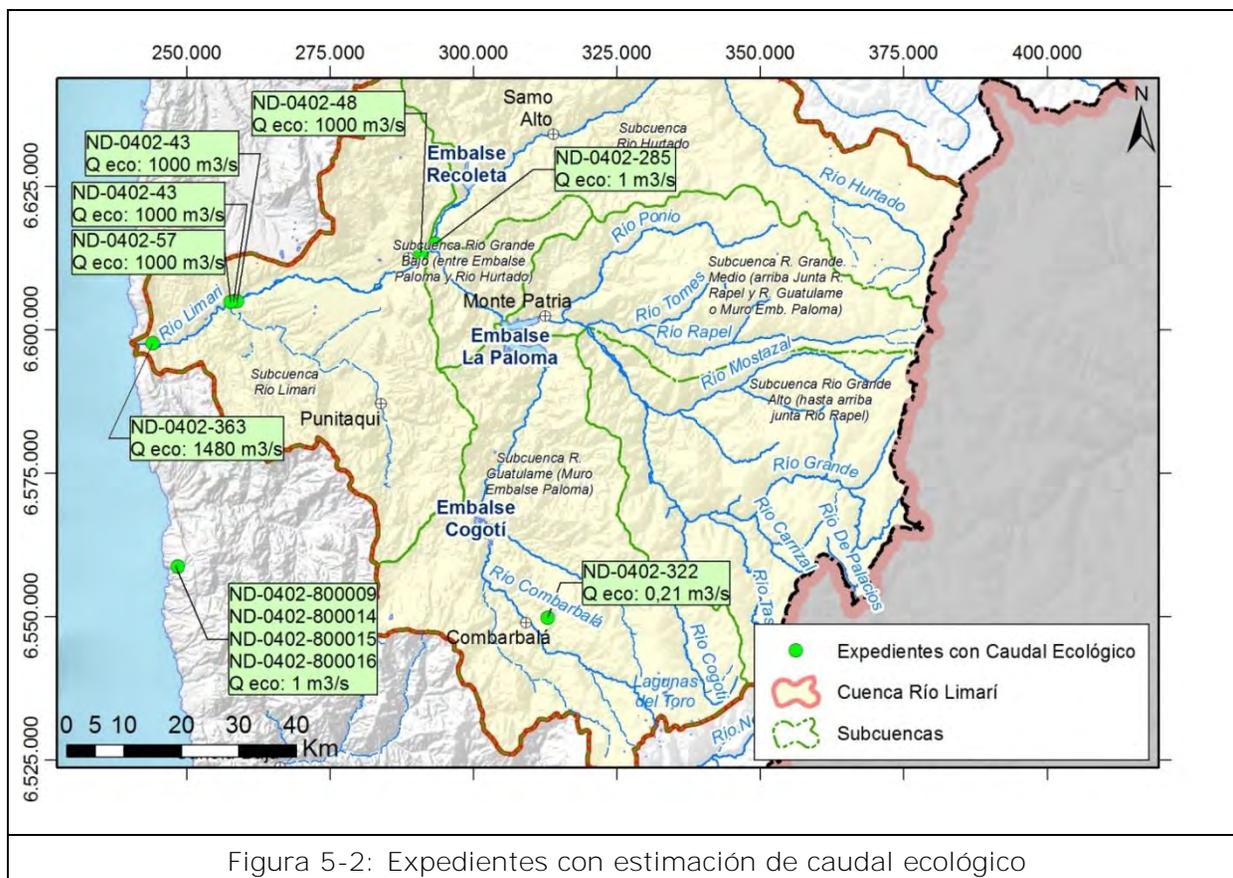
Para la cuenca del Río Limarí hay 6 expedientes digitalizados (Tabla 5-4), de los cuales 5 están otorgados antes del año 2000, por lo que la estimación del caudal ecológico se realiza haciendo uso de metodologías de los años 90.

El expediente ND-0402-363 corresponde a un derecho eventual y continuo de 630 L/s otorgado en el año 2010, por lo tanto se estimó un caudal ecológico en base a la Resolución DGA N° 240, la cual fija los criterios para el cálculo del caudal ecológico.

En la Figura 5-2 se visualizan los derechos que se pudieron georreferenciar, con su respectivo caudal ecológico. Se observa que 4 expedientes, que corresponden al mismo punto, están ubicados fuera de la cuenca en estudio.

Tabla 5-4. Expedientes con caudal ecológico estimado

Código de Expediente	Año Presentación	Caudal (L/s)	Caudal Ecológico (L/s)	Situación en DGA
ND-0402-43	1994	194	1.000	Digitalizado
ND-0402-43	1994	230	1.000	Digitalizado
ND-0402-322		0,5	0,21	No habido
ND-0402-48	1994	300	1.000	Digitalizado
ND-0402-57	1995	500	1.000	Digitalizado
ND-0402-363	2010	800	1.480	Digitalizado
ND-0402-800106	1994	630	1.000	Transacción Digitalizado Expediente original ND-0402-42
ND-0402-285	2000	1	1	Digitalizado
ND-0402-800009		0,12	1	Sin expediente asociado según DGA
ND-0402-800009		2,38	1	
ND-0402-800014		0,03	1	
ND-0402-800014		0,64	1	
ND-0402-800015		0,03	1	
ND-0402-800016		0,03	1	
ND-0402-800016		0,63	1	



5.3 OFERTA HÍDRICA

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.

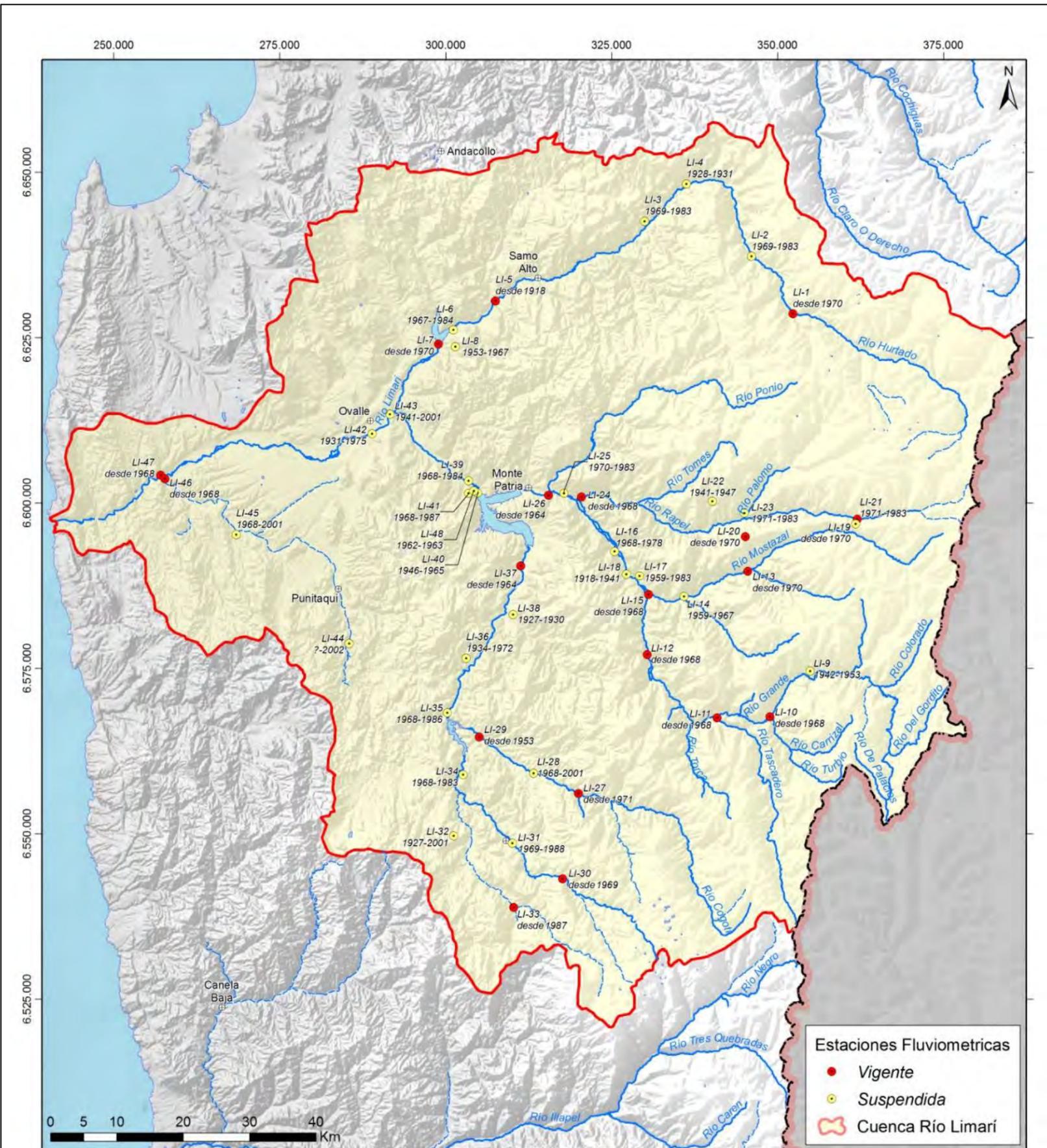
5.3.1 Disponibilidad de Información

La cuenca del río Limarí cuenta con suficiente información fluviométrica para el análisis de la oferta hídrica superficial. En total se registran 36 estaciones en el Banco Nacional de Aguas de la DGA, las cuales se presentan en la Tabla 5-5 y su ubicación en la Figura 5-3.

La Figura 5-4 presenta un gráfico de barras con la disponibilidad de información histórica de caudales mensuales en las estaciones fluviométricas. Se observa que se cuenta con información homogénea a partir de la década de 1960, en el cual cerca del 60% de las estaciones tiene información continua con periodos esporádicos de menos información.

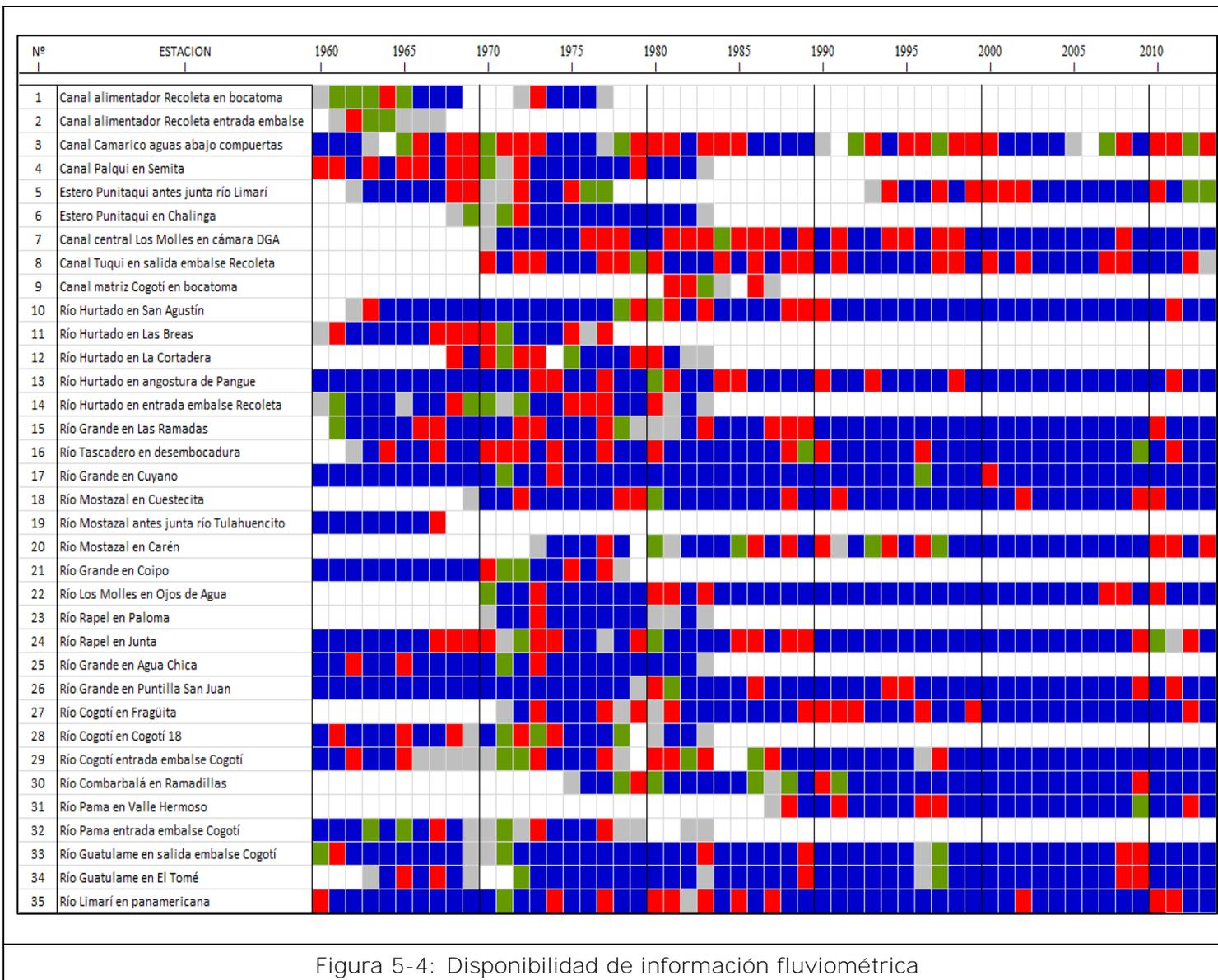
Tabla 5-5. Estaciones fluviométricas en la cuenca del río Limarí

Estación Fluviométrica	Código BNA DGA	Código estudio	UTM (m)		Altitud (msnm)	Años de Registro
			Norte	Este		
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 Pangué	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
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 Guatulame en salida embalse Cogotí	04535002-9	LI-35	6.568.626	300.445	625	54
Río Guatulame 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	04557002-9	LI-46	6.603.949	257.925	170	51
Río Limarí en panamericana	04558001-6	LI-47	6.604.551	257.272	165	53



ID	COD. BNA	NOMBRE	ID	COD. BNA	NOMBRE	ID	COD. BNA	NOMBRE
LI-1	04501001-5	RIO HURTADO EN SAN AGUSTIN	LI-16	04516001-7	RIO GRANDE EN COIPO	LI-32	04533001-K	QUEBRADA PANA EN FONDITOS
LI-2	04501002-3	RIO HURTADO EN LAS BREAS	LI-17	04516002-5	CANAL PALQUI EN SEMITA	LI-33	04533002-8	RIO PAMA EN VALLE HERMOSO
LI-3	04502001-0	RIO HURTADO EN LA CORTADERA	LI-18	04516003-3	RIO GRANDE EN ZEMITA	LI-34	04534001-5	RIO PAMA ENTRADA EMBALSE COGOTI
LI-4	04502002-9	RIO HURTADO EN HURTADO	LI-19	04520001-9	RIO LOS MOLLES EN OJOS DE AGUA	LI-35	04535002-9	RIO GUATULAME EN SALIDA EMBALSE COGOTI
LI-5	04503001-6	RIO HURTADO EN ANGOSTURA DE PANGUE	LI-20	04520002-7	CANAL CENTRAL LOS MOLLES EN CAMARA DGA	LI-36	04535004-5	RIO GUATULAME EN SAN MARCOS
LI-6	04506002-0	RIO HURTADO EN ENTRADA EMBALSE RECOLETA	LI-21	04520003-5	RIO LOS MOLLES EN BOCATOMA	LI-37	04537001-1	RIO GUATULAME EN EL TOME
LI-7	04506003-9	CANAL TUQUI EN SALIDA EMBALSE RECOLETA	LI-22	04520004-3	RIO RAPEL EN LOS MOLLES	LI-38	04537002-K	RIO GUATULAME EN HUANILLA
LI-8	04506004-7	CANAL ALIMENTADOR RECOLETA ENTRADA EMBALSE	LI-23	04522001-K	RIO RAPEL EN PALOMA	LI-39	04540001-8	RIO GRANDE EN PALOMA 1
LI-9	04511001-K	RIO GRANDE EN LAS PEGAS	LI-24	04522002-8	RIO RAPEL EN JUNTA	LI-40	04540002-6	RIO GUATULAME EN DESEMBOCADURA EMBALSE LA PALOMA
LI-10	04511002-8	RIO GRANDE EN LAS RAMADAS	LI-25	04523001-5	RIO GRANDE EN AGUA CHICA	LI-41	04540003-4	CANAL CAMARICO AGUAS ABAJO COMPUERTAS
LI-11	04512001-5	RIO TASCADERO EN DESEMBOCADURA	LI-26	04523002-3	RIO GRANDE EN PUNTILLA SAN JUAN	LI-42	04550001-2	RIO LIMARI EN PUNTILLA DE OVALLE
LI-12	04513001-0	RIO GRANDE EN CUYANO	LI-27	04530001-3	RIO COGOTI EN FRAGUITA	LI-43	04550003-9	RIO LIMARI EN PEDONES BAJOS
LI-13	04514001-6	RIO MOSTAZAL EN CUESTECITA	LI-28	04531001-9	RIO COGOTI EN COGOTI 18	LI-44	04554001-4	RIO PUNITAQUI EN DELIRIO
LI-14	04515001-1	RIO MOSTAZAL ANTES JUNTA RIO TULAHUENGTO	LI-29	04531002-7	RIO COGOTI ENTRADA EMBALSE COGOTI	LI-45	04556001-5	ESTERO PUNITAQUI EN CHALINGA
LI-15	04515002-K	RIO MOSTAZAL EN CAREN	LI-30	04532001-4	RIO COMBARBALA EN RAMADILLAS	LI-46	04557002-9	ESTERO PUNITAQUI ANTES JUNTA RIO LIMARI
			LI-31	04532002-2	RIO COMBARBALA EN COMBARBALA	LI-47	04558001-6	RIO LIMARI EN PANAMERICANA
						LI-48	04716003-0	CANAL TAMEICURA

Figura 5-3: Estaciones fluviométricas DGA



5.3.2 Análisis de caudales medios Limarí

Dada la cantidad de información disponible y considerando los criterios planteados por la DGA para análisis hidrológico, es que se seleccionaron 19 estaciones fluviométrica las cuales se encuentran vigentes y con una cantidad de datos suficiente para la caracterización fluviométrica. Dada la calidad de la información, no se realizó relleno de datos para aquellos meses sin registro.

Para el análisis de la oferta hídrica se consideró el período comprendido entre enero de 1985 y diciembre de 2013. En la Tabla 5-6 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. En general se observa un alta variabilidad temporal en los caudales registrados, con aportes importantes provenientes de la parte centro-este de la cuenca, en la subcuenca del río Grande.

A nivel mensual se estimó el caudal medio mensual para cada estación, los cuales se presentan en la Tabla 5-7. En la Figura 5-5 se presentan los caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca del Limarí: LI-01 (río Hurtado), LI-07 (aguas abajo del embalse Recoleta), LI-12 (río Grande), LI-13 (río Mostazal), LI-15 (Río Mostazal), LI-24, y el caudal medio mensual de la cuenca (Prom). En general se observa que los ríos de la cuenca son de régimen nival al aumentar su caudal al inicio de la temporada de deshielo; esto se observa en los río Grande, Hurtado y Cogotí (LI-29, Tabla 5-7), y la cabecera del río Mostazal. Los ríos Rapel y Mostazal antes de tributar al Grande tienen un comportamiento nivo-pluvial con aumentos de caudal en la temporada de deshielo y durante la estación húmeda.

Tabla 5-6. Caudal medio anual en las estaciones seleccionadas

	Prom L/s	DS L/s	Máx L/s	Mín L/s	Años de registro	Meses sin registro
LI-01	2.749	1.651	6.400	766	29	5
LI-05	2.996	2.954	13.468	386	29	7
LI-07	1.502	430	2.639	831	28	30
LI-10	3.880	2.874	13.419	923	29	5
LI-11	1.232	1.153	4.613	213	27	15
LI-12	7.240	5.687	24.318	1.372	28	6
LI-13	1.567	1.148	4.323	315	29	5
LI-15	1.192	1.371	5.500	26	25	39
LI-19	126	207	778	10	29	3
LI-20	701	299	1.207	263	29	15
LI-24	1.779	1.916	6.436	78	27	18
LI-26	9.341	9.802	38.050	677	29	5
LI-27	2.286	2.504	11.435	292	29	8
LI-29	2.561	4.109	18.670	60	26	10
LI-30	517	679	2.785	3	25	26
LI-33	313	529	2.438	0	25	15
LI-37	1.962	4.366	20.046	4	27	16
LI-46	297	236	841	46	18	23
LI-47	9.825	14.474	58.771	448	29	9

Tabla 5-7. Caudal medio mensual en las estaciones seleccionadas (m³/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

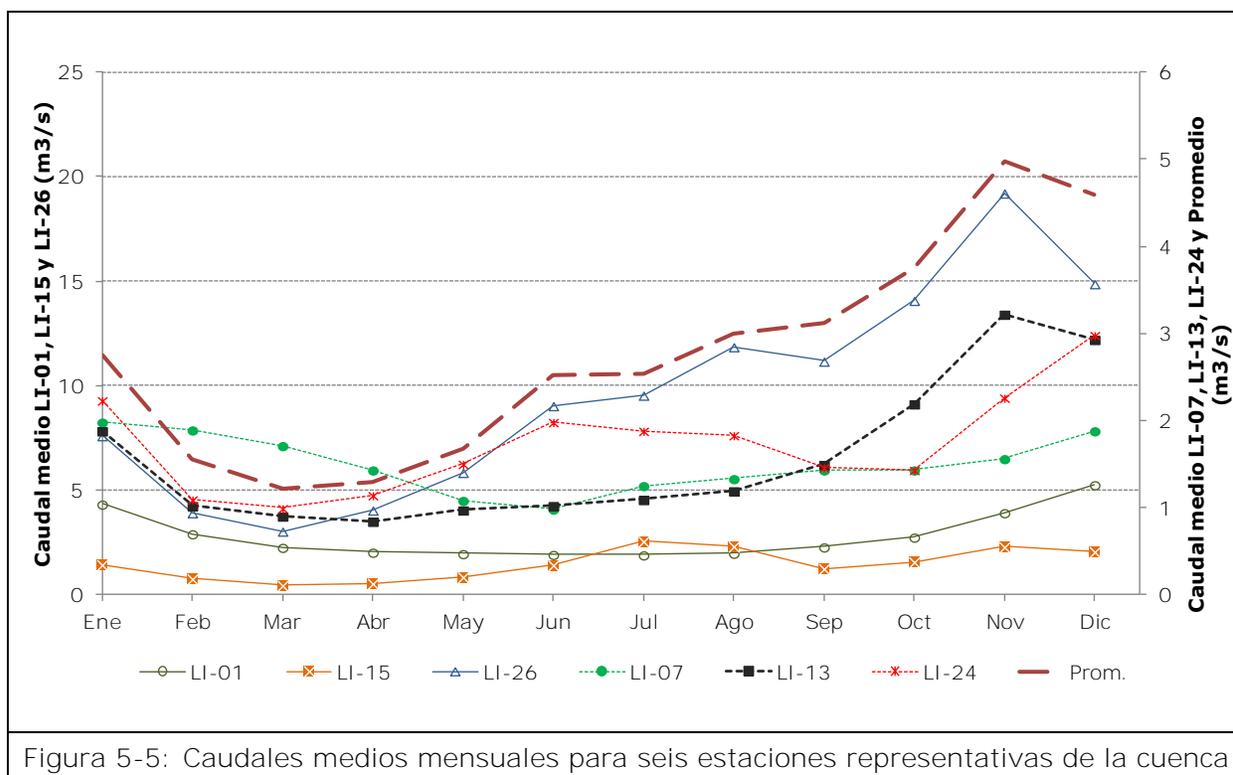


Figura 5-5: Caudales medios mensuales para seis estaciones representativas de la cuenca

5.3.3 Análisis de frecuencia para 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. En la Figura 5-6 se presentan los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia. Además en las Tabla 5-8 y Tabla 5-9 se presentan los caudales mensuales para 85% y 95% de excedencia por ser valores utilizados por la DGA para la gestión de aguas.

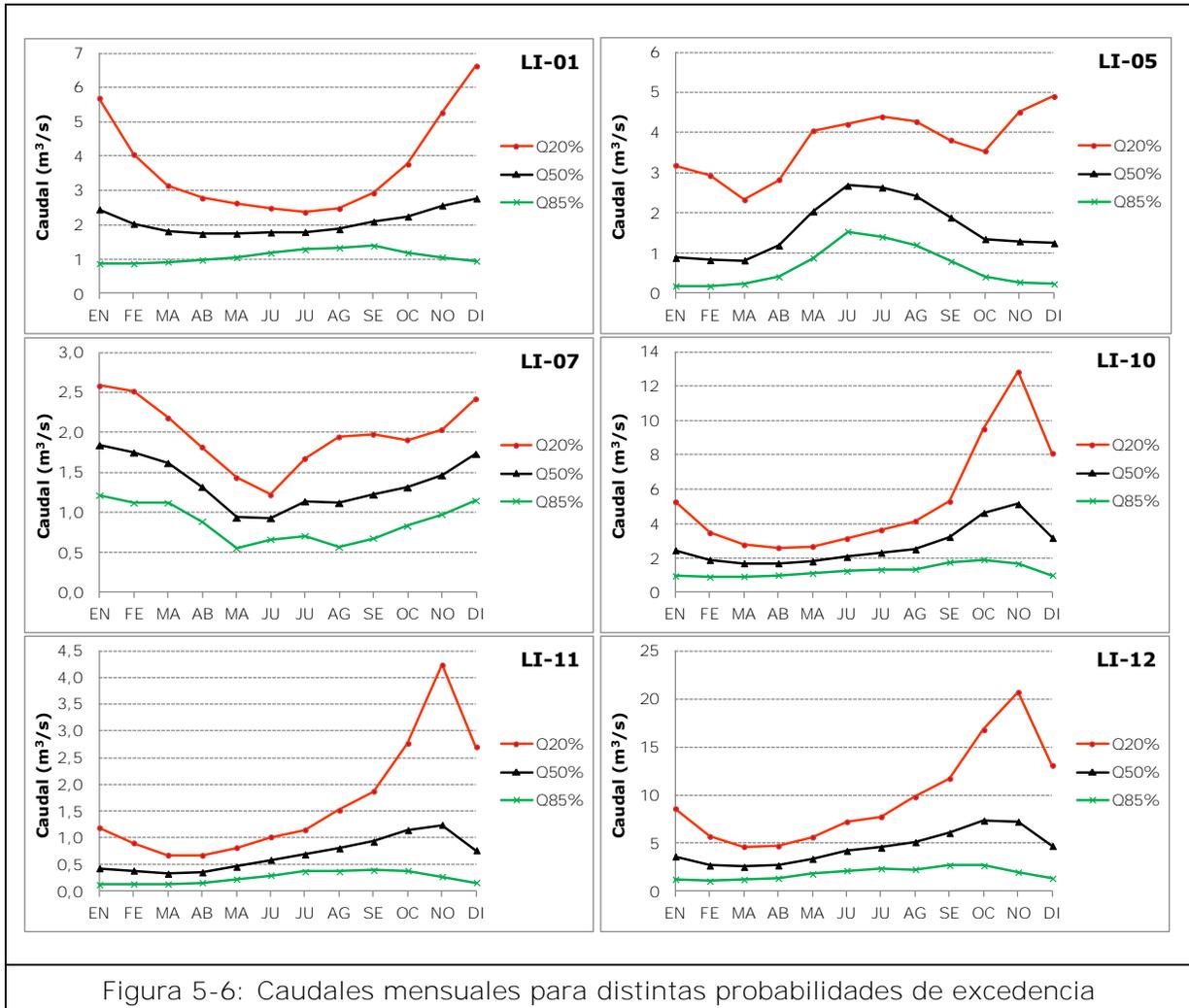


Figura 5-6: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia

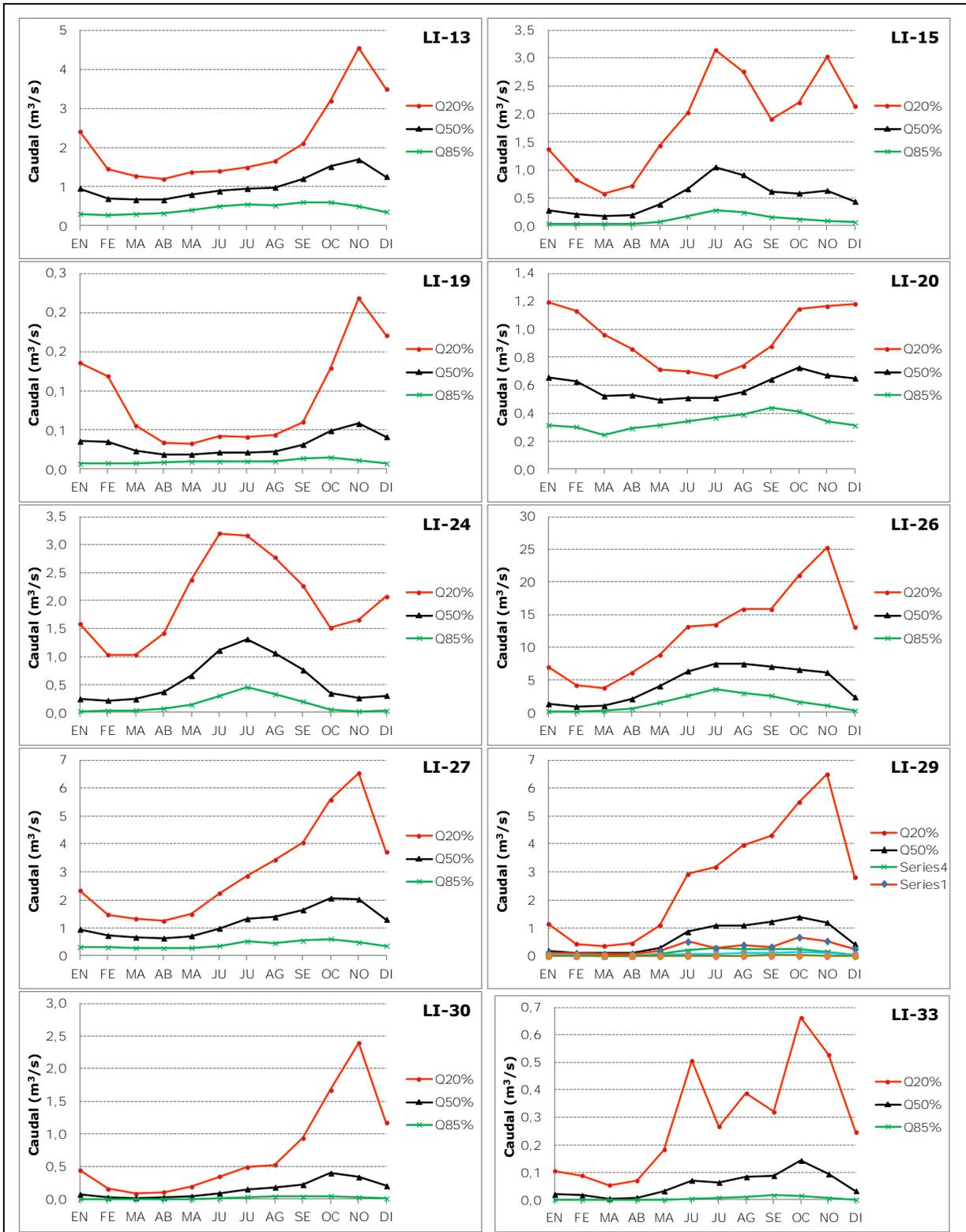


Figura 5-7: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia (continuación)

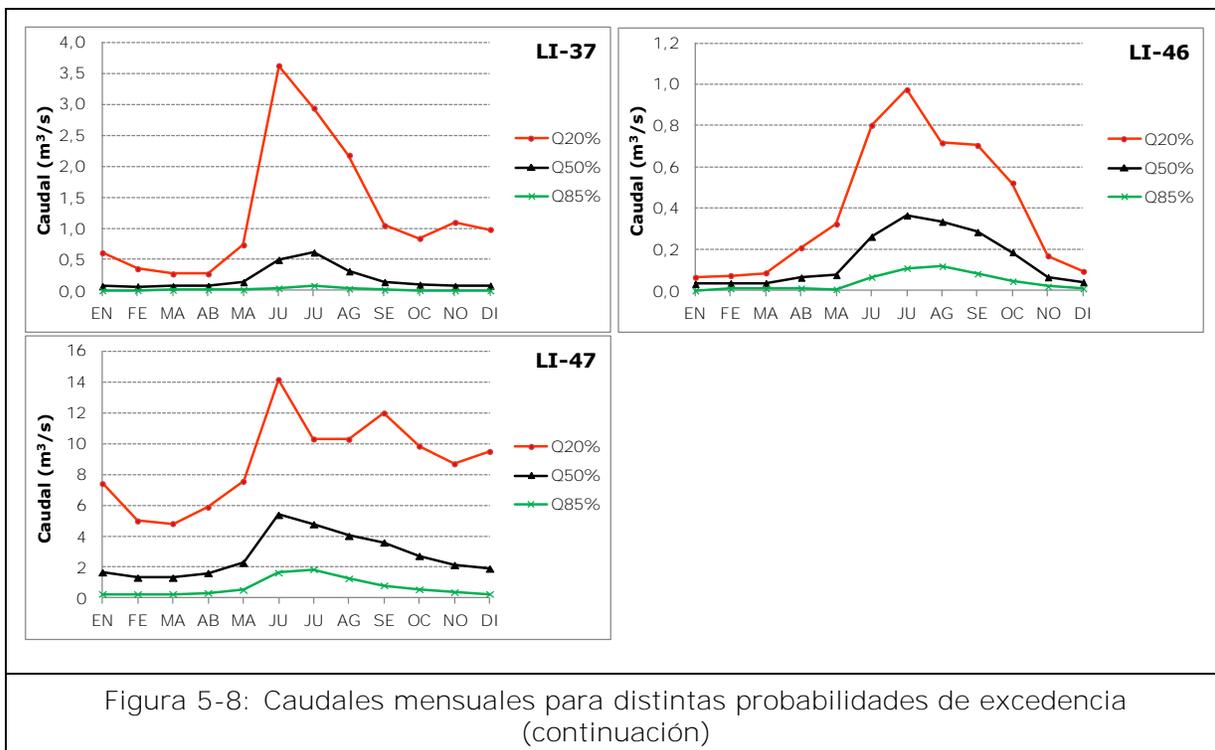


Figura 5-8: Caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia (continuación)

Tabla 5-8. Caudales mensuales para un 85% de probabilidad de excedencia (L/s)

No.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
LI-01	866	864	917	970	1046	1173	1274	1327	1383	1180	1053	942	1283
LI-05	181	173	226	407	875	1535	1402	1206	790	409	278	230	824
LI-07	1214	1117	1118	888	551	663	708	566	678	829	976	1148	1088
LI-10	954	891	926	999	1104	1234	1311	1343	1757	1905	1661	1000	1552
LI-11	124	136	136	162	227	300	367	368	392	387	275	163	332
LI-12	1246	1055	1216	1350	1795	2152	2353	2279	2693	2666	1987	1341	2663
LI-13	306	275	297	317	405	500	548	515	606	601	497	357	543
LI-15	38	35	37	38	75	166	274	234	152	113	92	61	155
LI-19	7	8	8	9	9	10	10	10	14	15	11	7	12
LI-20	314	302	246	291	315	345	367	388	436	414	341	311	397
LI-24	20	27	39	70	136	300	445	326	197	54	22	28	233
LI-26	169	137	204	543	1541	2586	3546	2919	2584	1563	1074	287	1980
LI-27	312	300	280	270	286	354	511	452	537	603	476	356	591
LI-29	19	14	12	6	50	187	290	223	256	251	148	35	244
LI-30	0	0	0	0	0	10	33	38	37	48	25	9	28
LI-33	0	0	0	0	0	4	7	8	15	15	5	0	10
LI-37	0	4	9	13	12	36	78	28	11	4	0	0	31
LI-46	0	10	11	12	7	66	109	118	82	46	20	11	84
LI-47	266	257	266	331	522	1638	1859	1269	819	562	381	264	1110

Tabla 5-9. Caudales mensuales para un 95% de probabilidad de excedencia (L/s)

No.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
LI-01	471	524	615	690	776	921	1043	1085	1085	811	625	501	903
LI-05	71	69	106	217	533	1108	969	801	475	203	113	86	483
LI-07	951	859	901	704	404	544	536	380	479	633	769	902	921
LI-10	548	574	650	734	830	914	943	932	1230	1132	857	508	1031
LI-11	59	74	81	102	150	202	254	233	236	204	113	65	192
LI-12	667	611	788	902	1240	1454	1600	1421	1672	1469	931	641	1717
LI-13	157	161	186	206	273	358	396	353	405	350	243	170	341
LI-15	12	13	15	14	29	74	124	105	67	43	30	19	70
LI-19	3	3	4	6	6	6	6	6	9	7	4	3	5
LI-20	204	197	159	205	241	274	302	315	348	297	230	202	300
LI-24	2	4	14	26	54	139	236	163	89	18	3	7	105
LI-26	51	46	79	248	876	1528	2304	1689	1438	674	386	83	1056
LI-27	162	179	169	165	167	195	293	235	280	293	204	167	341
LI-29	5	2	0	0	10	77	134	88	102	93	44	4	103
LI-30	0	0	0	0	0	0	9	0	13	0	2	0	9
LI-33	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
LI-37	0	0	0	3	0	4	13	7	3	0	0	0	8
LI-46	0	0	0	0	0	29	54	0	0	0	10	0	48
LI-47	91	98	104	130	220	815	1068	644	343	222	138	83	507

5.4 DEMANDA HÍDRICA

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

Adicionalmente, se definió la demanda ambiental definida por los caudales ecológicos, utilizando dos escenarios dados por las metodologías establecidas en la propuesta de modificación del código de aguas en tramitación actualmente.

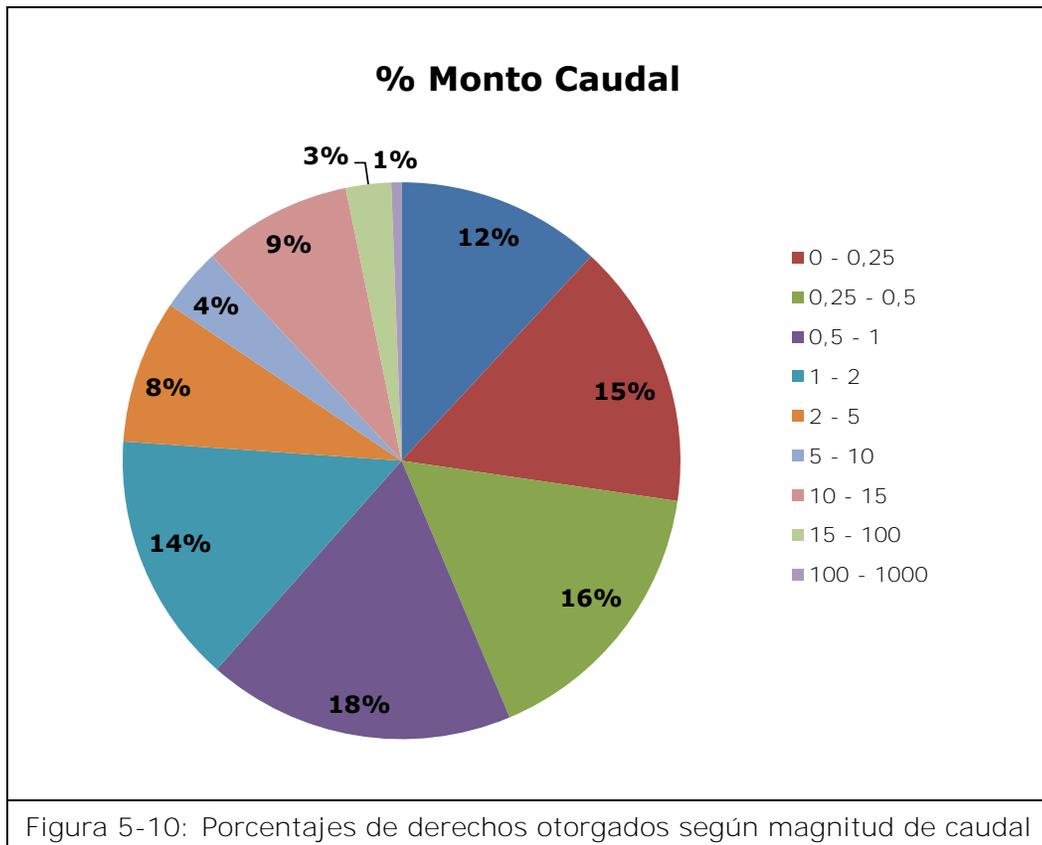
5.4.1 Análisis de información Catastro Público de Aguas

En la Figura 5-9 se muestran los derechos, las solicitudes en trámite y las regularizaciones de agua superficial que han sido enviados al juzgado de letras. Cabe señalar que del total de derechos otorgados, se pudo georreferenciar sólo el 15%.

El 53% de los derechos se encuentra en la comuna de Combarbalá, mientras que el 21% está localizado en la comuna de Monte Patria.

A continuación se realiza un análisis de la información de los derechos en la cuenca. Para efectos de este análisis se considerará que una acción equivale a un caudal de 1 L/s.

La Figura 5-10 presenta el porcentaje de derechos otorgados según su magnitud de caudal, se observa que un 62% de los derechos se han otorgado por menos de 2 L/s, y sólo un 1% tiene un caudal asociado mayor a 1.000 L/s



En la Figura 5-15 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 se observa que hubo un otorgamiento alto de caudal, el cual vuelve a estabilizarse hasta el año 2010, en donde se observa nuevamente un aumento.

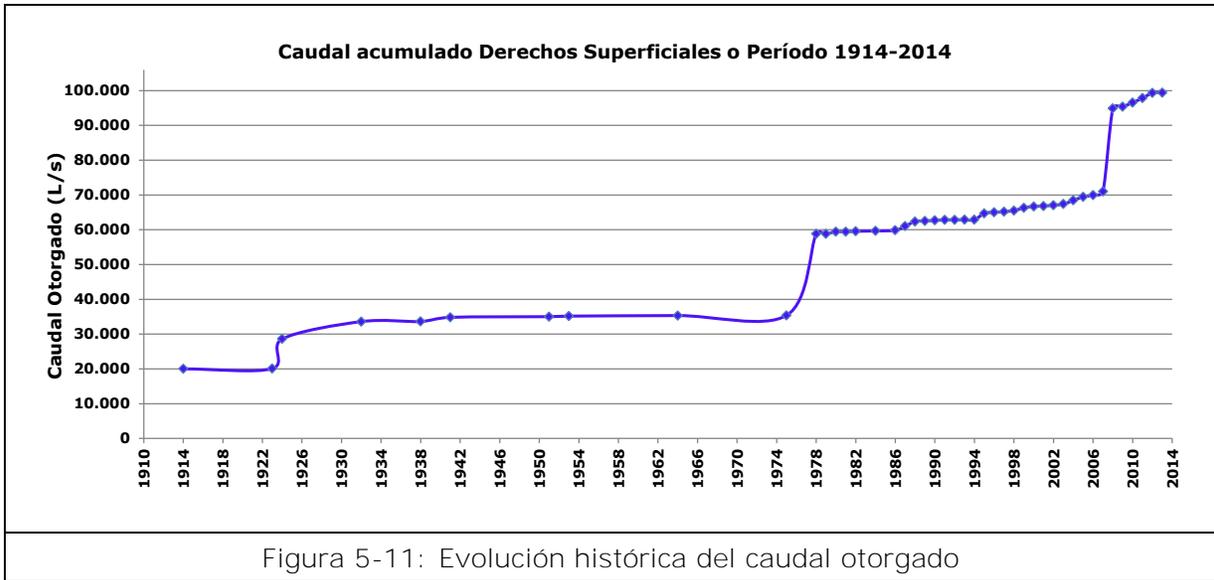


Figura 5-11: Evolución histórica del caudal otorgado

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 5-12, en donde también se muestra la evolución del caudal asociado a regularizaciones de derechos, referentes al 2^{do} 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.

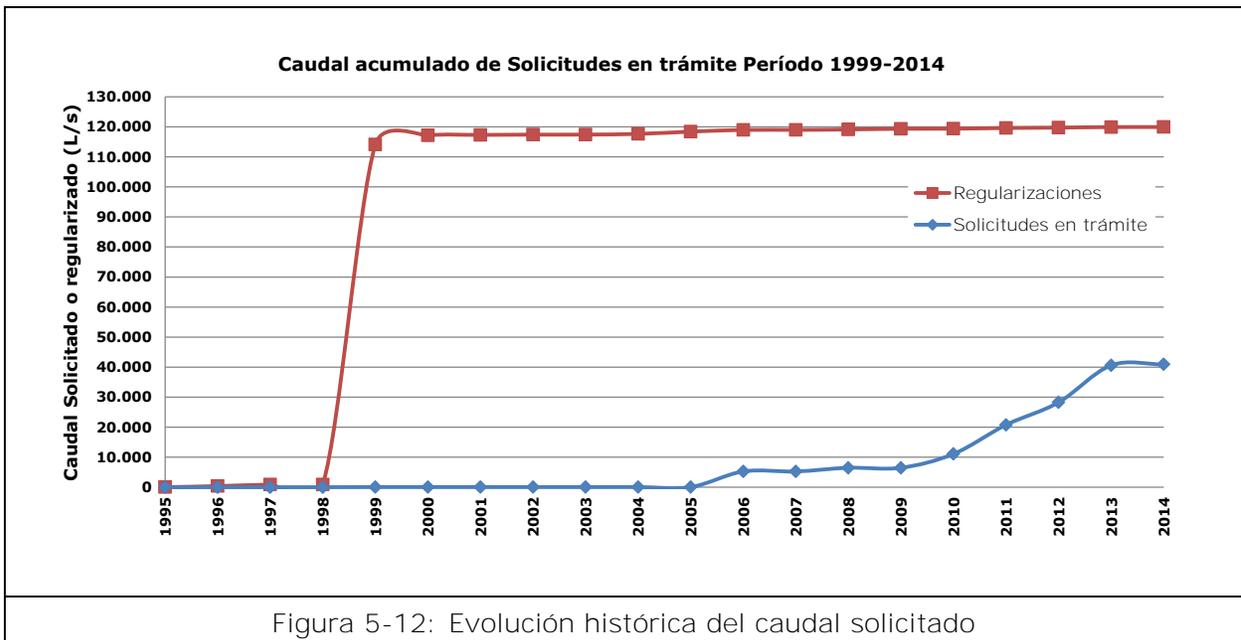


Figura 5-12: Evolución histórica del caudal solicitado

5.4.2 Levantamiento de información de demanda en terreno

En la Tabla 5-10 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 5-10. 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	Se acordó que enviarían información en un pendrive, pero a la fecha no se ha recibido
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
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

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 GeoH 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, dado esto, no han presentado mayores problemas considerando la sequía que afecta la zona, y
- 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 cuanto 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 m³ (750 millones de m³ Paloma, 150 millones de m³ Cogotí y 100 millones de m³ Recoleta),
- el Sistema Paloma establece para cada temporada agrícola de condiciones normales, la asignación de 320 millones de m³, 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 m³, se declara dotación libre (1 L/s por acción aprox.),
 - entre 500 y 1.000 millones de m³, dotación máxima de 320 millones de m³ (temporada agrícola normal),
 - menor a 500 millones de m³, 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 m³ y para los embalses Cogotí y Recoleta 16 millones de m³).
- 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 m³/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.

5.4.3 Demanda hídrica usuarios de Juntas de Vigilancia

De acuerdo a información de las Juntas de Vigilancia (en base a las reuniones concretadas e información de la DGA) se tiene un total de 32.997 acciones.

Para determinar la demanda de los usuarios en cada subcuenca, se distribuyeron las acciones según la jurisdicción de cada Junta de Vigilancia (de acuerdo a la Figura 5-13). Como se puede observar, la Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí abarca 3 subcuencas, por lo que se procedió a distribuir sus acciones de acuerdo a las hectáreas regadas en cada subcuenca. Así, la subcuenca Río Limarí tiene el 86% del total de acciones de la Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí.

En la Tabla 5-11 se muestra el total de acciones por cada subcuenca, y su equivalencia en m³/s. Para determinar el monto del caudal se utilizaron las equivalencias mostradas en la Tabla 5-1 (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.

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.

Tabla 5-11. Demanda hídrica de usuarios por subcuenca

Subcuenca	Acciones	Caudal (m³/s)
Río Grande Alto (hasta arriba junta Río Rapel)	4.288	4,3
R. Grande Medio (arriba Junta R. Rapel y R. Guatulame o Muro Emb. Paloma)	3.622	0,5
Río Grande Bajo (entre Embalse Paloma y Río Hurtado)	1.087	1,1
Río Limarí	12.158	12,2
Río Hurtado	3.844	3,8
R. Guatulame (Muro Embalse Paloma)	7.999	3,3

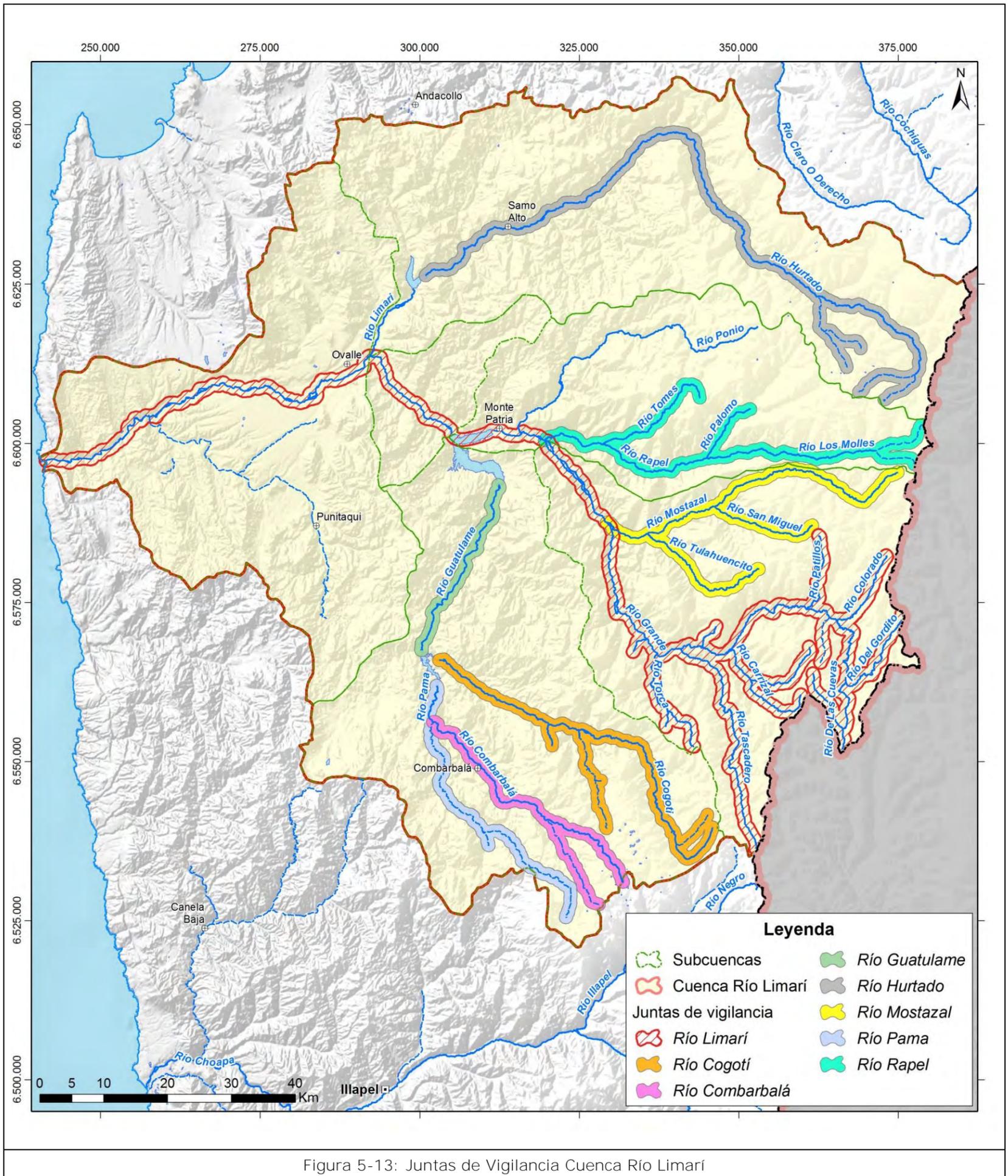


Figura 5-13: Juntas de Vigilancia Cuenca Río Limarí

5.4.4 Estimación demanda de riego

La demanda hídrica en la cuenca está representada principalmente por la demanda agrícola (CONIC-BF, 2013).

Para determinar la demanda hídrica de riego, 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 5-14.

Tabla 5-12. Área de riego en subcuencas

Subcuenca	Área de riego (Há)
Rio Grande Alto (hasta arriba junta Rio Rapel)	3.051
R. Grande Medio (arriba Junta R. Rapel y R. Guatulame o Muro Emb. Paloma)	2.935
Rio Grande Bajo (entre Embalse Paloma y Rio Hurtado)	2.628
Rio Limarí	29.399
Rio Hurtado	3.650
R. Guatulame (Muro Embalse Paloma)	10.263

Además, se tiene información de la Evapotranspiración Potencial mensual para cada zona de riego (*ETR*), la cual fue llevada a nivel de subcuenca (Tabla 5-13), y de los coeficientes de cultivo (*Kc*) para las especies presentes en la cuenca (Tabla 5-14).

Tabla 5-13. Evapotranspiración Potencial por subcuenca (mm)

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Grande Alto (hasta arriba junta Rio Rapel)	171	159	157	122	112	62	79	96	105	150	143	180
R. Grande Medio (arriba Junta R. Rapel y R. Guatulame o Muro Emb. Paloma)	172	155	147	110	94	54	65	82	95	139	143	177
Rio Grande Bajo (entre Embalse Paloma y Rio Hurtado)	170	143	121	82	55	35	34	51	73	113	139	167
Rio Limarí	154	129	110	74	50	32	31	46	66	102	126	152
Rio Hurtado	176	154	138	99	77	46	51	68	86	130	145	177
R. Guatulame (Muro Embalse Paloma)	189	165	148	106	83	49	55	73	92	139	155	190

Fuente: Modificado de (CONIC-BF, 2013)

Tabla 5-14. Coeficiente de cultivo por especie (Kc)

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9
Vid Mesa	0,9	0,9	0,8	0,5	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9
Vid Pisco	0,9	0,9	0,8	0,5	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9
Vid Vino	0,9	0,8	0,5	0	0	0	0	0,45	0,75	0,9	0,9	0,9
Alcachofa	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1	1	1	1
Tomate	0	0	0	0	0	0	0,45	0,75	1,2	0,85	0,8	0,6
Morrón	1,2	0,8	0,4	0	0	0	0	0	0,45	0,75	1,2	1,2
Poroto	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,7	1	0,8	0,6
Papa	0,85	0,5	0	0	0	0	0	0,4	0,75	0,9	1,15	1,15
Maíz	0,85	0,5	0	0	0	0	0	0,4	0,75	0,9	1,15	1,15
Trigo	0,3	0	0	0	0	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	0,8
Praderas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: (CONIC-BF, 2013)

Posteriormente, se determina un Coeficiente de Cultivo (Kcp) para cada subcuenca (A_{RIEGO_i}) de la siguiente forma:

$$Kcp = \frac{(\sum_{i=1}^{12} Kc_i * A_{RIEGO_i})}{A_{RIEGO}}$$

Coeficiente de uso consuntivo mensual en todo el sector de riego

Finalmente, se calcula la demanda hídrica en cada subcuenca de acuerdo a la fórmula:

$$DH_R = 10 * Kcp * ETR * A_{RIEGO}$$

Demanda Hídrica Sector de Riego [m^3 /mes]

En la Tabla 5-15 se presentan las demandas hídricas mensuales estimadas para cada subcuenca.

Tabla 5-15. Demanda Hídrica en subcuenca (m^3 /seg)

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Grande Alto (hasta arriba junta Rio Rapel)	1,8	2,9	0,5	0,9	0,8	0,1	1,0	1,2	0,2	1,7	1,8	2,2
R. Grande Medio (arriba Junta R. Rapel y R. Guatulame o Muro Emb. Paloma)	1,6	2,8	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	1,2	1,6	1,6	2,0
Rio Grande Bajo (entre Embalse Paloma y Rio Hurtado)	1,4	2,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	1,1	1,3	1,6
Rio Limari	13,9	20,7	3,1	1,0	0,2	0,3	0,3	5,0	9,0	12,8	14,9	17,8
Rio 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
R. Guatulame (Muro Embalse Paloma)	6,3	10,3	1,1	0,2	0,0	0,1	0,2	2,7	4,2	5,9	6,4	7,8

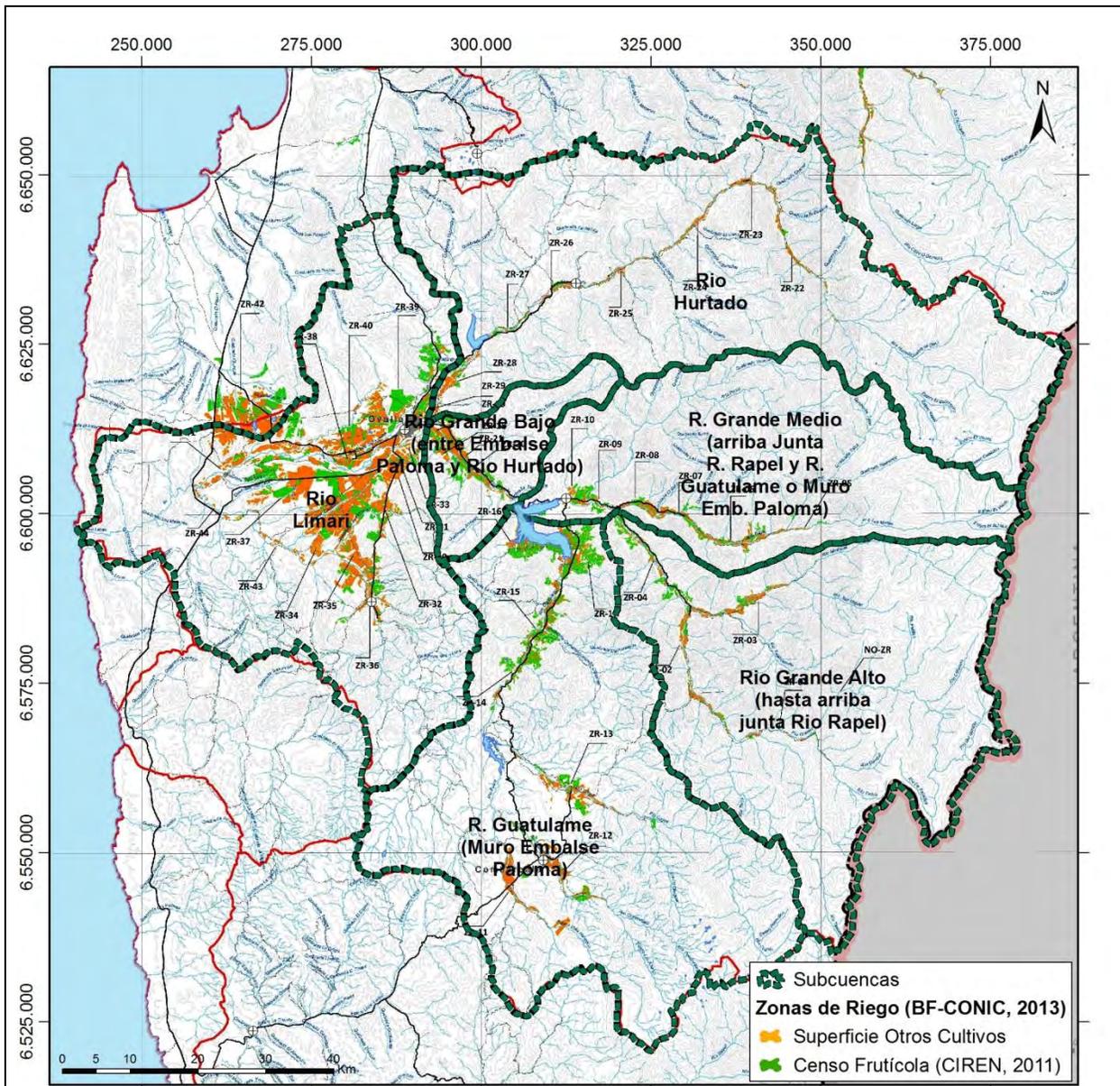


Figura 5-14: Zonas de riego y subcuencas en Limarí

Fuente: Modificado de (CONIC-BF, 2013)

5.4.5 Estimación del Caudal Ecológico

Dentro de los objetivos de este estudio se encuentra el evaluar los efectos que tendría en los usuarios del recurso hídrico establecer caudales ecológicos retroactivos, específicamente su impacto en los derechos de agua ya otorgados. Es importante mencionar que el caudal ecológico define el caudal mínimo que debería tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica (DGA, 2002).

Para esta estimación se recopilaron caudales ecológicos presentados principalmente en expedientes de solicitud de derechos de aprovechamiento de agua, además de su estimación a partir de los registros fluviométricos de la cuenca.

En el capítulo 2 se presentan las metodologías históricas presentadas por la DGA para la estimación del caudal ecológico. Si bien la metodología que rige en la actualidad corresponde a la presentada el año 2012, ésta no ha sido utilizada para la entrega de nuevo derechos de aprovechamiento por lo que en la práctica la última metodología corresponde a la del año 2008. A su vez, durante el año 2014 presentó una resolución que modifica la resolución de 2012 (DGA, 2014). La estimación a partir de la nueva normativa no presenta variaciones con respecto a la del año 2008. En la Tabla 5-16 se presentan los valores estimados para cada estación. Aunque existen estaciones en las que todas las estimaciones tienen valores similares, en general a partir de la metodología del 2014b es con la que se obtienen valores más bajos para el caudal ecológico y la de 2014a las estimaciones más conservadoras. Es importante mencionar que si bien desde el punto de vista estadístico es posible estimar el caudal ecológico para cada estación, aquellas que se encuentran aguas debajo de los embalses se encuentran influenciadas por la operación de éstos, por lo que este valor no es representativo del régimen natural. Para estos casos la estimación correcta sería la suma de los afluentes aguas arriba de los embalses. Por ejemplo, para el caso del río Limarí en la desembocadura el caudal ecológico sería la suma de los estimados a partir de las estaciones LI-05, LI-26, LI-29, LI-30 y LI-33.

Además, en la cuenca se recopilaron seis expedientes de solicitud de derechos de aprovechamiento de agua con estimaciones de caudal ecológico mínimo. De estos, un **expediente ingreso en el año 2004 y los otros en la década del '90, por lo tanto todos** están estimados a partir de una metodología distinta a los caudales presentados en este estudio. En la Figura 5-15 se presentan los caudales ecológicos recopilados y el promedio anual de los estimados a partir de la metodología de 2014a a modo de referencia.

Tabla 5-16. Estimación de caudales ecológicos mínimos (L/s).

Oeco		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
LI-01	2014a	275	275	308	345	388	460	522	542	543	405	313	275	388
	2014b	235	262	308	345	388	460	522	542	543	405	313	251	381
LI-05	2014a	300	300	300	300	300	554	484	400	300	300	300	300	345
	2014b	36	35	53	109	267	554	484	400	237	102	56	43	198
LI-07	2014a	300	300	300	300	202	272	268	190	240	300	300	300	273
	2014b	300	300	300	300	202	272	268	190	240	300	300	300	273
LI-10	2014a	388	388	388	388	415	457	472	466	615	566	428	388	447
	2014b	274	287	325	367	415	457	472	466	615	566	428	254	410
LI-11	2014a	123	123	123	123	123	123	127	123	123	123	123	123	124
	2014b	30	37	41	51	75	101	127	116	118	102	57	33	74
LI-11	2014a	724	724	724	724	724	727	800	724	836	735	724	724	741
	2014b	333	306	394	451	620	727	800	710	836	735	465	321	558
LI-13	2014a	157	157	157	157	157	179	198	177	202	175	157	157	169
	2014b	78	80	93	103	137	179	198	177	202	175	121	85	136
LI-15	2014a	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
	2014b	6	6	8	7	15	37	62	53	33	22	15	10	23
LI-19	2014a	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	2014b	1	2	2	3	3	3	3	3	4	4	2	1	3
LI-20	2014a	102	99	79	103	121	137	140	140	140	140	115	101	118
	2014b	102	99	79	103	121	137	140	140	140	140	115	101	118
LI-24	2014a	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178
	2014b	1	2	7	13	27	70	118	82	45	9	1	4	31
LI-26	2014a	934	934	934	934	934	934	1.152	934	934	934	934	934	952
	2014b	25	23	40	124	438	764	1.152	844	719	337	193	42	392
LI-27	2014a	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229
	2014b	81	90	85	82	84	97	146	117	140	147	102	83	105
LI-29	2014a	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
	2014b	3	1	0	0	5	38	67	44	51	46	22	2	23
LI-30	2014a	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	2014b	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	1	0	1
LI-33	2014a	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	2014b	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
LI-37	2014a	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
	2014b	0	0	0	1	0	2	6	3	1	0	0	0	1
LI-46	2014a	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	2014b	0	0	0	0	0	15	27	0	0	0	5	0	4
LI-47	2014a	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983
	2014b	45	49	52	65	110	407	534	322	172	111	69	41	165

5.5 BALANCE OFERTA-DEMANDA

Para la representación hidrológica de la cuenca del río Limarí y la estimación del balance entre oferta y demanda de recursos hídricos, se programó un modelo de simulación de caudales a nivel mensual en el software ExtendSim.

Como parte de esta sección se presenta la esquematización del programa junto a la información de entrada y supuestos utilizados. Finalmente se presenta la calibración del modelo y dos escenarios de simulación que consideran el establecimiento de caudales ecológicos en los ríos de la cuenca.

5.5.1 Modelo Hidrológico

El programa ExtendSim es una herramienta de simulación que basado en una arquitectura de módulos programados por el usuario reproduce procesos dinámicos, en este caso series de caudales mensuales en diferentes puntos de la cuenca.

Para esto utiliza como información de entrada caudales superficiales en las cuencas de cabecera, información de demandas reales e información de estimaciones de caudales ecológicos para cada tramo del río.

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.

5.5.1.1 Esquematización del modelo hidrológico

Para la modelación hidrológica superficial se programaron tres módulos correspondientes a *Hidrología (H)*, *Embalse (E)*, *Bocatoma (BT)* los cuales son explicados en la sección 4.4.

Para la aplicación del modelo, se ubicaron siete módulos *BT*, una en cada una zona de riego, salvo en la correspondiente al río Hurtado donde se programaron dos módulos. Cada módulo *BT* unifica todas las bocatomas de cada zona de riego y por lo tanto agrupa la demanda hídrica en un sólo punto. La ubicación de cada módulo *BT* se presenta en la Figura 5-16.

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. Específicamente estos caudales corresponde a las estaciones LI-01, LI-07, LI-10, LI-13, LI-19, LI-20, LI-27, LI-30 y LI-33.
- Demanda hídrica. Como este es un modelo simplificado, la demanda hídrica más significativa de la cuenca del Limarí corresponde a demanda por riego (Tabla 5-15).
- Caudal ecológico mínimo. Para la modelación base se considera que este caudal es nulo, valor que será modificado para los tres escenarios de simulación.

En la Figura 5-17 se presenta un esquema de la arquitectura del modelo hidrológico.

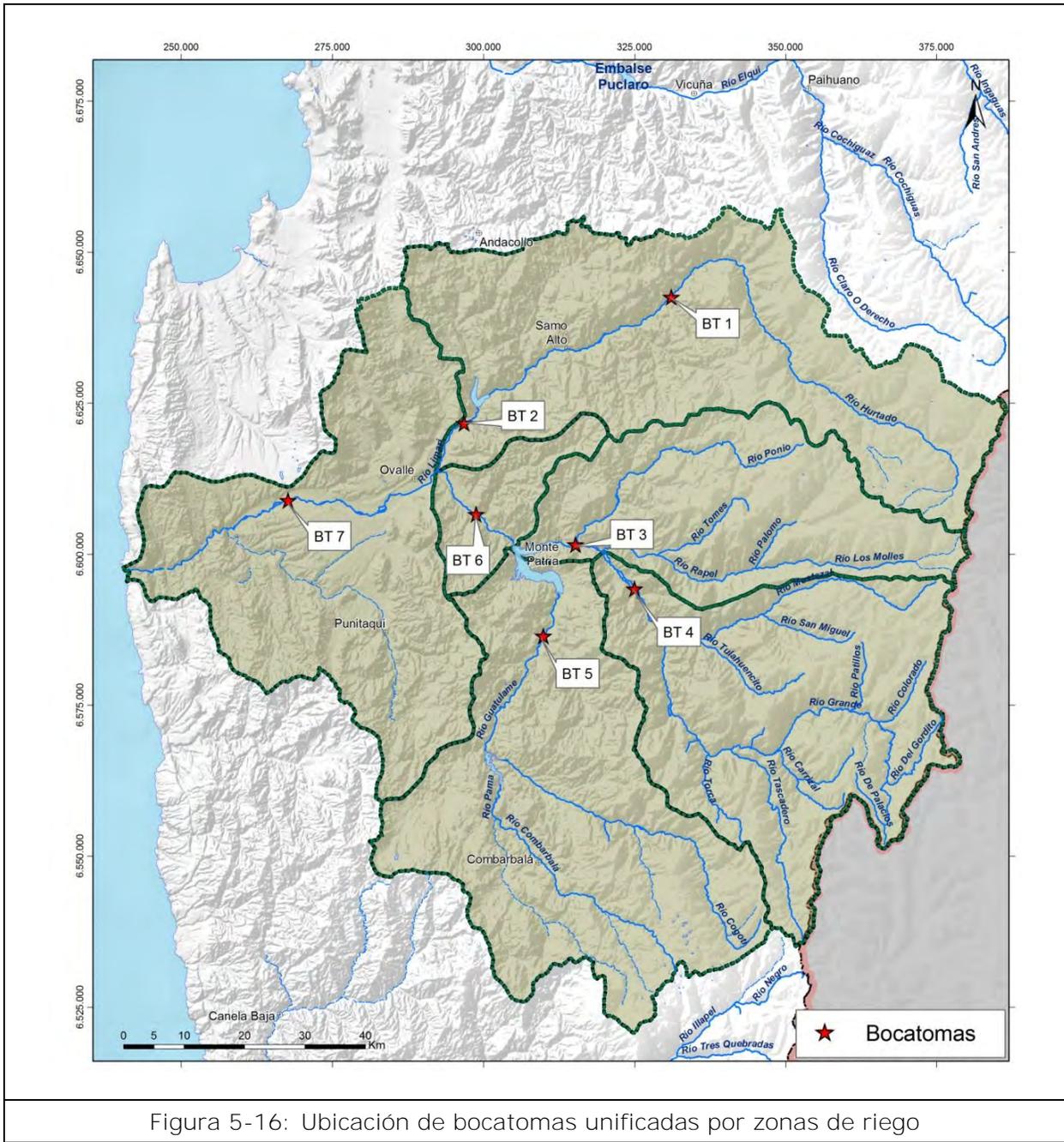
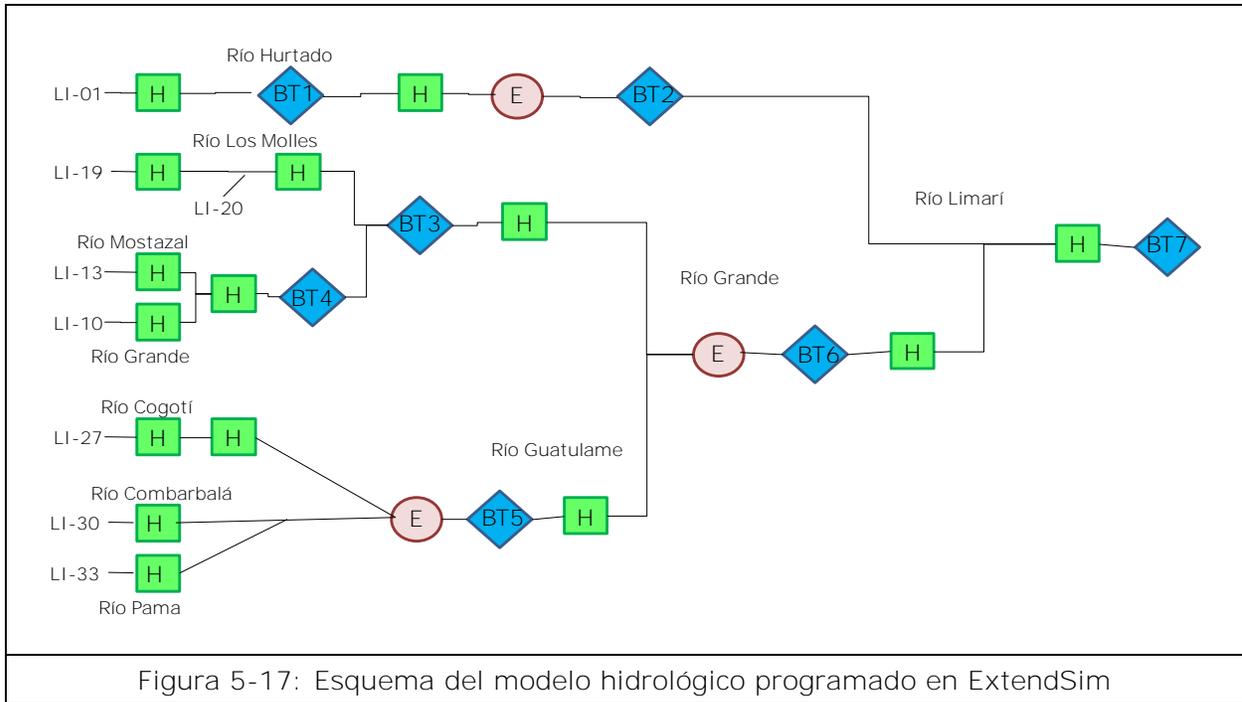


Figura 5-16: Ubicación de bocatomas unificadas por zonas de riego



5.5.1.2 Calibración del Modelo Hidrológico

La calibración del modelo se realizó en la situación actual, es decir, con caudales ecológicos establecidos en los ríos de la cuenca.

La calibración del modelo es un proceso que a través de la variación de los parámetros sensibles del modelo busca un mejor ajuste de las series de caudales simuladas.

Posteriormente los resultados de las simulaciones se comparan con la información fluviométrica a lo largo de la cuenca. Esto genera un proceso iterativo en que se ajustan las calibraciones y la representatividad física del modelo.

La calibración de los parámetros se realizó considerando los caudales superficiales históricos medidos en las estaciones fluviométricas a nivel mensual, buscando minimizar la diferencia entre los caudales. El parámetro más sensible durante la calibración es el porcentaje de pérdida o ganancia en los ríos.

Para la calibración y posterior aplicación del modelo, considerando que los embalses Paloma y Cogotí no cuentan con información fluviométrica actual del caudal de descarga, se supuso para ambos casos que el caudal de salida será 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.

Las estaciones con respecto a las cuales se calibra el modelo son: LI-05, LI-15, LI-24, LI-26, LI-29, LI-37 y LI-47. En la Tabla 5-17 se presentan los caudales medios mensuales registrados y simulados, además de la desviación estándar de éstos. Entre las Figura 5-18 y Figura 5-24 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 5-20) y LI-37 (Figura 5-23) son las que presentan un peor

ajuste en la calibración, con un error del 33% y 24%, respectivamente, en la estimación del caudal medio mensual, y con un hidrograma simulado que no representa bien las tendencias 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.

Con esta calibración se obtienen que los parámetros del modelo son:

- Desfase = 0 meses
- $K = 1$
- $x = 0,5$
- Pérdida (-)/ganancia(+): este parámetro se calibra para cada módulo H_i , con valores que van entre -15% a 35%. En la mayoría, el valor ajustado es igual a 0%.

Tabla 5-17. Caudal medio mensual observado y simulado (m^3/s).

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

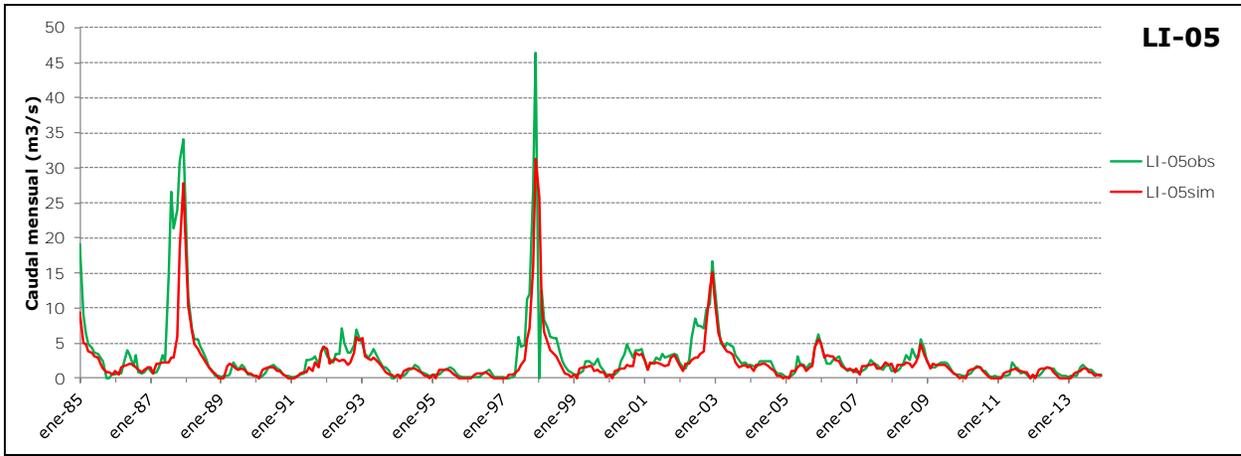


Figura 5-18: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-05

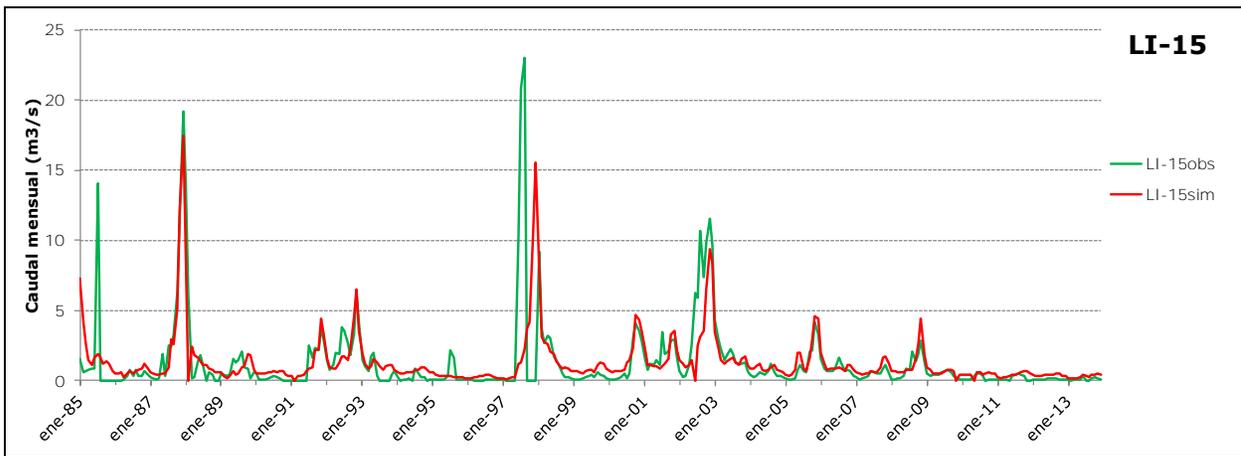


Figura 5-19: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-15

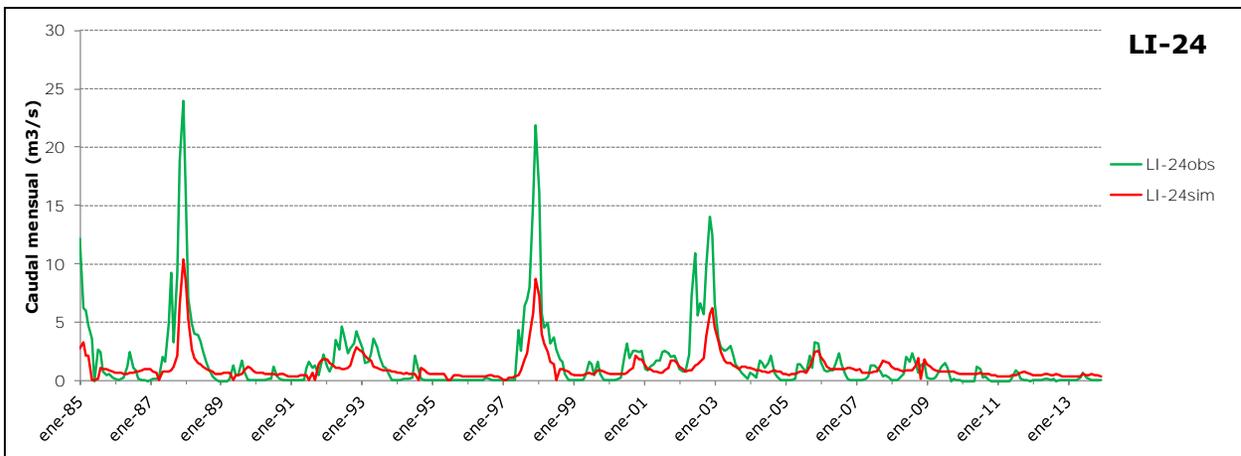


Figura 5-20: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-24

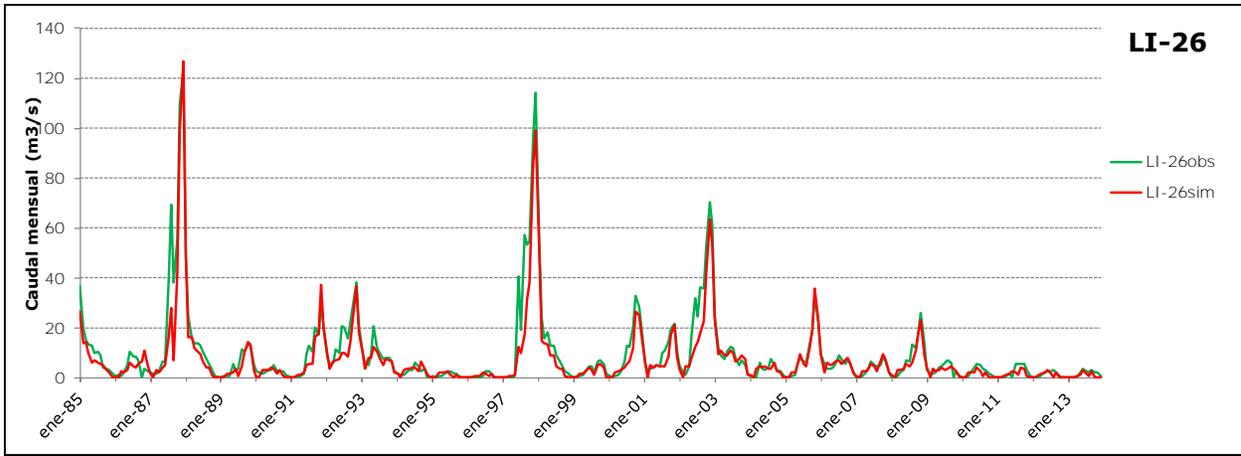


Figura 5-21: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-26

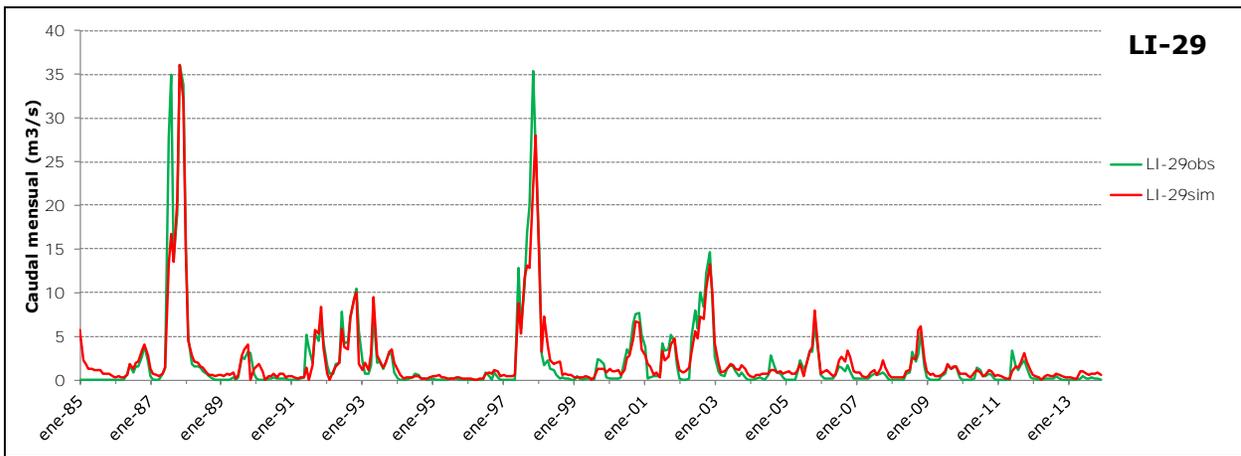


Figura 5-22: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-29

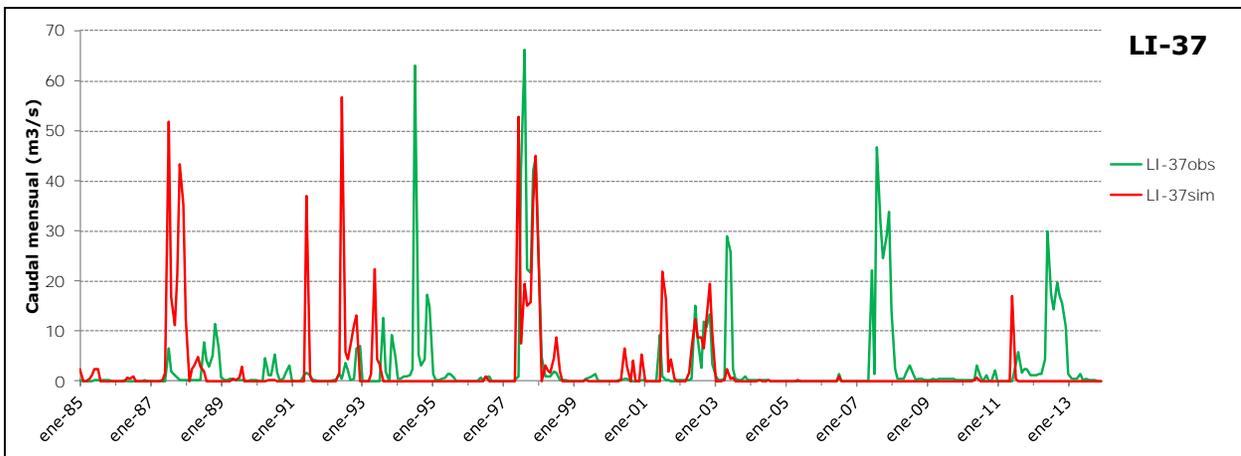
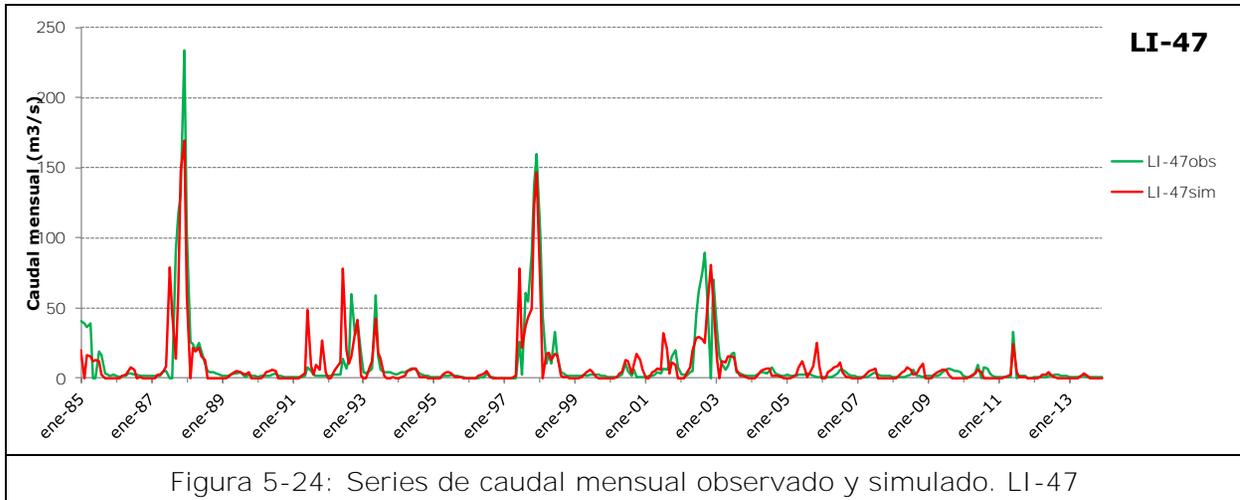


Figura 5-23: Series de caudal mensual observado y simulado. LI-37



5.5.1.3 Balance oferta demanda en situación actual

Se realizó un balance entre oferta y demanda en cada una de las bocatomas unificadas con el objetivo de analizar la satisfacción de demanda hídrica en cada zona de riego.

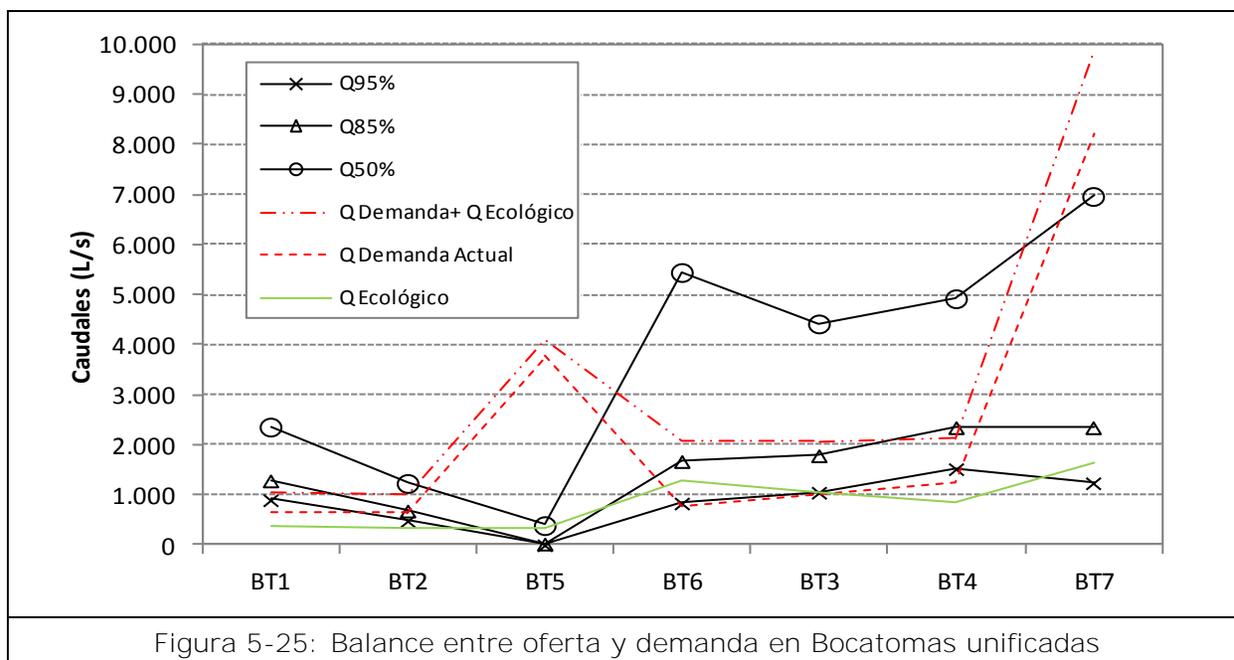
La Tabla 5-18 presenta valores característicos del régimen de caudales y valores del balance oferta demanda para cada bocatoma o sector de riego. Se observa que para todos los sectores los caudales medios anuales son del mismo orden que las desviaciones estándar de las estadísticas, indicando una gran variabilidad en los caudales. Adicionalmente se presenta los caudales asociados a 85% de probabilidad de excedencia, el cual corresponde a la disponibilidad teórica con la que se entregan derechos de aprovechamiento de carácter permanente. También se presenta el caudal de demanda actual estimada en base al Censo Agropecuario (2007) y la probabilidad de exceder la demanda, es decir, el porcentaje de tiempo en el cual la disponibilidad hídrica en el río superó al caudal de demanda. Se observa que, salvo para las bocatomas BT5 y BT7, la probabilidad de satisfacer la demanda mensual esta sobre el 79%. Para las bocatomas BT5 y BT7, esta probabilidad es de 26% y 53% respetivamente.

Tabla 5-18. Balance entre oferta y demanda en Bocatomas unificadas (L/s).

	Q Promedio Anual	Desviación Estándar	Q95%	Q Demanda	Prob Exc demanda	Q ecológico
BT1	2.797	1.689	907	645	90%	388
BT2	1.369	462	491	645	79%	345
BT5	2.590	4.259	7	3.764	26%	339
BT6	9.636	10.930	842	775	79%	1.291
BT3	6.207	5.220	1.057	1.023	83%	1.038
BT4	6.292	4.742	1.528	1.258	90%	860
BT7	11.498	12.498	1.246	8.229	53%	1.636

Los valores de la Tabla 5-18 se grafican en la Figura 5-25. En ella se observa que los caudales de demanda actual y proyectada con caudal ecológico (demanda actual + Q eco) en las bocatomas 1, 2, 6, 3 y 4 están bajo el caudal asociado al 85% de probabilidad de excedencia. No así las bocatomas 5 y 7, en las cuales se observa una situación de

escasez permanente pudiéndose satisfacer la demanda solamente con caudales asociados a más del 50% de probabilidad de excedencia.



En la Tabla 5-19 se presentan la cantidad de meses en los cuales no se cumple con la demanda de riego en cada una de las Bocatomas unificadas y el caudal demandado mensual no satisfecho. Nuevamente se observa que en cada una de las cuencas analizadas el caudal demandado es satisfecho, salvo en las Bocatomas BT5 y BT7 que presentan un alto caudal no satisfecho.

Tabla 5-19. Caudal de demanda media mensual no satisfecha.

	Meses sin cumplimiento de demanda	Déficit medio mensual (L/s)	Demanda de riego mensual (L/s)
BT1	28	50	577
BT2	32	95	577
BT3	62	258	935
BT4	37	91	1.170
BT5	203	3.117	3.395
BT6	14	333	700
BT7	123	4.956	7.356

5.5.1.4 Balance oferta demanda con caudales ecológicos

Para analizar el efecto que tendría el establecimiento de caudales ecológicos en todos los tramos de ríos con derechos de aprovechamiento, se analizaron dos escenarios de simulación a partir de las metodologías de estimación de caudales ecológicos mínimos presentando por DGA en año 2014:

- Escenario E1: caudal ecológico estimado a partir de la metodología 2014a.
- Escenario E2: caudal ecológico estimado a partir de la metodología 2014b.

Considerando el supuesto que el caudal de descarga desde el embalse La Paloma es igual al caudal afluente a éste, no se refleja su carácter regulador y que permite abastecer y suplir déficit hídrico en momentos de mayor escasez. Dado que los objetivos del estudio se centran en los efectos que tendría el establecimiento de caudales ecológicos en la disponibilidad y demanda hídrica en la cuenca, es que en esta sección se presenta la aplicación del modelo hidrológico a nivel de cuenca y la estimación de la disponibilidad hídrica mensual en el largo plazo.

En la Tabla 5-20 se presenta el déficit hídrico como promedio mensual estimado en el período comprendido entre enero de 1985 a diciembre de 2013. Como resultado a la aplicación del modelo, actualmente la cuenca presenta un déficit de 8,9 m³/s mensuales, con un 54% de la demanda de riego no cumplida considerando solamente fuentes de aguas superficiales. Este valor es mayor a la demanda no suplida estimada en el estudio CONIC-BF (2013), igual al 35%, aunque este estudio considera aguas subterráneas para el cumplimiento de demanda. Los valores de demanda no satisfecha, sí son coherentes con las estimaciones del área cultivable en la cuenca (cercano al 50% del área potencialmente cultivable).

Para los dos escenarios de simulación presentados en la Tabla 5-20, se observa que el establecimiento del caudal ecológico, aumentaría el déficit hídrico en un 4% en el caso de los caudales ecológicos estimados considerando la metodología del 2014a. Este porcentaje se traduce una demanda no satisfecha entre 200 y 700 L/s mensuales promedio.

Tabla 5-20. Déficit hídrico para los escenarios de modelación.

	Demanda por riego (m ³ /s)	Demanda Satisfecha (m ³ /s)	Déficit (m ³ /s)	Déficit (%)
Situación actual	16,4	7,5	8,9	54
Q eco, metodología 2014a	16,4	6,8	9,6	59
Q eco, metodología 2014b	16,4	7,3	9,1	55

5.6 VALORIZACIÓN ECONÓMICA

Para evaluar el valor del agua se revisó la planilla con información del Conservador de Bienes Raíces que es enviada mensualmente a la DGA (esta planilla se obtiene del portal web de la DGA).

Esta planilla contiene dato del caudal vendido, unidad y precio, entre otra información para la región de Coquimbo.

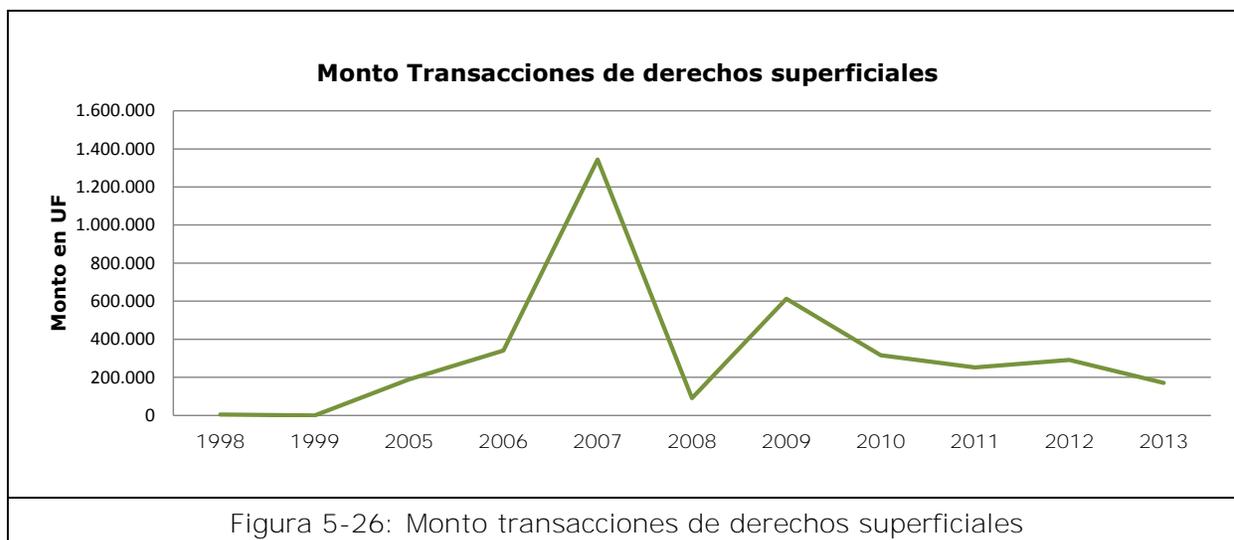
Para este análisis se consideraron las transacciones que no incluían otro bien (de acuerdo a las observaciones mencionadas de la planilla) y que fueron realizadas en los CBR pertenecientes a la cuenca del Río Limarí. Se consideró que una acción equivale a 1 L/s.

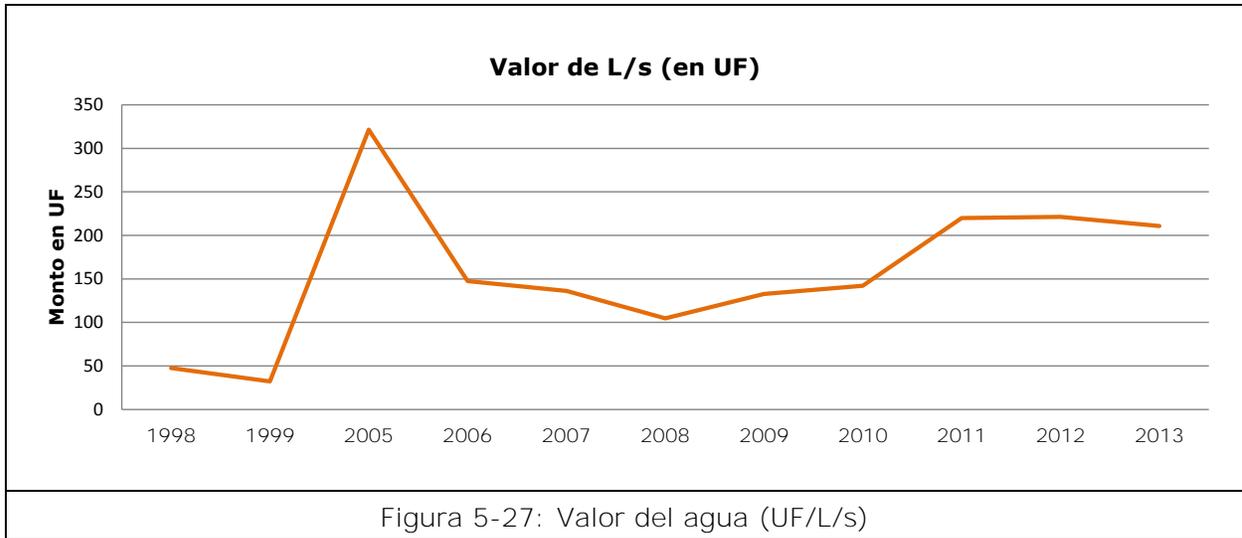
Los valores que están en pesos y dólares fueron estimados en UF de acuerdo al año en que se registra la compra venta.

Cabe señalar que hay mucha información que hay que verificar dado que hay montos bastante elevados y que podrían estar incluyendo transferencias de otros bienes y no está registrado en esta planilla.

En el gráfico de la Figura 5-26 se muestra el monto total en UF de la compraventa realizadas en la cuenca del Río Limarí. Se puede ver que en el año 2007 hubo un aumento en el monto.

En la Figura 5-27 se muestra el valor del L/s por año. Se puede ver 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.





Por otra parte, 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 tienen los siguientes valores de precio de mercado para la cuenca del Río Limarí:

Tabla 5-21. Precio de mercado (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)

De acuerdo a información recopilada, en la cuenca existe un portal del mercado electrónico del agua, pero hasta la fecha no se ha podido verificar la existencia del portal.

5.7 EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONOMICO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Esta actividad se incluirá en la siguiente entrega, la cual consiste que en base a la recopilación de antecedentes, se determinará la vocación productiva de la región relacionada al consumo de agua, logrando establecer un indicador de cantidad de litros/segundo por unidad de producción en cada sector que se verá afectado por la implementación de caudales ecológicos retroactivos.

5.8 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- Las reuniones con las juntas de vigilancia en las cuencas del río Aconcagua y Rapel se encuentran en ejecución y a la fecha se ha realizado una reunión en la primera y dos en la segunda. Una de las cosas relevantes que se han señalado en ambas cuencas es que están al tanto de las modificaciones que quieren realizarse al código de aguas y por esta misma razón los dirigentes de las juntas de vigilancia se encuentran reacios a entregar información y realizar reuniones.
- Los derechos superficiales en la cuenca del río Limarí ascienden a 1.524 derechos. De acuerdo al CPA, el 53% de los derechos se concentran en la comuna de Combarbalá, y en cuanto a caudal, el mayor monto se encuentra en la comuna de Ovalle. De acuerdo a la información de Juntas de Vigilancia, el total de acciones en la cuenca asciende a 32.997, siendo la organización más grande la Junta de Vigilancia del Río Grande y Limarí y sus Afluentes. Dada la cantidad de hectáreas de riego y el total de acciones, la subcuenca del Río Limarí es la que presenta una mayor demanda hídrica.
- Respecto de las visitas realizadas a las diferentes juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas más relevantes en la cuenca del río Limarí, de los 11 asociaciones identificadas se realizaron reuniones con 7 de ellos, quienes entregaron información de importancia para el estudio. Cabe señalar que el sistema Paloma (que regula el funcionamiento del embalse La Paloma) que es una de las organizaciones con mayor información en la región. sólo se realizó la reunión, la que fue muy provechosa, sin embargo no nos enviaron información comprometida mediante un pendrive.
- Se debe señalar que la información contenida en el CPA sobre los derechos y solicitudes en trámite no es del todo clara, dado que muchas veces incluye información de traspasos de derechos, lo que podría influir en duplicidad de información. Además no todos los derechos cuentan con información de coordenadas ni de la fuente del recurso. Finalmente, las Organizaciones de Usuarios son las entidades que manejan la información del total de usuarios y acciones en los cauces que están bajo su jurisdicción, lo que permite analizar de mejor forma la demanda hídrica.
- Con respecto a la estimación de la oferta hídrica en la cuenca, la DGA cuenta con suficiente información, temporal y espacial, que permite realizar una buena estimación de esta componente. Sólo la información es deficiente en la descarga del embalse La Paloma, que si bien cuenta con un plan de descarga completo, no existe información de caudales actualizada aguas abajo de éste siendo unas de las componentes principal del sistema. Para este análisis se consideró el período entre enero de 1985 y diciembre de 2013, es decir, los últimos 29 años de registro. Este período se escogió de acuerdo a los criterios presentado por DGA, quién manifiesta que para estos análisis al menos se debe contar con 25 años de información.
- El modelo hidrológico presentado en este documento aún se encuentra en fase de desarrollo, y por lo tanto los análisis y estimaciones presentadas están sujeto a modificaciones dependiendo del mayor entendimiento del sistema al complementar y contrastar los resultados con la información recabada en terreno.
- La aplicación del modelo supone que las demandas en cada Bocatoma unificada se va satisfaciendo desde aguas arriba hacia aguas abajo. Como consecuencia de este supuesto, aguas abajo de la cuenca se producen los mayores déficit (BT7) debido a que primero se satisfacen las demandas aguas arriba. Por esta razón, al

analizar los caudales de demanda no satisfecho se deben entender a nivel de la cuenca, y no necesariamente como demanda insatisfecha por zonas de riego.

- El supuesto en que el caudal de descarga desde el embalse La Paloma es igual a los caudales afluentes está aún en revisión debido a que se pretende de generar una serie de caudales de salida a partir de las variaciones de volumen del embalse.
- En esta versión preliminar, el modelo hidrológico simulado se ajusta bastante bien al sistema hidrológico de la cuenca, de manera que es una herramienta fiable para el análisis y comprensión de los efectos que tendría el establecimiento de caudales retroactivos en la cuenca.
- La aplicación del modelo hidrológico permite estimar los efectos que tendría el establecimiento de caudales ecológicos en aquellos tramos de la cuenca que aún no están definidos. Así se estima que de aplicarse esta normativa, el déficit hídrico de la cuenca aumentaría en un 4% equivalente a 700 L/s como caudal medio mensual.

6 EVALUACIÓN CUENCAS RÍOS ACONCAGUA Y RAPEL

El presente capítulo presenta los avances en el proceso de información realizados en las cuencas de los ríos Aconcagua y Rapel. Los avances se concentraron en las tareas más laboriosas y que requieren mayor tiempo de ejecución, como son la concertación con las entrevistas con juntas de vigilancia y el procesamiento de información fluviométrica.

Adicionalmente se ha avanzado en la construcción de los modelos de simulación de caudales en el programa ExtendSim, contándose ya con los modelos base que se encuentran en proceso de calibración.

6.1 CUENCA RÍO ACONCAGUA

El río Aconcagua nace de la junta de los ríos Juncal y Blanco, con importante aporte del río Colorado. En su recorrido recibe aportes del Río Putaendo y variados esteros, para finalmente desembocar en el sector de Con Con (Figura 6-1). Administrativamente, la cuenca está subdividida en 5 secciones, de las cuales tres cuentan con Junta de Vigilancia constituida.

De acuerdo a información del Catastro Público de aguas (CPA), en la cuenca se han otorgado 724 derechos superficiales, equivalente a un caudal de 396.982 L/s y 5.088 acciones. Las principales actividades económicas que se desarrollan en esta zona son la agricultura, minería e industria.

6.1.1 Recopilación de antecedentes

Estudios Técnicos

Se revisaron informes y estudios enfocados en recopilar información de derechos y uso de agua superficial, oferta y demanda hídrica y organizaciones de usuarios.

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.

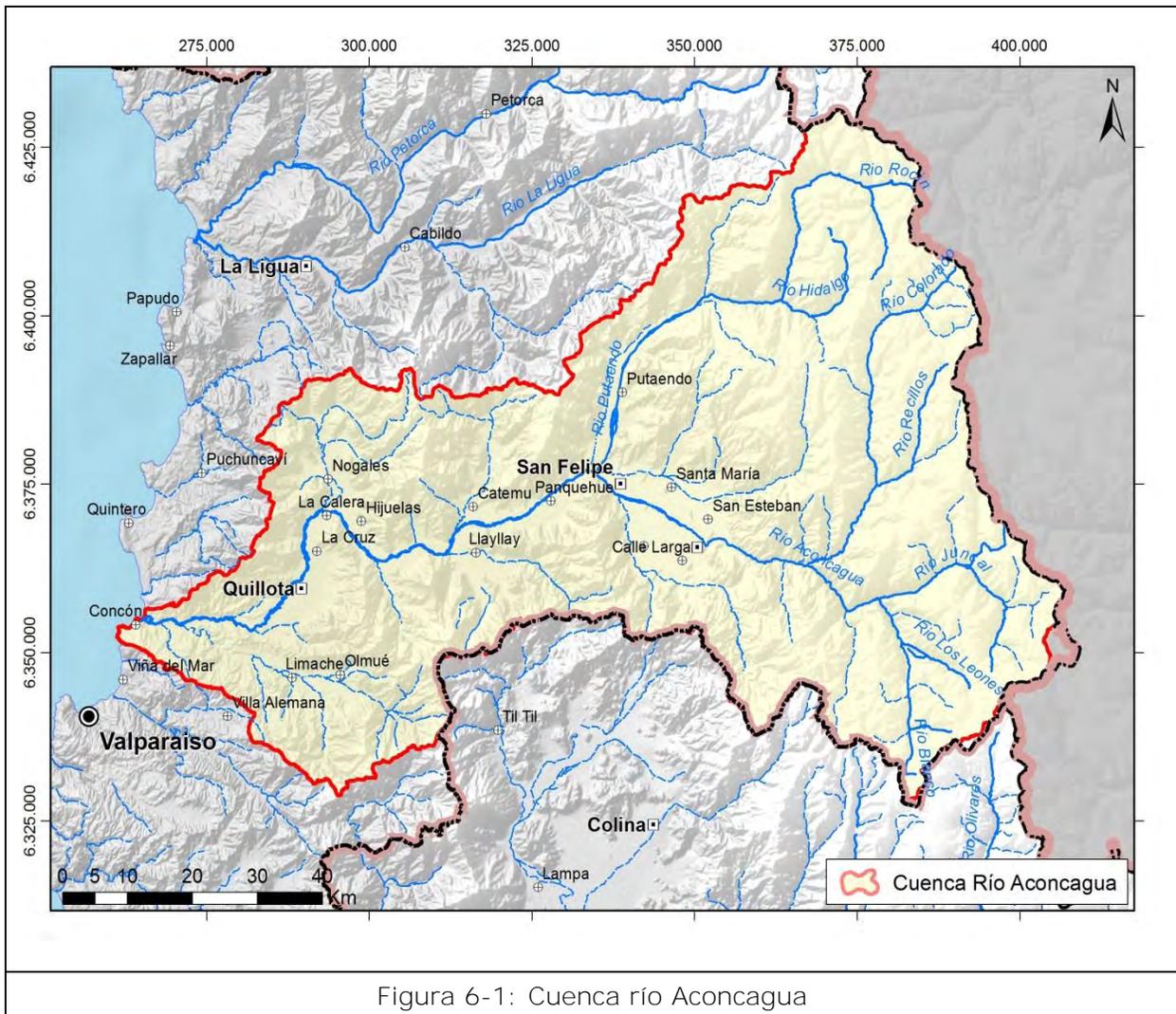


Figura 6-1: Cuenca río Aconcagua

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 m³/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.

Información Catastro Público de Aguas

En base a información del CPA, en la cuenca del Río Aconcagua hay 1.028 derechos superficiales, 176 solicitudes en trámite y 521 solicitudes que corresponden a regularizaciones ingresadas por 2do artículo transitorio, que cuentan con informe técnico DGA pero que no se tiene conocimiento de la sentencia final emitida por el juzgado de letras correspondiente. (Tabla 6-1).

Tabla 6-1. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Aconcagua

Unidad de Caudal	Derechos Otorgados		Solicitudes en Trámite		Solicitudes Artículo 2^{do} Transitorio	
	Nº Derechos	Caudal	Nº solicitudes	Caudal	Nº solicitudes	Caudal
Acciones	159	5.430				
L/s	869	415.950	176	1.068.339	521	17.514

Con respecto 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 6-2 se presentan las Juntas de Vigilancia registradas con sus respectivas acciones. Cabe destacar también que la Asociación de Canalistas Sociedad del canal Lorino o Peirano tiene 100.000 acciones, mientras que la Comunidad de Agua tiene 27.985 acciones.

Tabla 6-2. 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
NJ-0504-1	Junta de Vigilancia del Río Aconcagua Sector Quillota	11.022

6.1.2 Levantamiento de información de demanda en terreno

En la Tabla 5-10 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.

Tabla 6-3. Resumen de juntas de vigilancia contactadas en la cuenca del río Rapel

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 Hargous Gonzalo Bulnes (Director)	No	No se ha tenido respuesta
JV río Aconcagua 3ª sección	Walter Riegel (Pdte.) Santiago Matta (Gerente)	Sí	
JV río Aconcagua 4ª sección	Francisco Ottone	No	No se ha contactado
JV río Putaendo	Secretaria	No	Indicaron que la solicitud debe ser revisada por el directorio antes de entregar una respuesta

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 debajo 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 m³/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).

6.2.1 Recopilación de antecedentes

Estudios Técnicos

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 Lao, 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.

Información Catastro Público de Aguas

En la cuenca del Río Rapel hay 1212 derechos otorgados, 385 solicitudes en trámite, y 793 solicitudes que corresponden a regularizaciones ingresadas por 2do artículo transitorio, que cuentan con informe técnico DGA pero que no se tiene conocimiento de la sentencia final emitida por el juzgado de letras correspondiente.

Tabla 6-4. Derechos de aprovechamiento y solicitudes en trámite de agua superficial en cuenca Río Rapel

Unidad de Caudal	Derechos Otorgados		Solicitudes en Trámite		Solicitudes Artículo 2 ^{do} Transitorio	
	Nº Derechos	Caudal	Nº solicitudes	Caudal	Nº solicitudes	Caudal
Acciones	316	7.994				
L/s	896	1.768.216	385	3.169.378	793	257.546

6.2.2 Levantamiento de información de demanda en terreno

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 nueve 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 5-10 se presentan las juntas de vigilancia contactadas dentro de la cuenca del río Rapel, 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 6-5. 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)	No	No ha habido respuesta de la junta
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)	No	No ha habido respuesta de la junta
JV río Claro 1ª sección	Edgardo Cura O. (Pdte.) Patricio Salas (Gerente)	No	No ha habido respuesta de la junta
JV río Claro 2ª sección		No	En proceso de constitución
JV estero Zamorano	Sergio Correa E. (Pdte.) Tomás Rodríguez B. (Admin)	No	No ha habido respuesta de la junta
JV río Tinguiririca 1ª sección	Jorge Villagrán R. (Pdte.) Miguel Ángel Guzmán D. (Gerente)	No	No ha habido respuesta de la junta
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.)	No	Se conversó telefónicamente e iban a enviar información vía correo electrónico Esta JV se encuentra en proceso de constitución
Estero Guacargüe		No	
Estero las Palmas		No	
Estero Guirivilo		No	En proceso de constitución

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 m³/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 es 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 sesión del río Cachapoal" (2006) realizado por Santiago Irrarázaval Z. Hydroproyectos, para la 2ª sección de riego del río Cachapoal.

Federación de juntas de vigilancia de la VI región y junta de vigilancia del estero Chimbarongo

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 CNR.**
- **"Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad" (2004), realizado por Cade-Idepe Consultores en Ingeniería para la DGA.**
- **"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.**

7 BIBLIOGRAFÍA

Martínez, F. 2002. Preferencias de microhábitat de *Barbus bocagei*, *Chondrostoma polyepis* 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](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3FId%3D318). Fecha de consulta: 8-10-2009.

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.

Arthington, A., Pusey, B., Brizga, S., Mccosker, R., Bunn, S. & I. Growns. 1998. Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment techniques: R & D Requirements. LWRRDC Occasional paper 24/98.

Caudales ecológicos mínimos y proyectos hidroeléctricos (V Jornadas de Derecho Ambiental, Ponencia Pablo Jaeger, 2010)

Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos. Un análisis de las tendencias actuales (Endesa Chile, Marzo, 2011)

Normativas y Legislación asociada a Caudales Ecológicos en Chile (PPT Jefe de Fiscalización Francisco J. Riestra Miranda, 2011)

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)

8 ANEXOS

- Archivos recopilados en reuniones con Juntas de Vigilancia