PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUILLECO

"CONSULTORIA HIDROGEOLÓGICA SECTOR RÍO LAJA EN CONFLUENCIA CON RÍO RUCÚE"

Informe Final

Preparado por

José Francisco Muñoz

Pablo Rengifo Oyarce

Santiago, Marzo 2011

RESUMEN EJECUTIVO Y CONCLUSIONES

El siguiente reporte da cuenta de los resultados de la consultoría solicitada por el Banco Mundial a José Francisco Muñoz y Pablo Rengifo Oyarce, especialistas en las áreas de hidrogeología y recursos hídricos. El objetivo de la consultoría, fue de dar respuesta con sólido respaldo técnico a las preocupaciones expresadas por los habitantes de la zona de influencia del proyecto hidroeléctrico Quilleco. Estos denuncian que producto de la operación de las Centrales Hidroeléctricas de Rucúe y Quilleco, se ha reducido la disponibilidad de agua, tanto subterránea como superficial en el lecho del río, afectando la agricultura, el forraje y el suministro de agua potable.

El Proyecto Hidroeléctrico Quilleco consiste en una central de pasada ubicada en las riberas del río Laja y del río Rucúe, con una potencia instalada de 70 MW. Este proyecto se complementa con la Central Hidroeléctrica Rucúe (180 MW), ambas de la empresa Colbún. Las dos centrales forman un sistema en serie. Captan recursos de los ríos Laja y Rucúe y descargan en el río Laja aguas arriba del cruce de Puente Tucapel. La Central Rucúe entró en operación el año 1998 y la Central Quilleco el año 2007.

A continuación se presenta una síntesis de las principales conclusiones del estudio, las cuales responden directa o indirectamente a las inquietudes planteadas por la población.

1. La primera actividad del estudio consistió en la recopilación y revisión de antecedentes, con el objetivo de evaluar la idoneidad de la información disponible para los objetivos de la consultoría. En este sentido, una primera revisión de los estudios técnicos existentes, muestra que en base a la información disponible es posible realizar una descripción cualitativa a escala regional de los aspectos hidrológicos, geológicos e hidrogeológicos del estudio. Sin embargo, no se cuenta con información de campo en detalle, que permita la estimación precisa de los componentes del balance hídrico subterráneo en la zona.
2. Luego de una reunión con la comunidad para establecer con mayor precisión la relación de esta con los recursos hídricos en la zona y como ha cambiado su comportamiento, se estableció que los problemas descritos son transversales a gran

parte de los vecinos. En síntesis, ellos señalan que la disminución de los recursos hídricos disponibles han significado una disminución de sus actividades productivas y de agua para bebida. Esta información corresponde a descripciones orales, las cuales tienden a ser imprecisas en ubicación temporal, duración y frecuencia de los hechos, y no se presentaron, ni se indicó la existencia de registros escritos o gráficos de los mismos.

En particular, el problema más sensible para la comunidad es el cambio del lecho del río Laja, que según ellos fue causado por el desvío de los recursos hídricos superficiales que fluían naturalmente por el cauce formando islas que cambiaban su morfología año a año. Dicha alteración en la morfología del río es atribuida por la comunidad a la puesta en marcha de la Central Hidroeléctrica Rucúe. Frente a la pregunta si la situación cambió con la puesta en marcha de la Central Quilleco, las personas en general contestaron que los grandes cambios ocurrieron con la puesta en marcha de la Central Rucúe. Adicionalmente, la comunidad indicó que se produjo un cambio del tipo de suelo en el sector del cauce del río que se utilizaba para agricultura menor, pasando de constituir terrenos fértiles a convertirse en superficies de arena y grava, lo que terminó con la plantación de chacras y el forraje para animales, actividades que se realizaban históricamente en el lugar.

Finalmente, la comunidad transmitió su preocupación debido a la eventual disminución de los recursos provenientes de vertientes y esteros, que según se señaló se habría acrecentado en los últimos 10 años. A la fecha, los vecinos dicen estar dentro de los eventos más críticos, ya que se han secado algunas de las vertientes y norias utilizadas para el aprovisionamiento de agua de bebida y riego.

3. Con el objetivo de dar respuesta a la inquietud planteada por los vecinos, del supuesto cambio de morfología del río Laja en el tramo ubicado frente al área de Valle del Laja, se realizó un análisis morfométrico y un reconocimiento de unidades geomorfológicas mediante el análisis temporal de imágenes satelitales-aéreas y modelos digitales de elevación.

   En el área de análisis se distinguen cuatro unidades geomorfológicas principales presentadas en la Figura 1: una planicie alta, terrazas fluviales, un conjunto de

escarpes - taludes - conos y una llanura de inundación. El Rio Laja presenta canales múltiples trenzados, los cuales se desarrollan en la llanura de inundación y erosionan a los depósitos de los niveles aterrazados (T3 y T2) formando un grupo de islas en el sector norte del Valle del Laja, lugar donde se emplazan parte de los predios rurales.

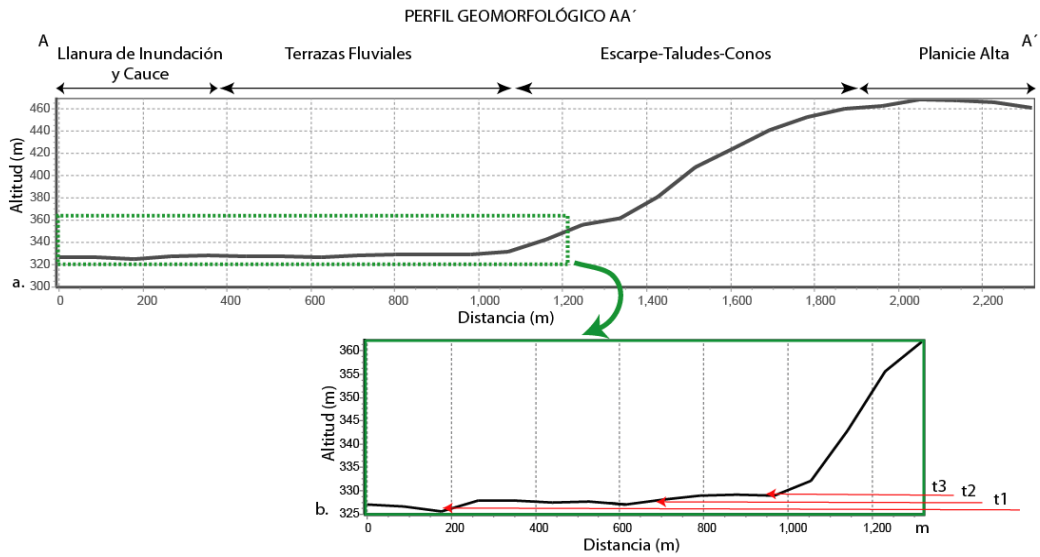

Figura 1: Perfil geomorfológico AA´

Las imágenes Landsat ETM de los años 1986 y 1998, muestran más canales activos y mayor presencia de agua en la ribera norte del río Laja, que las imágenes de enero del año 2007. El análisis de la variación de canales entre los años 2007 y 2010, muestra que no se producen nuevas migraciones en la posición del cauce y que los canales activos disminuyen en cantidad en 2010, con respecto al año 2007. No se posee información de caudales específicamente para los periodos anteriores a la fecha de la imágenes analizadas, no obstante un análisis de la precipitación asociada a los periodos previos de las imágenes indica que las condiciones hidrológicas anteriores a enero de los años 2007 y 2010, fueron precipitaciones sobre el promedio a largo plazo. Con respecto a las condiciones hidrológicas del periodo anterior al año 1998, no se puede establecer ya que se desconoce la fecha exacta en la que se tomo la imagen, por lo tanto se desconoce cual fueron las condiciones hídricas en ese entonces.

Se estableció que los eventos principales que podrían haber influido en la disminución de canales activos en el margen norte del cauce del río Laja fueron el desvío del estero Manco por el Canal Zañartu, para lo cual no se conoce fecha exacta, pero por medio de imágenes satelitales se determinó que fue anterior a 15 años y la concentración de las descargas en la ribera sur del río asociada a la entrada en operación la Central Hidroeléctrica Rucúe.

En base a estos antecedentes, se concluye que la puesta en marcha de la Central Quilleco no modificó la morfología del cauce en forma detectable, pero puede haber afectado el número de canales activos por disminución de caudal.

4. Adicionalmente se recolectó y analizó información de extracciones de canales de regadío aguas arriba del Valle del Laja, con el fin de establecer si el origen de las disminuciones de caudal superficial en el tramo analizado se asocian a incrementos en las tasas de los usos consuntivos en la zona.

   Se determinó, a través del análisis cuantitativo de los registros disponibles de extracciones, y un análisis cualitativo de los antecedentes de gestión de la cuenca, que el sistema conformado por el lago y río Laja, es uno de los sistemas hídricos de mayor explotación del país con cinco centrales hidroeléctricas en su cabecera y grandes canales de regadío, de los cuales dependen vastas áreas de riego. Más aun, el año 2000 la Dirección General de Aguas decretó que se habían entregado más derechos de agua que los disponibles físicamente en el cauce, comprometiendo incluso su caudal ecológico, y por lo tanto no era posible entregar nuevos derechos de aprovechamiento (Estudio de Disponibilidad Cuenca del Río Laja, DGA enero 2000).

   En este escenario y al menos desde hace diez años, se observa un equilibrio con respecto a los usos consuntivos de los caudales del río Laja, el que es controlado rigurosamente por los distintos actores que hacen uso de los recursos. A su vez, no se observa avances en tecnologías importantes en los canales de regadío ubicados aguas arriba del Valle del Laja, siendo estos no revestidos. No pasa lo mismo con los canales aguas abajo, los que se han desarrollado para el uso eficiente de los recursos.

Se concluye que no existen aumentos significativos en los usos de recursos hídricos superficiales aguas arriba del sector valle el Laja, exceptuando el aumento de las extracciones del canal Zañartu en 5 m^3/s, por lo tanto las variaciones de caudal en la zona del Valle del Laja de proyecto están asociadas principalmente al ingreso de la central Quilleco.

5. Con respecto a la inquietud de los vecinos acerca de la disminución de recursos hídricos en vertientes y esteros afluentes al Valle del Laja, se determinó que estos cursos de agua son alimentados por el acuífero alojado en la zona alta de la meseta presentada en la Figura 2, la cual está limitada por el río Laja por el sur, el río Huepil por el norte y el canal Zañartu por el este. Las vertientes mencionadas por los vecinos están dadas por 4 vertientes importantes: Bajada de Piedras, El Avellano, El Hoyón y Vaca Muerta, con caudales aforados de entre 1 y 170 L/s, además de múltiples vertientes impermanentes de muy bajo caudal.

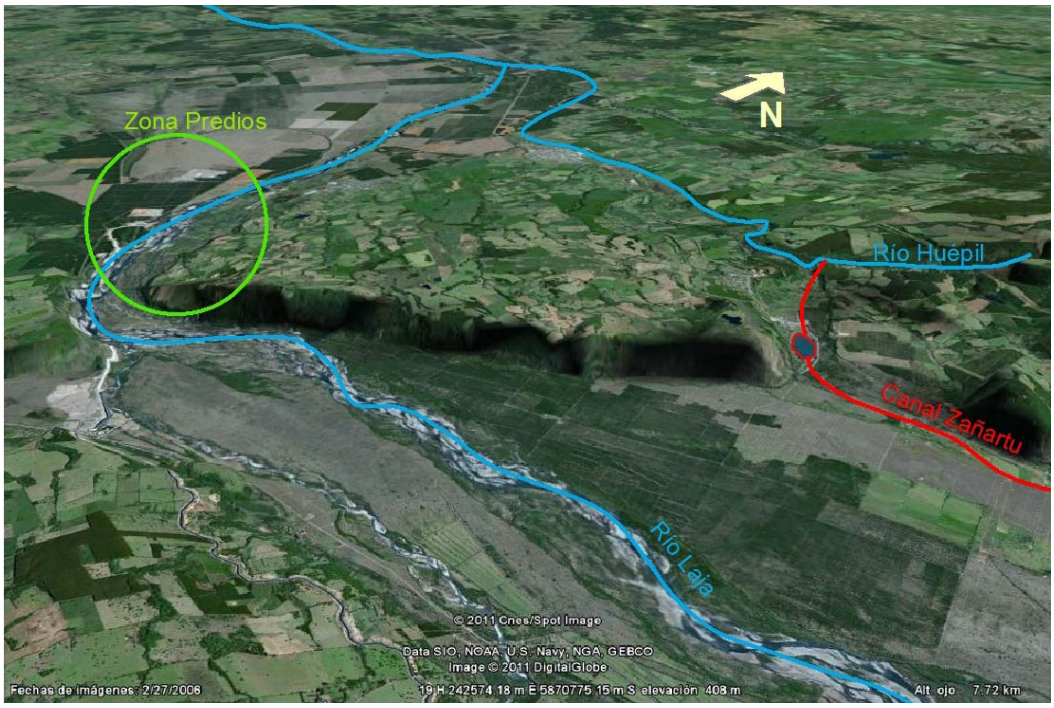

Figura 2: Vista 3D Zona de Estudio

El acuífero alojado en la meseta recibe una recarga asociada a una precipitación media anual de 1.700 mm/año, que es almacenada en los depósitos permeables de la subunidad superior del Cono de Quilleco. Este acuífero presenta un nivel freático elevado en más de 100 m con respecto al nivel del Rio Laja. La descarga del acuífero ocurre por vertientes que emergen desde las laderas abruptas en los valles de los ríos Laja y canal Zañartu, y por aportes directos superficiales y subterráneos a los ríos Laja y Huépil, en las zona de laderas donde se ubican los centros poblados.

En el Valle del Laja, las aguas subterráneas están alojadas en depósitos fluvio-aluviales y su nivel freático se encuentra cercano a la cota actual del río (Figura 3). La zona recibe aportes desde el acuífero existente en la meseta, dados por la escorrentía y aportes de cuencas intermedias, y precipitaciones directas.

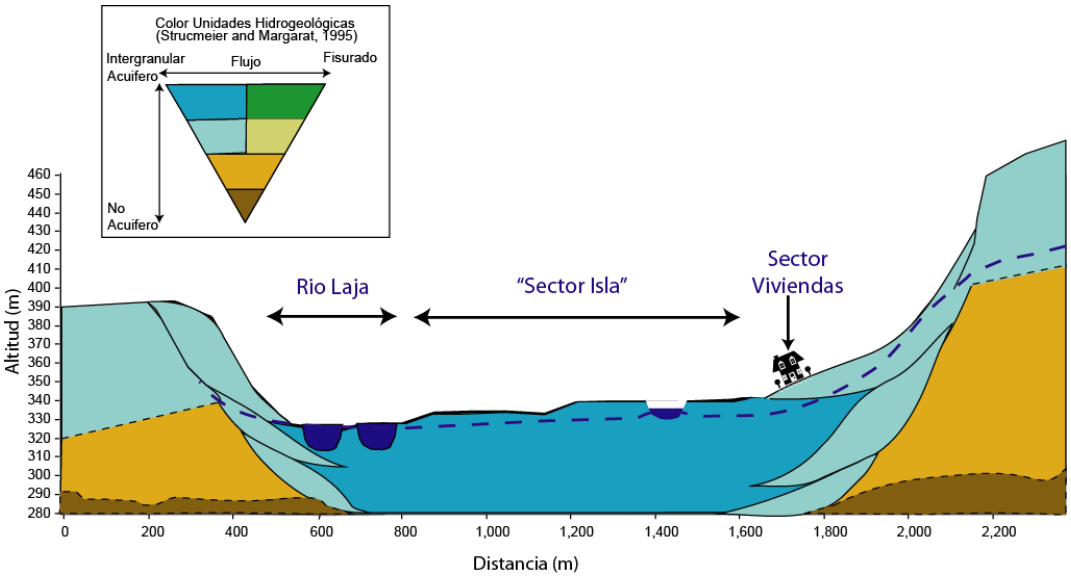

Figura 3: Perfil esquemático de las unidades hidrogeológicas y su relación con el nivel freático

6. La información disponible de aforos no permite confirmar ni descartar la disminución de los caudales de las vertientes que señalan los vecinos. No obstante es importante señalar que el año 2010, junto al 2007, fueron los años con las precipitaciones más bajas en la última década, con probabilidades de excedencia de un 90%, lo que

implica un periodo de escases importante y por consiguiente es altamente probable que la eventual disminución de los caudales de la vertientes se deban a una disminución de la recarga de los acuíferos que las alimentan.

Con el fin de complementar este aspecto, se realizó un análisis de precipitación consistente en un análisis pluviométrico en base a las estadísticas registradas en la estación meteorológica Trupán de la DGA (serie de precipitación de 47 años) para establecer la condición hidrológica del periodo analizado y no existen indicios de cambios climáticos que expliquen la disminución de recursos.

Este análisis permite concluir, que si bien es cierto que los años 2007 y 2010 fueron años hidrológicos secos, no se aprecia en los últimos 10 años un cambio evidente en el régimen de precipitaciones de la zona, y que los valores precipitados se encuentran dentro de los rangos mínimos y máximos históricos en la serie.

7. En el tramo analizado, el caudal asociado al río Laja en la situación actual está dado teóricamente por el caudal ecológico que debe respetar la Central Rucúe de 4,6 m^3/s más los aportes del acuífero al río, los cuales han tratado de ser cuantificados por distintos estudios.

   En este sentido se realizó un balance de recursos superficiales en el río Laja, el cual se aplicó en forma independiente a cada tipo de información de caudales (registros fluviométricos, aforos y series de caudales sintéticas). Los resultados muestran que en el tramo analizado, comprendido entre el nacimiento del río Laja en el lago del mismo nombre y el río Laja en Puente Tucapel, existen incrementos de caudal producto de los aportes de las cuencas intermedias y aportes del acuífero del río Laja. Dichos aportes están constituidos por flujos superficiales que aumentan su magnitud durante la época de lluvias y por un caudal subsuperficial que se mantiene constante durante todo el año y varia en magnitud año a año, dependiendo si se encuentra en épocas de escases o abundancia. En este estudio se estimó que dichas recuperaciones variaron entre 27 y 51 m^3/s para los meses de verano, dependiendo del tipo de año hidrológico considerado.

   El balance hídrico realizado en la zona de estudio, en el cual se supuso que el caudal pasante por el río Laja frente al Valle del mismo nombre, está dado por la entrega de

la Central Antuco más el caudal del río Rucúe, menos la sumatoria de las extracciones de los canales de riego ubicados aguas arriba de confluencia del río Laja y Rucúe. Y además, que las recuperaciones del río laja antes descritas se producen sobre el sector de Valle del Laja. La Figura 4 muestra que los valores de caudal en el río Laja frente a Valle del Laja, se observa que los caudales promedios pasantes por el Río Laja frente al Valle del Laja son del orden de 65,27 m^3/s, el cual se puede desglosar en el promedio Pre Quilleco de 78,16 m^3/s y Post Quilleco de 50,30 m^3/s.

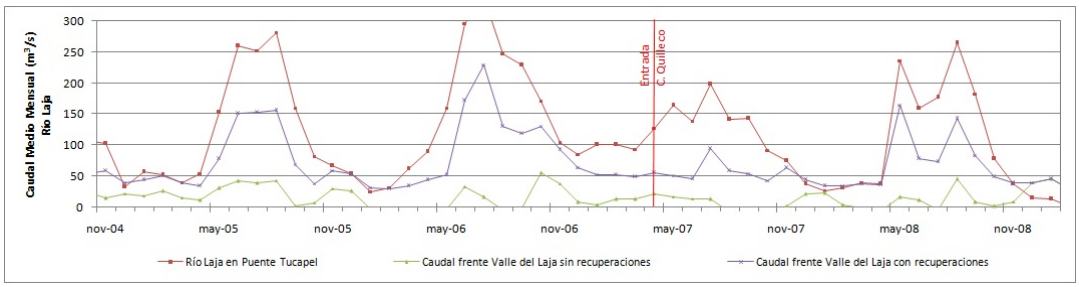

Figura 4: Serie estimada de caudales en río Laja frente a Valle del Laja

En caso que se quiera obtener una estimación precisa de los caudales pasantes por tramos intermedios en la cuenca del río Laja y así cuantificar cuales son los aportes intermedios del acuífero y cuencas laterales, se recomienda mejorar el sistema de medición de caudales en distintas secciones, generando información con mayor densidad espacial y temporal.

8. Finalmente, con el objetivo de recabar información acerca del comportamiento de vertientes y pozos en la zona de estudio se recomienda establecer planes de monitoreo mensuales o bimensuales de aforo a las cuatro vertientes principales y los pozos ubicados en el sector Valle del Laja.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Ítem	Contenido	Pág.
1	INTRODUCCIÓN	1-1
2	REVISIÓN DE ANTECEDENTES	2-4
	2.1 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	2-17
3	INSPECCIÓN A TERRENO	3-18
	3.1 ENTREVISTAS	3-18
	3.2 DESCRIPCIÓN VISITA A TERRENO	3-20
	3.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	3-24
4	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	4-26
	4.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES	4-26
	4.2 ANÁLISIS FLUVIOMÉTRICO	4-32
	4.2.1 Balance Hídrico Río Laja	4-32
	4.2.2 Balances Hídricos Río Laja realizados por estudios anteriores	4-41
	4.2.3 Análisis extracciones consuntivas de canales	4-47
	4.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	4-49
5	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO	5-51
	5.1 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA REGIONAL	5-52
	5.2 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA ZONA DE ESTUDIO.	5-53
	5.3 DESCRIPCIÓN ESPACIO TEMPORAL	5-56
	5.4 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	5-58
6	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	6-61
	6.1 GEOLOGÍA	6-61
	6.1.1 Geología de Superficie	6-62
	6.1.2 Geología de Subsuperficie	6-67
	6.2 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL	6-69
	6.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	6-77
7	REFERENCIAS	7-81
8	ANEXOS	8-82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Pág.
Figura 1.1.	Ubicación Zona de Estudio	1-3
Figura 2.1.	Isolíneas de precipitación y evapotranspiración real (mm/año)	2-5
Figura 2.2.	Perfil geológico del área de interés	2-7
Figura 2.3.	Mapa Geológico de la zona	2-8
Figura 2.4.	Mapa de conductividad hidráulica vertical de los suelos	2-13
Figura 2.5.	Par de Hemigrabens sucesivos, el área del proyecto se encontraría en B	2-16
Figura 3.1.	Ubicación predios de vecinos entrevistados en la Comunidad Valle del Laja	3-23
Figura 4.1.	Ubicación estaciones meteorológicas	4-27
Figura 4.2.	Series de precipitación mensual en estaciones meteorológicas	4-28
Figura 4.3.	Probabilidad de excedencia para precipitación anual	4-29
Figura 4.4.	Disponibilidad de información mensual de precipitaciones	4-30
Figura 4.5.	Serie de precipitación mensual en estación meteorológica Trupán	4-30
Figura 4.6.	Precipitación Estacional Estación Meteorológica Trupán	4-31
Figura 4.7.	Caudales de extracciones	4-33
Figura 4.8.	ubicación estaciones fluviométricas	4-35
Figura 4.9.	Disponibilidad de información fluviométrica	4-36
Figura 4.10.	Diagrama unifilar cuenca alta río Laja	4-37
Figura 4.11.	Balance hídrico río Laja entre descarga Central Antuco y Puente Tucapel	4-40
Figura 4.12.	Caudales pasantes en río Laja, frente al Valle del Laja	4-40

Figura 4.13. Diagrama Unifilar río Laja para aforos realizados el 18/02/99 4-44

Figura 4.14. Diagrama Unilineal Río Laja. Caudales de Afloramiento 4-46

Figura 4.15. Series de caudal extraídos de canales de riego para uso consuntivo 4-48

Figura 5.1. Geomorfología Rio laja aguas abajo Rio Rucue 5-54

Figura 5.2. Perfil geomorfológico AA´. 5-55

Figura 5.3.Trazado de canales con presencia visible de agua 5-59

Figura 5.4.Trazado de canales con presencia visible de agua 5-59

Figura 5.5. Imágenes Satelitales 5-60

Figura 6.1. Fotografía de afloramiento de toba cristalina en sector próximo a río Rucué. 6-62

Figura 6.2 Mapa Geológico del área de estudio. 6-63

Figura 6.3. Afloramiento de aglomerado de origen lahárico en sector de Valle del Laja 6-64

Figura 6.4. Fotografía 6-65

Figura 6.5. Fotografía 6-66

Figura 6.6. Perfil Geológico representativo de la zona de estudio 6-68

Figura 6.7. Ubicación de los pozos con niveles medidos en la campaña de terreno 6-74

Figura 6.8. Mapa de Isopiezas 6-75

Figura 6.9. Perfil esquemático representando la configuración del acuíferos (A-A') 6-78

Figura 6.10. Perfil esquemático de unidades hidrogeológicas y nivel freático. 6-80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Pág.
Tabla 2.1.	Estaciones DGA ubicadas cerca del área de estudio	2-4
Tabla 2.2.	Catastro de pozos y vertientes	2-11
Tabla 2.3.	Resumen de los aforos ejecutados desde el año 2008	2-17
Tabla 3.1.	Entrevistas realizadas a integrantes de la Comunidad del Valle del Laja	3-21
Tabla 4.1.	Estaciones meteorológicas disponibles en el área de estudio	4-26
Tabla 4.2.	Estadísticas extracciones centrales Rucúe y Quilleco, Colbún	4-34
Tabla 4.3.	Estaciones fluviométricas disponibles en el área de estudio	4-35
Tabla 4.4.	Estimación recuperaciones para meses de estiaje entre los años 2004 y 2008	4-39
Tabla 4.5.	Estimación caudales del Río Laja frente a Valle del Laja (m^3/s)	4-39
Tabla 4.6.	Balance hídrico	4-41
Tabla 4.7.	Balance en el río Laja según Estudio de Electrowatt Engineering (1999)	4-43
Tabla 4.8.	Aforos medidos por Ingendesa m^3/s (2000) en el Río Laja	4-45
Tabla 4.9.	Información de canales de riego en zona de estudio	4-48
Tabla 6.1.	Características principales captaciones comunidades de Tucapel y Huépil	6-69
Tabla 6.2.	Características principales pozos y vertientes en zona de estudio	6-70
Tabla 6.3.	Localización y descripción de pozos (EULA, marzo de 2007)	6-70
Tabla 6.4.	Localización y descripción de vertientes (EULA, marzo de 2007)	6-71
Tabla 6.5.	Comparación niveles en pozos zona Valle del Laja	6-71
Tabla 6.6.	Información pozos monitoreados durante la campaña noviembre 2010	6-73

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente informe reporta los resultados de la consultoría solicitada por el Banco Mundial a José Francisco Muñoz y Pablo Rengifo Oyarce, especialistas en las áreas de hidrogeología y recursos hídricos, cuyo objetivo es analizar y entregar asistencia técnica en la evaluación de los aspectos e impactos hidrogeológicos que ha tenido la implementación del Proyecto Hidroeléctrico Quilleco en el sector del río Laja en confluencia con el río Rucúe.

El Proyecto Hidroeléctrico Quilleco consiste en una central de pasada ubicada en las riberas del río Laja y del río Rucúe, con una potencia instalada de 70 MW. Este proyecto se complementa con la Central Hidroeléctrica de pasada Rucúe, ambas de la empresa Colbún. Las dos centrales forman un sistema en serie hidráulica, captando recursos de los ríos Laja y Rucúe, y descargan en el río Laja aguas arriba del cruce de Puente Tucapel. La Central Rucúe entró en operación el año 1998 y la Central Quilleco se construyó en una segunda etapa, entrando en operación el año 2007. La ubicación de las centrales se presenta en la Figura 1.1

El proyecto Hidroeléctrico Quilleco ha sido desarrollado en el marco del Programa de Compra de Reducción de Emisiones (ERPAs por sus siglas en ingles) a través del Banco Mundial, el cual apoya los proyectos de energía limpia en Chile y otros países, con el objetivo de ayudar a mitigar los cambios climáticos globales. En este contexto, el Banco Mundial debe asegurar que el proyecto, en acuerdo con Colbún, cumpla con los estándares ambientales y de manejo social utilizados por el organismo.

El objetivo principal de la consultoría es dar una respuesta con sólido respaldo técnico a las preocupaciones expresadas por los habitantes de la zona de influencia del proyecto, los cuales denuncian que producto de la operación de las plantas de Rucúe y Quilleco, se ha reducido la disponibilidad de agua en las napas subterráneas y en el lecho del río, afectando la agricultura, el forraje y el suministro de agua potable.

En este contexto, a través del análisis de la información disponible, se realizó una selección de la información relevante para los objetivos del proyecto y se analizó la factibilidad de realizar un trabajo de modelación adicional para establecer si el proyecto ha afectado la disponibilidad de agua subterránea en la zona.

Los contenidos del presente informe se enumeran a continuación:

1. Recopilación, revisión y evaluación de información disponible para el estudio.
2. Implementación de una base de datos georeferenciada del área de proyecto. El sistema de información geográfica incluye curvas de nivel, ubicación de pozos existentes, vertientes y puntos de extracción de aguas superficiales y subterráneas, áreas de recarga y sistemas de riego.
3. Realización de inspecciones a terreno y entrevistas a las personas involucradas, con el fin de establecer la naturaleza de los reclamos considerando la disponibilidad de los recursos hídricos (inicio, duración, frecuencia e impactos).
4. Recolección y análisis de toda la información hidrológica disponible en el área de proyecto, incluyendo caudales históricos en el río Laja, tributarios, vertientes, canales de regadío, pozos y niveles freáticos de aguas subterráneas. Evaluar si existe algún cambio estadístico válido en los patrones del caudal del río Laja en los últimos 10 años en las locaciones afectadas por el proyecto Rucúe – Quilleco, identificando si se trata de factores naturales o antrópicos.
5. Recolección y análisis de información de precipitación actualizada, con el objetivo de establecer posibles cambios climáticos en la zona.
6. Descripción geomorfológica del Río Laja y determinación de cambios de morfología en los últimos años.
7. Elaborar un modelo conceptual del área de estudio, soportado por la base de datos de información geográfica (GIS). El modelo entregará, a través de la cuantificación de los elementos claves del balance de aguas, una caracterización preliminar de las interacciones de la Central Hidroeléctrica Quilleco con los sistemas de aguas subterráneas.
8. Asesorar al equipo del proyecto del Banco Mundial en la decisión de los futuros pasos a seguir en la determinación de la posibilidad que la Central Hidroeléctrica Quilleco esté afectando la disponibilidad de recursos hídricos en la zona de estudio. Específicamente, determinar la utilidad y viabilidad de utilizar un modelo hidrogeológico que simule el funcionamiento de los recursos hídricos subterráneos en el área de estudio, si este tipo de modelo será útil en la situación estudiada, y si existe la línea base de información necesaria para su implementación y calibración.

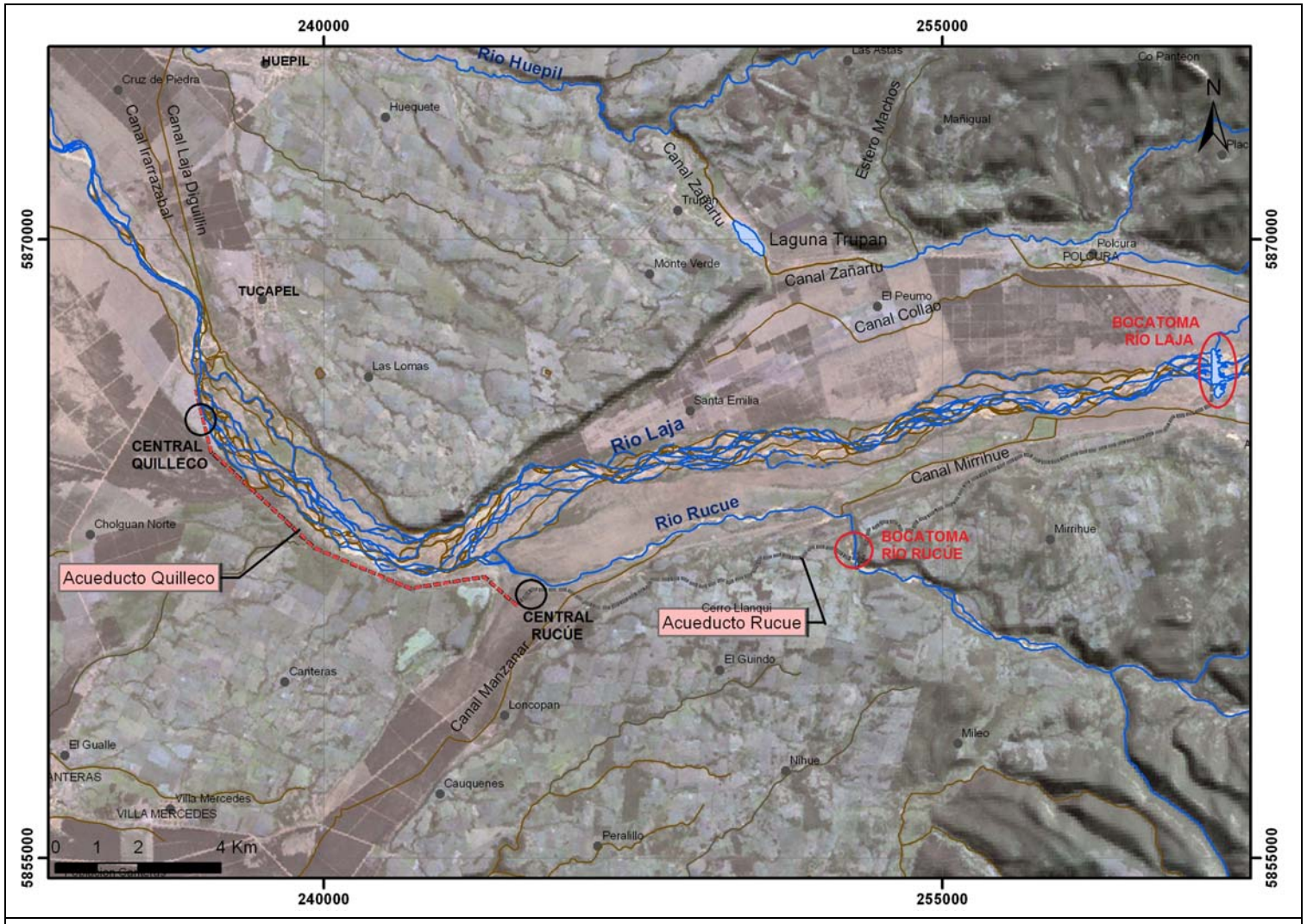

Figura 1.1. Ubicación Zona de Estudio

2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Este capítulo presenta la revisión de antecedentes, para lo cual se analizó e integró en forma crítica estudios previos entregados por el mandante y estudios recopilados en distintas reparticiones públicas. En orden cronológico, los estudios que entregan antecedentes para el desarrollo del proyecto son:

1. Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987)

Este estudio determina para cada cuenca del país los componentes hídricos que caracterizan su ciclo hidrológico. Si bien no existen estaciones pluviométricas o fluviométricas dentro del área estudiada, existen algunas alrededor de ella que serán utilizadas para comprender su comportamiento. Las estaciones registran información entre los años 1951 a 1980 y se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Estaciones DGA ubicadas cerca del área de estudio

Tipo de Estación	Nombre	Rol	Latitud	Longitud	Parámetro	Valor medio Anual
Fluviométrica	Laja en Tucapel	083-80-001	37° 17’	71° 57’	Caudal	176 m^3/s
Pluviométrica	Trupán	081-22-050	37° 16’	71° 50’	Precipitación	1.724 mm/año
Pluviométrica	Tucapel en Retén	083-64-098	37° 17’	71° 57’	Precipitación	1.329 mm/año
Pluviométrica	Antuco	083-75-098	37° 20’	71° 40’	Precipitación	1.330 mm/año

[Fuente: BHCh, 1987]

Estos datos se complementan con el mapa de isolíneas de precipitación y evapotranspiración real extraído del BHCh, con lo cual se considera una precipitación media para la zona de interés entre 1.200 mm/año y 1.600 mm/año. Además, a partir de este mapa es posible obtener un mapa de escorrentía total (superficial y subterránea), al restar la precipitación con la evapotranspiración real.

Aunque el periodo de análisis de este estudio se encuentra fuera de la época de interés, el Balance Hídrico de Chile es un estudio de referencia para la estimación confiable de las magnitudes de Pp y escorrentía, además de entregar un marco del comportamiento hidrológico general de la zona.

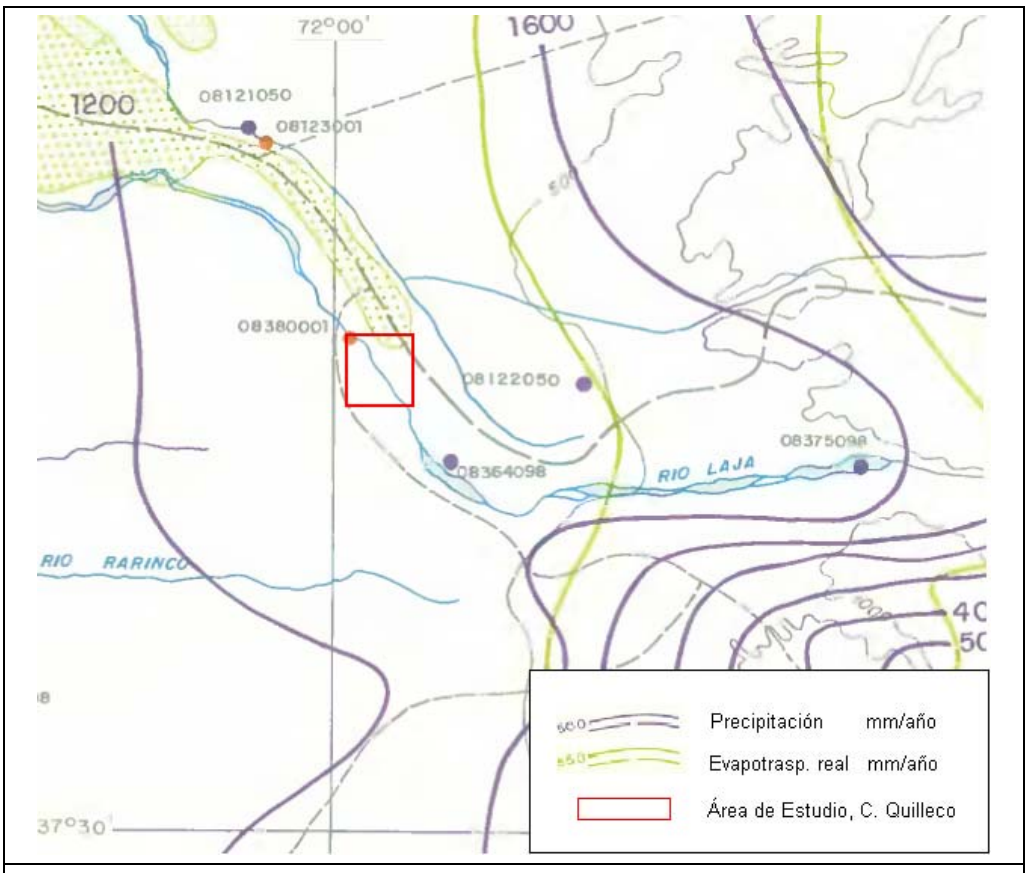

Figura 2.1. Isolíneas de precipitación y evapotranspiración real (mm/año)

[Fuente: BHCh, 1987]

2. Proyecto hidroeléctrico Rucúe (Colbún Machicura, 1996)

Este estudio detalla las características del Proyecto Hidroeléctrico ubicado en el río Rucúe. Se presentan las obras civiles que involucra el proyecto y se determinan los impactos ambientales. Además se hace un completo estudio de ingeniería para caracterizar aspectos hidrológicos, geotécnicos y geológicos del sector.

Se presenta información relevante para la investigación ya que se estiman caudales medios mensuales en puntos de interés a partir de correlaciones entre los caudales de tres estaciones fluviométricas cercanas a la zona de estudio (Rucúe en Camino Antuco con Polcura en Balseadero y Duqueco en Villucura).

3. **Evolución Geológica-Geomorfológica cuaternaria del tramo superior del Valle del Río Laja; Ricardo Thiele, Hugo Moreno, Sara Elgueta, Alfredo Lahsen, Sofía Rebolledo y María Eugenia Petit-Breuilh; Revista Geológica de Chile (1998)**

En este estudio se describe la evolución geológica-geomorfológica del tramo superior del río Laja. El ordenamiento cronológico de los depósitos volcanoclásticos que rellenan el valle, graficadas en la Figura 2.2 es el siguiente:

- Un primer episodio volcánico aluvio-fluvial, asociado a la Cordillera Lagunillas o al Cerro Pan de Azúcar, habría generado la parte inferior del Cono Poligénico de Quilleco *(QPcq 1)*, esta sección hoy se encuentra muy bien consolidada. Flujos de corrientes (alta energía) generan posteriores depósitos fluviales con intercalaciones volcanoclásticas *(QPcq 2)*; la exposición a la intemperie ha provocado una avanzada alteración en la parte superior.
- Un episodio deposicional genera las terrazas poligénicas de Altos de Antuco.
- Una violenta erupción freatomagmática, del Volcán Antuco (ancestral), forma un anfiteatro de 4 Km de diámetro, abierto hacia el este, fruto del colapso gravitacional del cono, provocando una voluminosa avalancha *(Qava)*, que descendió por el valle del Laja. Esta erupción provoca, además, el represamiento primitivo del lago del Laja. Casi simultáneamente, o inmediatamente después de la avalancha, se producen sucesivas descargas de flujos piroclásticos turbulentos que dieron origen a los horizontes de Arenas Negras de Trupán-Laja *(Qantl)*
- A partir de la evolución del volcán Antuco actual, se produce la emisión de, a lo menos, tres flujos piroclásticos sucesivos. Los depósitos de estos flujos actualmente aparecen muy intemperizados, formando suelos arcillosos
- La ruptura del represamiento del lago del Laja permite la descarga de un torrente que generó al menos 3 flujos de detritos, que se encausaron por el valle del Laja *(Qfd)*

Este artículo incluye un mapa geológico de la zona de interés, que puede apreciarse en la Figura 2.3, y una descripción detallada de las unidades que rellenan el valle. El detalle de la geología desarrollada en este trabajo, especialmente la descripción de las unidades recientes, permitió usarlo como base del marco geológico de la zona.

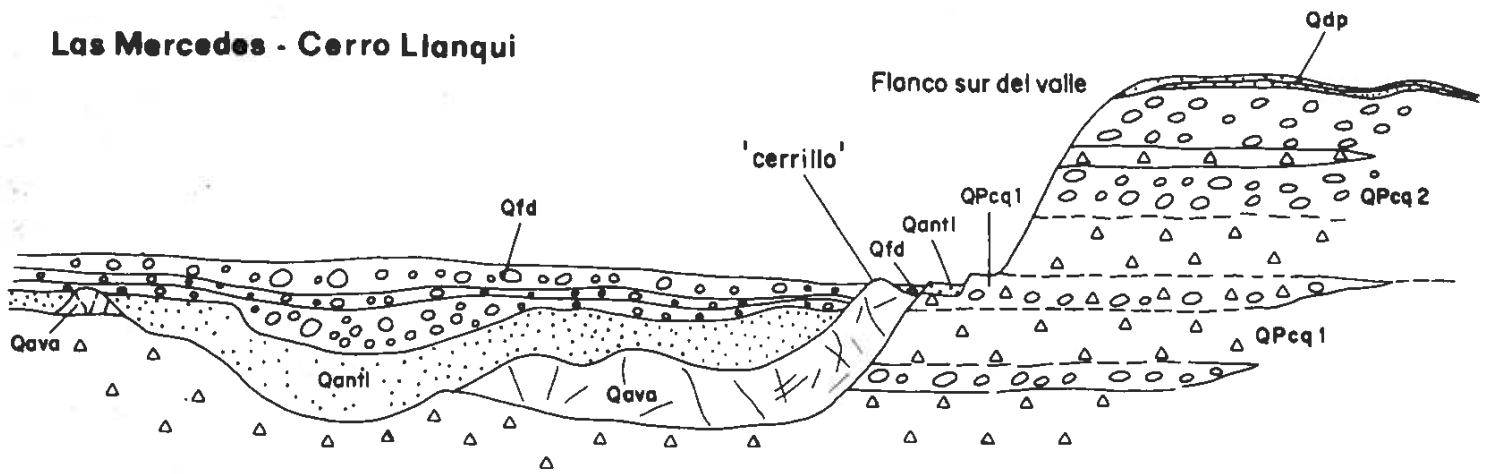

Figura 2.2. Perfil geológico del área de interés

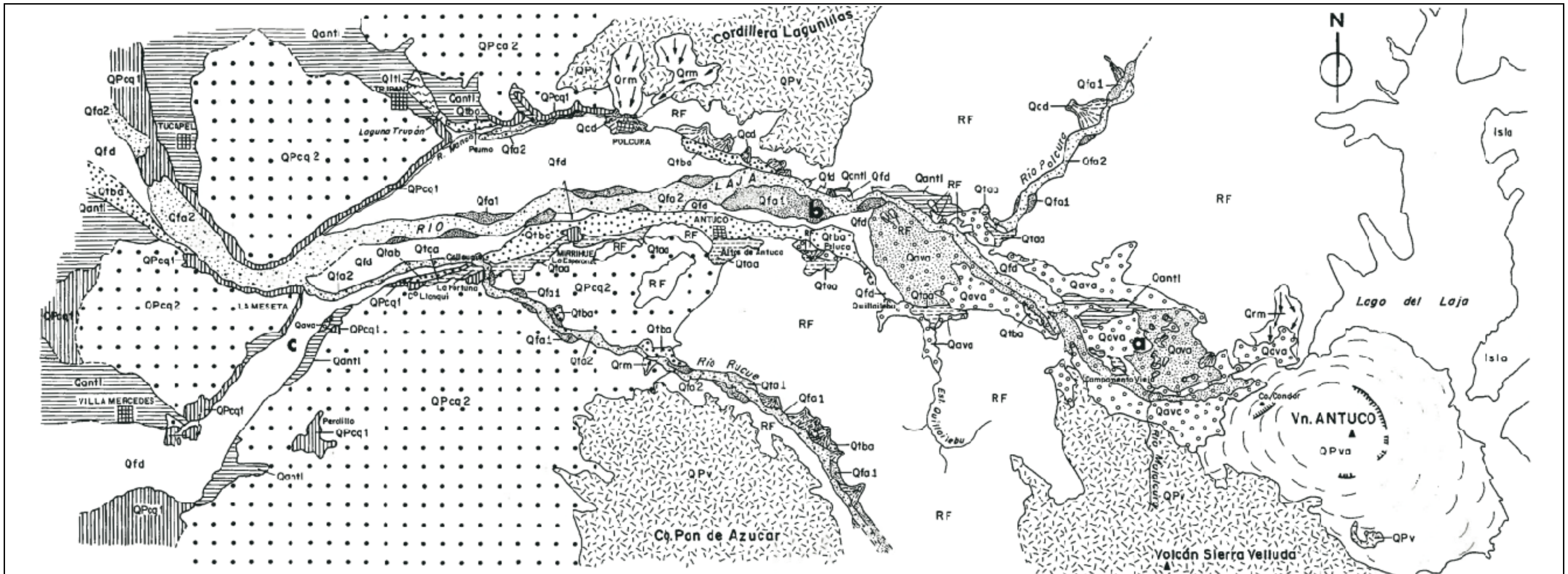

Figura 2.3. Mapa Geológico de la zona

4. **Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Quilleco (Colbún S.A., septiembre 1998)**

Estudio de Impacto Ambiental donde se evalúan las consecuencias que podría ocasionar el desarrollo del proyecto en el ecosistema, en sus etapas de construcción, operación y abandono. Se describen aspectos ambientales, químicos, biológicos, hidráulicos, hidrológicos, etc., y cómo estos se verán afectados. Presenta información fluviométrica sintética en distintos puntos entre 1950 y 1990.

Presenta información de caudales medios mensuales en diversos puntos, los cuales se han integrado a la base de datos de la presente consultoría. No se profundiza en una descripción hidrogeológica del sistema de aguas subterráneas (sólo se menciona la existencia de dos pozos que abastecen de agua a dos localidades del sector y la recarga desde el acuífero hacia el río Laja).

Con respecto a las descripciones relacionadas con la morfología del río se indica que frente al sector Valle del Laja los brazos principales del río se encuentran en la ribera sur del río. No obstante, se indica las existencia de canales activos con caudales menores en la ribera norte.

5. **Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Quilleco. Addendum (Electrowatt Engineering, marzo 1999)**

Estudio que surge como respuesta a 23 interrogantes que presentaron las autoridades con respecto al EIA Central Hidroeléctrica Quilleco. La información presentada es variada, así como las interrogantes planteadas. Se presenta información de aforos de caudal en puntos de interés para este estudio.

Si bien la información presentada sirve para tener una estimación del comportamiento fluvial de los ríos Laja y Rucúe, es insuficiente e imprecisa. Se destaca que dentro del texto se estimó que os caudales esperables frente a la zona de predios seria de 41,88 m^3/s, calculo que es consecuente con los caudales pasantes en el río laja presentados en el Capitulo 4 de este informe.

6. Determinación de Caudal Mínimo Ecológico-Dic 99 (Colbún SA, octubre de 2000)

En este informe se responden cuatro interrogantes planteadas por la CONAMA, teniendo por objetivo definir el caudal mínimo ecológico con que podrían convivir los ecosistemas afectados por la puesta en marcha de las centrales Rucúe y Quilleco. A partir de una descripción geológica e hidrogeológica del acuífero y un análisis hidráulico del sistema, (obtenidos desde mediciones en terreno y modelo computacional) se determina el caudal mínimo ecológico.

Aporta información relevante para este estudio con lo que se determina aportes del acuífero hacía el río Laja. Este análisis se deduce de cinco mediciones realizadas entre diciembre del 1999 y marzo de 2000.

7. Hidrogeología Río Laja Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)

Este estudio tiene por objetivo determinar los efectos que podría tener la Central Quilleco sobre las aguas subterráneas del sector, específicamente sobre aquellas zonas que abastecen de agua potable a las localidades de Tucapel y Huépil. Entrega una breve caracterización del acuífero que podría ser afectado por la central Quilleco y los tipos de roca que albergan al recurso, una estimación de la reserva del acuífero, la recarga de éste y los posibles impactos ambientales que tendría en él la Central. Se concluye que no habría efecto en el acuífero cuaternario (que es donde los pozos existentes explotan agua) ni tampoco en el acuífero aluvial.

La Tabla 2.2 presenta la información relevante para el presente estudio, correspondiente al catastro de pozos y vertientes del área vulnerable de la Central. Adicionalmente, se cuenta con información de construcción de los pozos de agua potable de Huépil y Tucapel y aforos de caudal durante cinco meses de medición en diferentes puntos del Río Laja.

Tabla 2.2. Catastro de pozos y vertientes

Rol BNA	Nombre	Nombre del Predio	Cota [msnm]	Prof. Hab. [m]	UTM Norte	UTM Este	Caudal [L/s]	N.E. [m]
081 22 100-6	A-1	A.P. Huépil	291	94	5.875.610	238.955	34,2	17,2
081 22 101-4	A-2	A.P. Huépil	292	89	5.875.630	239.020	28,2	17,0
081 22 102-2	C-1	A.P. Tucapel	328	165	5.868.742	239.110	12,5	36,9
081 22 103-0	C-2	A.P. Tucapel	329	160	5.868.695	239.095	14,2	37,9
	Puntera	Pc. Sta. Clara	318	8	5.871.354	239.015	0,2	5,5
	Pozo	Pc. Los Granados	315	50	5.871.180	238.140	1,5	6,2
	Vertiente 1	Camping Tucapel	275	-	5.867.830	237.020	3,0	-
	Vertiente 2	Sector Valle Laja	302	-	5.864.618	239.468	4.480	-
	Vertiente 3	Cerro el Monipote	318	-	5.863.330	240.673	2.400	-
	Vertiente 4	Sector Valle Laja	339	-	5.866.625	238.643	1,5	-

Este estudio presenta Información relevante, ya que contiene información del catastro de pozos del área vulnerable a la Central y aforos de caudal para cinco meses de medición en distintos puntos del río Laja, dentro del área de influencia y aguas arriba y abajo de ésta.

8. Estudio de Disponibilidad Cuenca del Río Laja (Dirección General de Agua, enero 2000)

Su objetivo fue evaluar la utilización y disponibilidad del recurso hídrico en torno al río Laja para así dar respuesta a solicitudes de aprovechamiento de aguas superficiales y comprender las condiciones actuales del río. Se concluye que en el río Laja desde su nacimiento hasta el Puente Perales, se han entregado mayores derechos de agua que la capacidad del cauce por lo tanto no existe disponibilidad para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento.

La relevancia del estudio para esta investigación radica en que se presentan los derechos otorgados en distintos canales que están dentro del área de influencia de los proyectos desarrollados en esta zona. En total se determinan que los derechos ejercitados de manera permanente corresponden a 91,2 m^3/s y los recursos comprometidos a 169,8 m^3/s.

9. **Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile; Ljubow González y Abraham González; Revista Geológica de Chile (2003)**

Se evaluó la vulnerabilidad natural del acuífero freático de la cuenca hidrográfica del río Laja, mediante la determinación de la resistencia hidráulica vertical.

En este trabajo se describe la cuenca del Laja, que cubre una superficie de 3.500 Km^2, se señala su alimentación desde nevazones en la zona de interés y una tasa de precipitación de 1.628 mm/año en la estación Tucapel de la DGA. Los valores medios anuales de la evapotranspiración son de 1.034 mm/año en Tucapel. En líneas generales, la precipitación media supera la evapotranspiración entre los meses de Abril y Septiembre.

La caracterización geológica menciona como unidades de importancia hidrogeológica en la cuenca los depósitos cuaternarios, que conforman un gran abanico desde la plataforma piedemonte Andino hasta la depresión central.

El artículo incluye el mapa de conductividad hidráulica vertical de los suelos de la cuenca de presentado en la Figura 2.4. En la misma figura es posible apreciar que sólo una porción del área de proyecto es considerada como parte del acuífero aluvial del río Laja (destacado en rectángulo rojo), correspondiente a la zona de menor pendiente donde se ubica el poblado de Tucapel.

Este trabajo permite correlacionar los estratos geológicos presentes el área de proyecto, con unidades de escala regional, que cuentan con estudios más detallados en zonas aledañas.

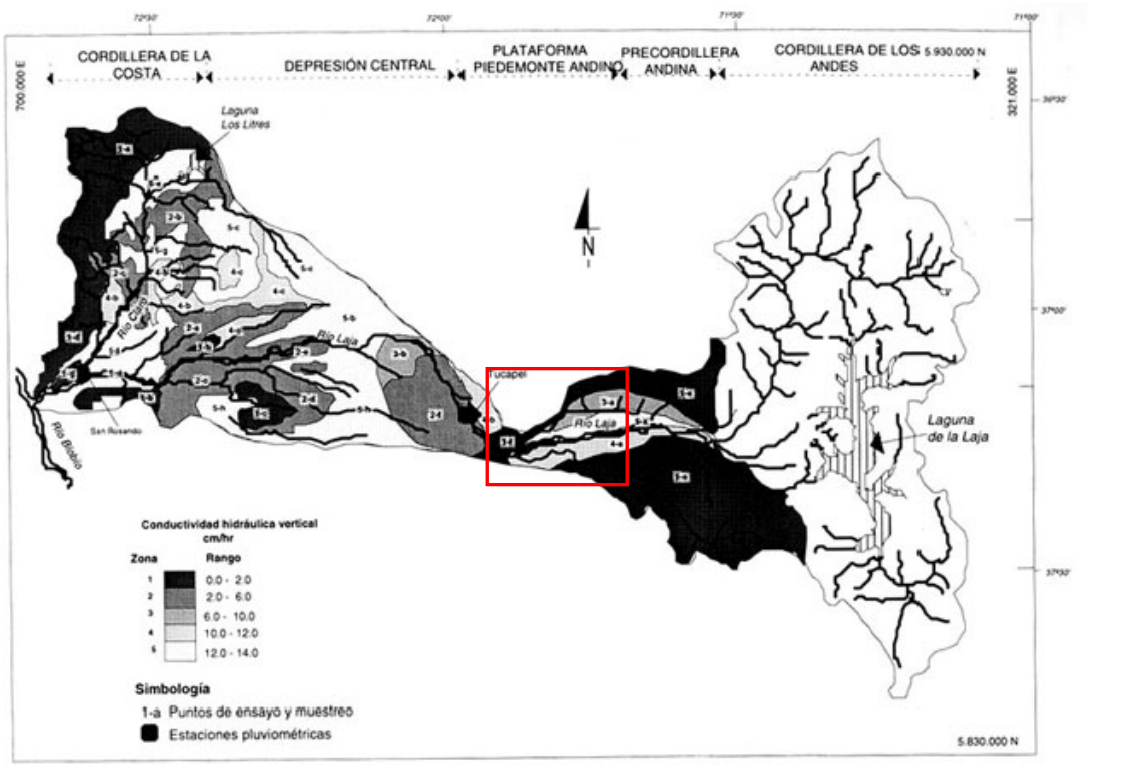

Figura 2.4. Mapa de conductividad hidráulica vertical de los suelos

10. Quilleco Hydroelectric Power Plant Project (Fadda & Hevia, noviembre de 2004)

Se describen las características del proyecto y el contexto legal, social y ambiental en el que se desarrolla. Se analizan los impactos del proyecto bajo estos conceptos.

Este estudio no presenta información que pudiese ser relevante para esta investigación.

11. Quilleco Hydroelectric Power Plant Project. Version 2 (Fadda & Hevia, noviembre de 2005)

Se describen las características del proyecto y se hace un análisis de las implicancias que esto podrían tener. Se estudia la situación considerando aspectos legales, sociales y ambientales.

Este estudio no presenta información que pudiese ser relevante para esta investigación.

12. **Project appraisal document on a proposed purchase of certified carbon emissions reductions by the Netherlands clean development mechanism facility in the amount of a minimum of U$ 2.4 million from Hidroelectrica Guardia Vieja S.A. for the Quilleco Hydropower Project (The World Bank, mayo de 2006)**

Este estudio presenta la evaluación realizada por el Banco Mundial al proyecto Quilleco en el marco de su inclusión del "Programa de Compra de Reducción de Emisiones", abarca aspectos económicos, financieros, ambientales y sociales del proyecto.

No aporta información relevante para la investigación, ya que se trata de un compilado de estudios anteriores.

13. **Trabajos comprometidos con CONAMA, en parcelas Sector Canteras (Colbún S.A., julio de 2006)**

Este informe corresponde a un compromiso adoptado por Colbún S.A. con la CONAMA para monitorear niveles de agua de tres pozos que se encuentran en torno al río Rucúe, aguas arriba de la descarga de agua proveniente de la Central Rucúe.

Desde el punto de vista de esta investigación, la información presentada es insuficiente para estudiar el comportamiento de la napa en las localidades de Tucapel y Huépil.

14. **Línea Base Socioeconómica, Socio demográfica y de Recursos Territoriales del Sector Valle del Laja (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, marzo de 2007)**

Este informe se realizó por orden de Colbún en un área de 450 hectáreas, situadas entre la barranca de la margen norte y el cauce del río Laja, en el marco de los compromisos asumidos con el Banco Mundial en el documento de proyecto Quilleco (PAD). Se describe la situación demográfica y socioeconómica de sector. Como resultado se presenta un comportamiento del recurso hídrico y la utilización de este.

Entrega información importante ya que se presenta un catastro de pozos y vertientes del Sector Valle del Laja, y el uso de las aguas de esta zona.

15. **Plan de Inspección Ambiental Etapa de Construcción Central Hidráulica Quilleco (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, julio de 2007)**

A través de ocho informes de seguimiento y un informe final, se detalla la evolución de la etapa de construcción de la Central Quilleco con los impactos de esta fase en la comunidad y ecosistema.

Este estudio contiene aforos de caudal en distintos puntos de interés en el área de influencia de la Central.

16. **Monitoreo y Seguimiento de las Variables Ambientales-Central Hidroeléctrica Quilleco (CEA, 2009)**

Estudio enfocado a la calidad de las aguas y comportamiento de la flora y fauna con la operación de la central Quilleco.

Al no presentar análisis hidrológico o hidrogeológico de la zona de interés, no se considera relevante para el desarrollo de la presente consultoría.

17. **Las Cuencas Cenozoicas y su control en el volcanismo de los Complejos Nevados de Chillan y Copahue-Callaqui (Andes del Sur,36-39°S); realizado por Juan Pablo Radic para Andean Geology en 2010.**

Este estudio presenta un análisis tectonoestratigráfico de las cuencas cenozoicas, que vincula estructuras de primer orden, pertenecientes a las cuencas, y la distribución del volcanismo plio—pleistocénico. Durante el Oligoceno-Mioceno el área estuvo dominada por un sistema de cuencas extensionales de '*rift*' continental con dominio de rocas piroclásticas.

El área del proyecto pertenece a la subcuenca Lileo, cuyas dimensiones aproximadas son 120 Km de largo y 75 Km de ancho; su arquitectura extensional está caracterizada por un hemigraben de polaridad este que alterna con la cuenca ubicada inmediatamente al norte. Su borde activo está localizado en las nacientes del río Lileo, en Argentina, mientras que el borde pasivo se encuentra en el sector de Trupán-Antuco, en este último se han documentado alrededor de 900-1.500 m (sin base reconocida) de rocas

volcánicas y volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Cura-Mallín, lo que ha permitido reconocer una disminución en el espesor del relleno de la subcuenca desde el este. El lapso de tiempo asociado al relleno de esta subcuenca abarca el intervalo Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano.

Tal como en la paleo-cuenca ubicada inmediatamente al norte, el Intrusivo de la Cordillera Andina se encuentra rodeado por afloramientos de la Formación Cura-Mallín con manteos opuestos y buzamiento bidireccional, conformando el núcleo de un gran anticlinal. El volcanismo plioceno-holoceno ha sido interpretado, en su conjunto, como producto de un régimen tectónico extensional que habría afectado a la Cordillera Principal en el retroarco y un régimen transtensional que habría afectado en el intraarco durante los últimos 5 Ma. Este trabajo ha permitido definir el marco estructural en el que se ha desarrollado la cuenca que alberga el acuífero en cuestión.

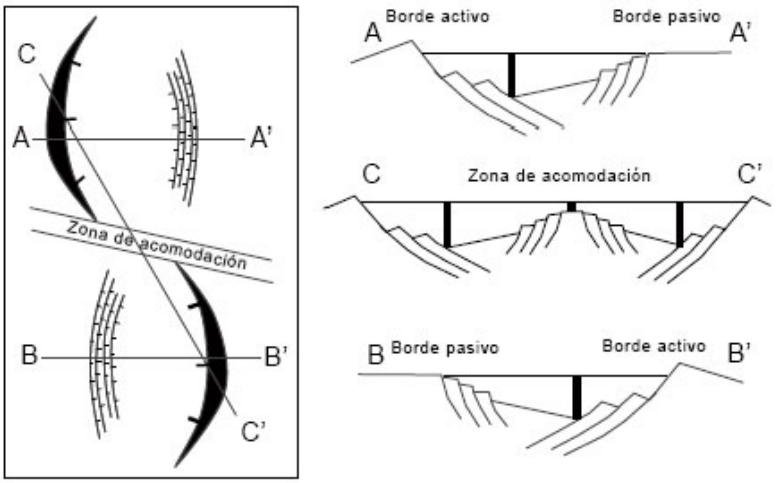

Figura 2.5. Par de Hemigrabens sucesivos, el área del proyecto se encontraría en B

18. Servicio de Aforos en Ríos Laja y Rucúe. Informe de Resultados de Mediciones y Datos de Terreno (Azimut Ingeniería Limitada, 2010)

Serie de Informes Técnicos que presentan los aforos de los caudales medidos para distintos perfiles de interés durante la época crítica para la zona (Primavera y Verano de cada año). Durante el marzo de 2008 se midieron distintos puntos del río Laja y un punto del río Rucúe para conocer el comportamiento de cada uno, y a partir de ahí se siguió midiendo la evolución sólo del brazo sur del río Laja por ser considerado un punto "crítico", el resumen de los caudales aforados se presenta en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Resumen de los aforos ejecutados desde el año 2008

Fecha	Hora	Gasto (m^3/s)	Fecha	Hora	Gasto (m^3/s)
06-03-2008	12:10	6,99	30-09-2009	14:24	32,37
09-09-2008	14:40	44,66	27-10-2009	16:40	39,61
17-10-2008	11:50	25,52	17-11-2009	12:05	42,61
12-12-2008	18:20	19,18	18-12-2009	13:40	17,26
16-01-2009	17:00	17,62	19-01-2010	12:05	15,07
19-02-2009	19:00	16,13	18-02-2010	11:10	18,72
18-03-2009	11:30	18,89	17-03-2010	17:45	16,12
14-04-2009	18:45	15,63	20-04-2010	16:04	16,77

Aporta información fluviométrica para distintos puntos y distintos períodos de tiempo.

2.1 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Una primera revisión de los estudios técnicos existentes en la zona, muestra que con la información disponible es posible realizar una descripción cualitativa a escala regional de los aspectos hidrológicos, geológicos e hidrogeológicos del estudio.

En general, la bibliografía disponible indica que el río Laja es alimentado por las cuencas afluentes al rio y no viceversa.

3 INSPECCIÓN A TERRENO

Se presentan los antecedentes recolectados durante la visita técnica a la zona de estudio y las entrevistas realizadas a la comunidad. Los objetivos de esta visita fueron establecer la naturaleza de los reclamos de la comunidad, considerando la disponibilidad y comportamiento de los recursos hídricos.

Las entrevistas se realizaron el día 21 de enero del año 2011, en el que se llevó a cabo una reunión a la cual asistieron el equipo de especialistas, y la comunidad local formada por vecinos del Valle del Laja. La reunión se realizó en la sede de la Junta de Vecinos del Valle del Laja y posteriormente se procedió a una visita guiada por los vecinos a las zonas de interés.

3.1 ENTREVISTAS

Se realizaron entrevistas individuales a un representante de 10 grupos familiares o predio, pertenecientes a la comunidad del Valle del Laja, para establecer y cuantificar cuales son los hechos por los que los vecinos se sienten afectados. Según EULA 2007, el total de familias habitantes en el sector seria de 27. Se observó que los problemas descritos son transversales a gran parte de los vecinos y se resumen a continuación:

- Al entrar en operación la Central Rucúe se produjeron cambios en la situación natural del río Laja, los cuales según los vecinos que participaron de la entrevista afectaron sus actividades productivas. Los problemas descritos son:

1. En primer lugar, se mencionó que al entrar en operación la Central Rucúe se produjeron descargas de caudal con alta energía, las que produjeron inundaciones del lecho del río. Este hecho, como no fue informado a los vecinos, los tomó desprevenidos y significó la pérdida de terrenos cultivables con chacras, y animales que se encontraban en la zonas productivas, que históricamente habían sido utilizadas con estos propósitos. Se consultó la fecha exacta de este suceso, ante lo cual las personas entrevistadas no se acordaban la fecha o el año exacto que esto ocurrió.
2. Según los vecinos la alta energía de estas descargas generó arrastres de sólidos, embancando con arena y bolones las islas formadas entre los distintos brazos del río

Laja, las cuales solían ser tierras de alta fertilidad. Estas islas, de acuerdo a los vecinos, son parte de la propiedad de sus terrenos.

3. Los vecinos relataron que tras la entrada en operación de la Central Rucúe se modificó en forma permanente el régimen de escurrimiento del río, desviando las aguas al brazo sur del río Laja. Este hecho, convirtió en permanente el embancamiento de las islas ubicadas entre los ya inexistentes brazos del río Laja. Adicionalmente, al desviar el curso del río, la comunidad se encontró sin aguas para el riego de las chacras artesanales, lo que sumado a la pérdida de fertilidad de los terrenos produjo la disminución de las actividades agrícolas y ganaderas de pequeña escala.

   Los vecinos declararon que actualmente se siguen plantando chacras en muy pequeñas cantidades, siempre cerca del brazo septentrional del río Laja. El riego de las chacras se realiza con parte de los recursos que son desviados por un Centro de Cultivo Piscícola, el cual dispone de derechos de aprovechamiento otorgados por la Dirección General de Aguas (DGA).

- Frente a la pregunta de si observaron algún cambio con la Central Quilleco, los vecinos declararon que al entrar en operación la Central Quilleco, la falta de los recursos se vio acrecentada con respecto a la situación de los vecinos post funcionamiento Central Rucúe, debido a la disminución de los recursos hídricos. No obstante, se indicó que la situación actual fue determinada por la entrada en operación de la Central Rucúe.

- Finalmente, los vecinos hicieron referencia a que se ha observado una disminución permanente en los últimos 10 años del caudal afluente en las vertientes que abastecen de agua de bebida y riego a los terrenos de mayores cotas a la del río Laja. Según ellos en algunos casos dichas vertientes se han agotado.

- La Tabla 3.1 presenta una síntesis de las entrevistas realizadas a los vecinos, en ella se indican el nombre del representante del predio al quien se realizó la entrevista, desde cuando viven o poseen estos predios y finalmente un resumen de los problemas que según ellos, los aquejan con respectos a los recursos hídricos. La Figura 3.1 presenta la ubicación de los predios de las personas entrevistadas con respecto al

área de estudio. Los problemas se establecieron en 4 tipos, los que se enumeran a continuación:

- A : Cambio morfología del río y desvío del curso natural del río Laja por Central Rucúe
- B : Incremento de escases de recursos hídricos en el río Laja producto del desvío de las aguas por la Central Quilleco
- C : Disminución de vertientes
- D : Agotamiento vertiente

3.2 DESCRIPCIÓN VISITA A TERRENO

La visita a terreno consistió en un recorrido guiado por distintos puntos que a juicio de los vecinos, son relevantes para el entendimiento de su situación actual y anterior a la entrada en operación de la Central Quilleco.

La visita comenzó en la sede de la Junta de Vecinos del Valle del Laja, después de la reunión. Al menos un representante por grupo familiar o predio, acompañó al equipo de especialistas en la visita guiada. El primer punto de detención fue la empresa de piscicultura, la cual se observó desde el exterior. En este lugar se indicó el importante rol que cumple esta empresa dentro de la comunidad, ya que al ser el único actor dentro del valle que posee derechos de aprovechamiento de agua, asegura un flujo constante en el brazo norte de la ribera del río Laja. Los vecinos explicaron que, como los recursos remanentes en el río Laja han sido encauzados en la ribera sur, la empresa de piscicultura debe realizar obras de encauzamiento hacia la ribera norte periódicamente, generalmente después del periodo de lluvias.

Adicionalmente, se observó un ejemplo de las chacras que los vecinos alegan haber existido en gran cantidad antes de la entrada en operación de la central Rucúe, la cual se ubicaba cercana a la empresa de piscicultura. Se indicó que actualmente el desarrollo de este tipo de chacras solo se puede realizar en locaciones aledañas al brazo norte del río Laja, siempre y cuando la empresa de piscicultura se encargue del suministro de recursos hídricos para su empresa. En este punto, se trató con los vecinos el estado de vulnerabilidad en la que se encuentran al depender exclusivamente de los derechos de aprovechamiento de agua de la piscicultura, ya que cualquier evento que obligue el cierre de esta empresa implicaría el desabastecimiento de agua para riego, ya que las aguas

Tabla 3.1. Entrevistas realizadas a integrantes de la Comunidad del Valle del Laja

Numero	Nombre	Antigüedad	Reclamos				Observaciones
			A	B	C	D	
1	Verónica Benavente	10 años				X	Desde hace cuatro años la vertiente se seca en febrero y se recarga en el periodo de lluvias. Este año la vertiente no volvió a recargarse (2010) y se ve obligada a traer agua de 4 vertientes más pequeñas ubicadas a 500 metros de su casa.
2	Oscar Valenzuela (Predio Santa Elvira)	Sucesión Familiar	X	X			Su predio se ubica al frente de donde la central Rucúe solía devolver las aguas. Antes de la operación de la Central Rucúe su familia se dedicaba a la actividad agrícola, plantando chacras durante la primavera y verano en las islas formadas por los brazos del río Laja, actualmente esta práctica esta casi desaparecida producto entrada en operación centrales. También usaba el terreno como pastizal para la crianza de animales, pero producto del arrastre de sólidos se cambio la naturaleza y ya o hay pasto, solo piedras. Posteriormente al entrar en operación la Central Quilleco se secaron los canales naturales del río.
3	Humberto Cárcamo (Predio Los Huertos)	Sucesión Familiar	X	X	X		Antes de la entrada en operación de la Central Rucúe su familia se dedicaba principalmente a la actividad ganadera teniendo en promedio cerca de 35 cabezas de ganado los cuales se alimentaban de las vegas que crecían entre los distintos brazos del río Laja. Después de la puesta en marcha de la central Rucúe, han logrado tener un máximo de 11 cabezas de ganado producto de la disminución de tierras disponible para pastar. Adicionalmente, no pudieron seguir cultivando chacras al igual que los otros vecinos de la zona. La vertiente que usan como agua para beber se ha visto disminuida.

Numero	Nombre	Antigüedad	Reclamos				Observaciones
			A	B	C	D	
4	Jessica Pincheira	Sucesión Familiar	X	X			Antes de la entrada en operación de la Central Rucúe su familia se dedicaba a la actividad agrícola plantando chacras durante la primavera y verano en las islas formadas por los brazos del río Laja, actualmente esta práctica esta casi desaparecida ya que el río ahora pasa por el terreno que utilizaba
5	José Belmar Núñez (Presidente Comité)	Sucesión Familiar	X	X	X		La vertiente ha perdido cerca entre un 60 o 70% de su caudal. Producto de la entrada en operación de la Central Rucúe desaparecieron las vegas que servían de alimento para cerca de 60 cabezas de ganado. Hoy sólo tiene 3 vacunos.
6	José Sandoval	Sucesión Familiar	X	X		X	Declara los mismos problemas con respecto al lecho del río que los demás vecinos y además indica que se secaron las vertientes desde las cuales se abastecía en forma permanente
7	Rita Salazar	Sucesión Familiar			X		La vertiente que se encuentra en su propiedad ha disminuido su caudal, está a punto de agotarse
8	Mario Iturra	Sucesión Familiar	X	X	X		Ha bajado el nivel de su noria y el caudal de vertientes. No cuenta con terrenos fértiles para plantar chacras
9	Delfín Decar	Sucesión Familiar	X	X			Producto de la entrada en operación de la Central Rucúe desaparecieron las tierras fértiles entre los distintos brazos del río Laja los cuales servían de alimento para cerca de 80 cabezas de ganado. Hoy sólo tiene 6 vacunos.
10	Raúl Vivanco Salazar	Sucesión Familiar	X	X	X		Indica los mismos problemas que el resto de los vecinos con respecto a los cambios de morfología y la disminución de las vertientes

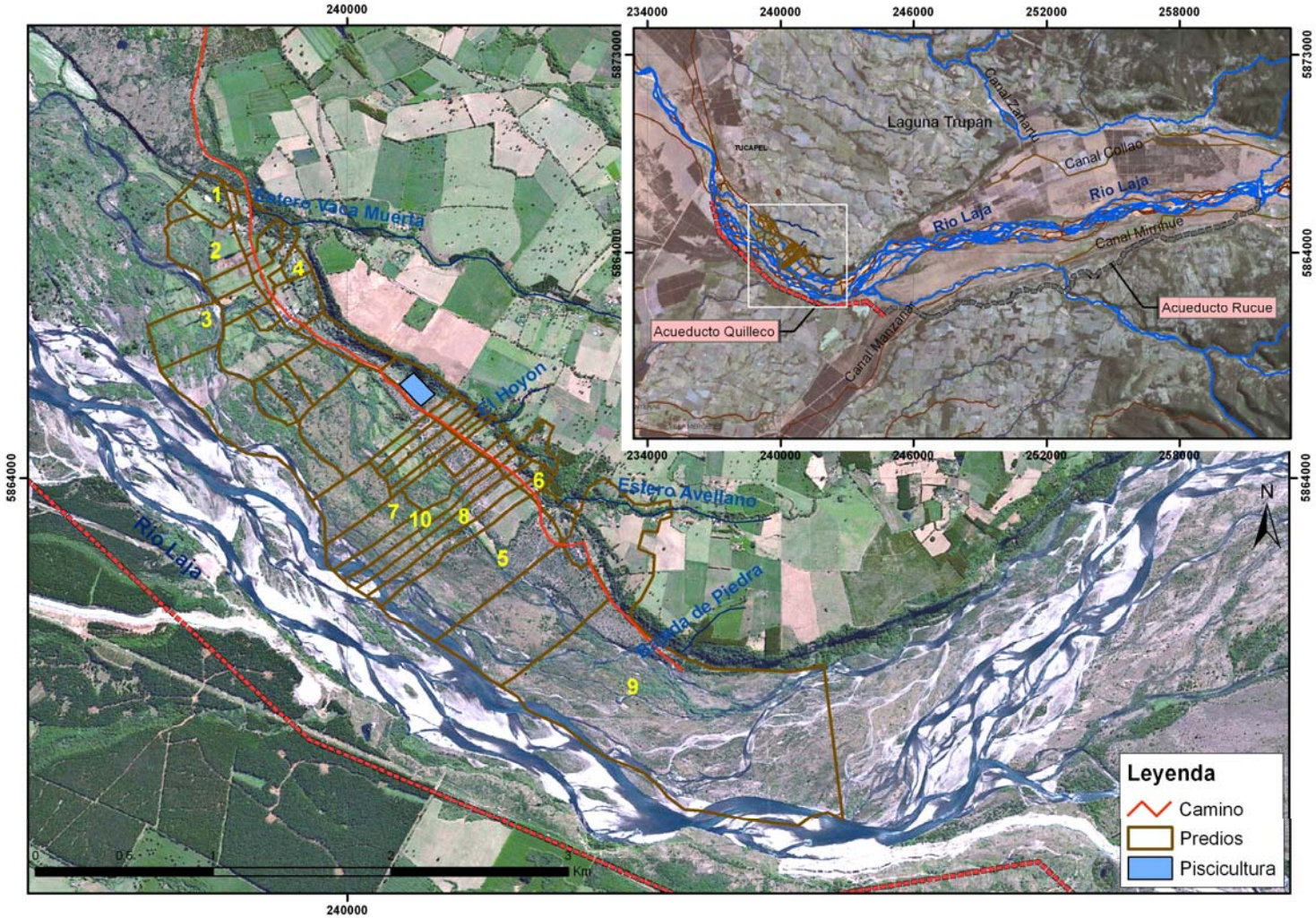

Figura 3.1. Ubicación predios de vecinos entrevistados en la Comunidad Valle del Laja

Fuente: [EULA, marzo de 2007]

del río ya no fluyen naturalmente por este brazo. Dicha situación se observó hace cerca de un año, durante la crisis del rubro salmonero ocurrida en el país.

Posteriormente, se visitó el predio de Rita Salazar, donde se observó una de las vertientes de las cuales los vecinos declaran observar como disminuye la magnitud de su caudal año a año. También se indicó la existencia de una noria en construcción la cual se secó en la última temporada. En este punto se indicó por parte de los vecinos, que ellos atribuyen estos cambios al evidente estado de intervención del río Laja y sus tributarios, relacionando directamente la disminución de recursos con la entrada en operación de las diferentes centrales hidroeléctricas presentes en la zona.

Finalmente, se visitaron el estero El Avellano y el predio de Delfín Decar, desde donde se pudo tener una visión general del Valle del Laja, ya que parte de su predio está ubicado a una cota superior. En este punto se relató el evento que los vecinos asocian a la entrada en operación a la Central Rucúe, cuando un importante flujo inundó las chacras de los pequeños agricultores y se llevó parte de los animales que los vecinos mantenían en las islas formadas por los distintos brazos del río Laja y que los vecinos afirman pertenecen a sus predios. Se indicó que posterior a este evento las islas se embancaron de grava y arena, y debido a que las aguas no volvieron a fluir naturalmente por el cauce esta situación no se remedió a lo largo del tiempo.

3.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Durante la visita a terreno con los vecinos del Valle del Laja, se entrevistó a los vecinos acerca de su relación con los recursos hídricos superficiales y subterráneos en la zona, y si los recursos han variado su comportamiento en el último tiempo. En este sentido, se observó que los vecinos asocian el cambio y disminución de recursos hídricos en distintas fuentes, a una disminución de sus actividades productivas y agua para bebida.

A través de las entrevistas personales se estableció que el problema más sensible a la comunidad es lo que ellos describen como la intervención del lecho del río causada por el desvío de los recursos hídricos que naturalmente fluían por el cauce del río Laja formando un número importante de islas que cambiaban su morfología año a año producto del régimen natural del río. Dentro de los problemas descritos, se indicó el cambio de tipo de suelo de las islas de terrenos fértiles a superficies de arena y grava, lo

que no permitió la plantación de chacras y el pastaje de animales, además de la falta de recursos hídricos para el riego de los mismos.

A su vez se transmitió la preocupación en la disminución de los recursos provenientes de vertientes y esteros, lo cual se ha acrecentado en los últimos 10 años. A la fecha, los vecinos perciben estar dentro de los eventos más críticos, ya que se han secado varias de las vertientes y norias utilizadas para el aprovisionamiento de agua de bebida y riego. Esto coincide con años de muy baja precipitación, como se trata más adelante en el capítulo de análisis meteorológico y fluviométrico.

Una revisión de los antecedentes del estudio, presentados como parte de del segundo capítulo, muestra que los problemas comunicados por los vecinos fueron establecidos preliminarmente en el estudio "Línea Base Socioeconómica, Socio demográfica y de Recursos Territoriales del Sector Valle del Laja" (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, marzo de 2007), realizado en el marco de los compromisos asumidos con el Banco Mundial en el documento de proyecto (PAD) y en la correspondencia mantenida entre los vecinos y la empresa Colbún entre abril del 2005 y junio del 2007.

Es importante mencionar que la información presentada en este capítulo corresponde a descripciones orales de los vecinos, las cuales tienden a ser imprecisas en ubicación temporal, duración y frecuencia de los hechos, ya que dependen de la memoria de las personas que los relatan y no se presentaron, ni se indicó la existencia de registros escritos o gráficos de los mismos. No obstante, se percibe una coherencia en los relatos individuales de cada uno de ellos.

4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico incluye el estudio de estadísticas pluviométricas y fluviométricas contenidas en dos fuentes, la Dirección General de Aguas y estudios realizados previamente.

El objetivo del análisis pluviométrico es establecer posibles cambios climáticos en la zona, los cuales pueden influir de forma negativa en la disponibilidad de recursos hídricos. Para esto se analizó estadísticas de precipitación a nivel mensual, a través de las cuales se estableció periodos de abundancia o escases de recursos hídricos.

A su vez, los análisis fluviométricos se enfocaron en dos objetivos:

- Establecer un balance hídrico en un tramo del río Laja que contenga la zona de estudio
- Analizar estadísticas de extracciones de canales de riego, los cuales junto a un análisis cualitativo del sistema, establezcan posibles aumento en las tasas de usos de dichos canales

4.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Se recopiló información pluviométrica en cuatro estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio, cuya información general se presenta en la Tabla 4.1. La Figura 4.4 presenta la disponibilidad de información de precipitaciones a nivel mensual en cada una de las estaciones y la Figura 4.1 presenta su ubicación.

Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas disponibles en el área de estudio

Estación	Código BNA	Altitud (msnm)	UTM Norte (m)	UTM Este (m)
Tucapel	08122003-4	330	5.869.485	238.456
Trupán	08122002-6	480	5.870.980	250.025
Río Laja en Tucapel	08380001-1	285	5.870.127	235.305
Las Cruces	08124004-3	650	5.882.544	250.841

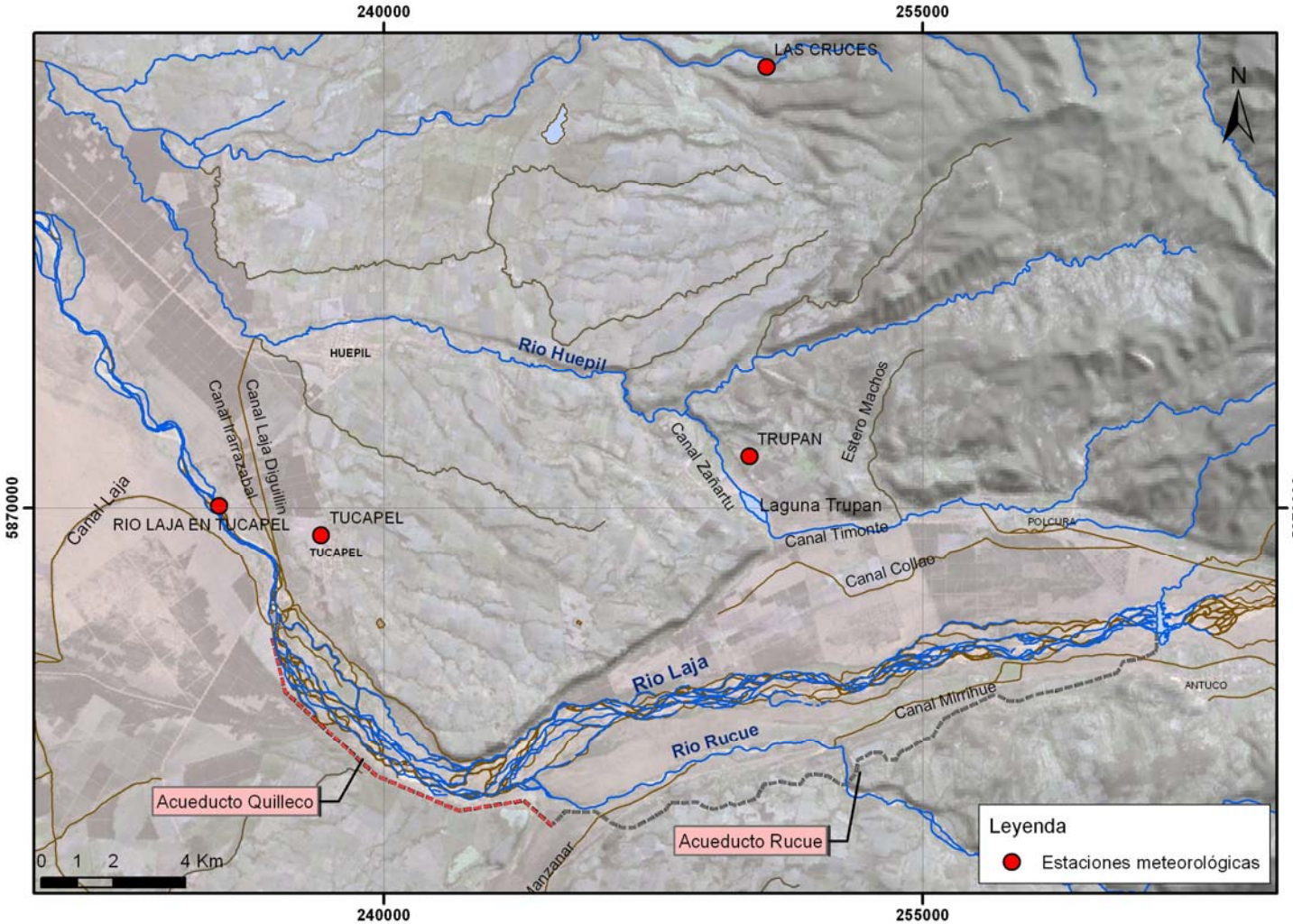

Figura 4.1. Ubicación estaciones meteorológicas

Se realizó un análisis de homogeneidad de precipitación en la zona, con lo cual se verificó que las series de precipitación presentan un comportamiento dependiente. Este comportamiento se puede observar en la Figura 4.2, donde se muestra la serie mensual de precipitación comprendida entre los años 1963 y 2010. En ella se observa gran similitud entre los máximos y mínimos registrados en cada estación, y en la forma que describen las series de cada una de las estaciones.

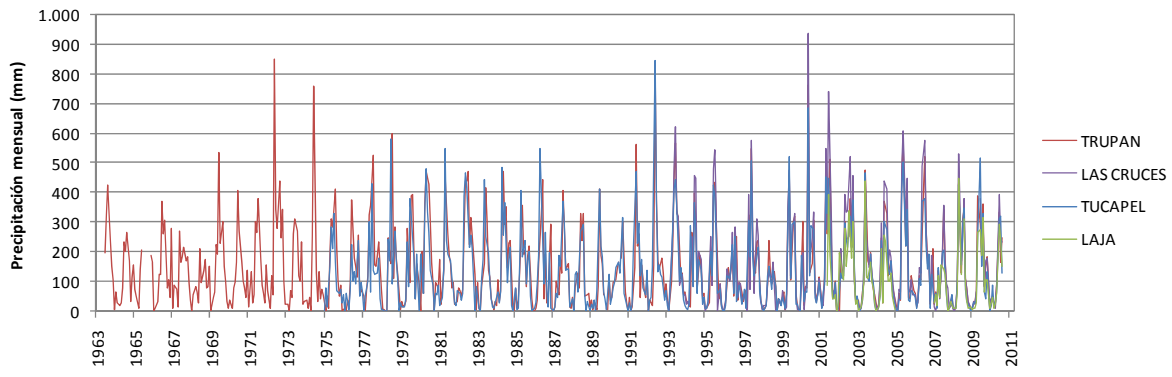

Figura 4.2. Series de precipitación mensual en estaciones meteorológicas

Se seleccionó la estación meteorológica Trupán como representativa de la zona, dado que la precipitación en el área se comporta de manera homogénea y posee los registros más prolongados. Se rellenó el registro de la estación Trupán los años 1989, 1990 y 2007, en base a las precipitaciones registradas en las estaciones Tucapel y Las Cruces, las cuales poseen información en los meses faltantes en la estación Trupán. El relleno se realizó por correlación simple entre estaciones, en la cuales se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,92 y 0,95, entre los registros de la estación Trupán y las estaciones Tucapel y Las Cruces respectivamente.

La Figura 4.5 presenta la serie de precipitación anual en la estación Trupán, la precipitación promedio anual a largo plazo y el promedio móvil de precipitación en tres años con año central el año en estudio. En base a la curva trazada por el promedio móvil, se pueden observar los periodos de abundancia y escases de recursos hídricos en los últimos treinta y cinco años. Se observa que aproximadamente cada 10 años, se ha registrado en los comienzos de la década un periodo de abundancia determinado por uno o dos años con precipitaciones sobre la precipitación media anual. Este periodo de

abundancia es seguido por un periodo de escases, marcado a su vez por años de poca precipitación.

Dentro de los periodos de abundancia no se registran periodos que se destaquen dentro de la serie, ya que todos presentan magnitudes similares. Por otra lado para periodos de escases se destaca el ocurrido a fines de la década de los 80 cuando la precipitación promedio móvil cayo a cerca 1.300 mm/año, aproximadamente 400 mm bajo la precipitación media anual de 1.720 mm/año y el año 1998 con la precipitación más baja de la serie.

En el periodo comprendido entre los años 2000 y 2010, las precipitaciones se han comportado en los rangos observados dentro de la serie con periodos de abundancia y escases que no corresponden a mínimos o máximos históricos.

Es importante mencionar que el año 2010, a partir del cual se realizó el estudio fue un año seco con probabilidad de excedencia de 92% (Figura 4.3), es decir solo el 8% de los años representados por la serie se registraron precipitaciones menores a los 1.180 mm.

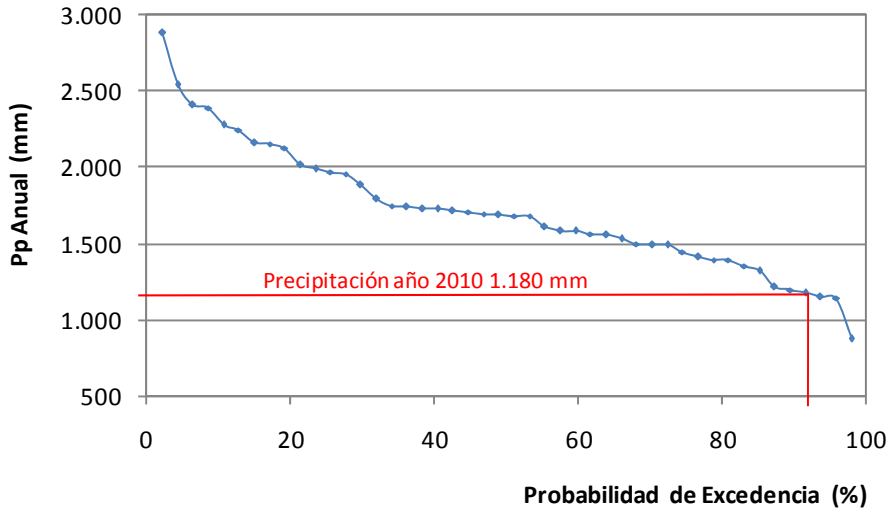

Figura 4.3. Probabilidad de excedencia para precipitación anual

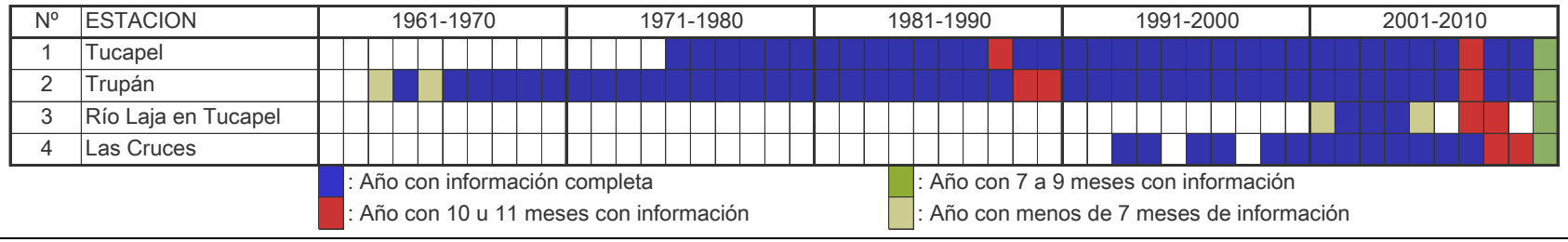

Figura 4.4. Disponibilidad de información mensual de precipitaciones

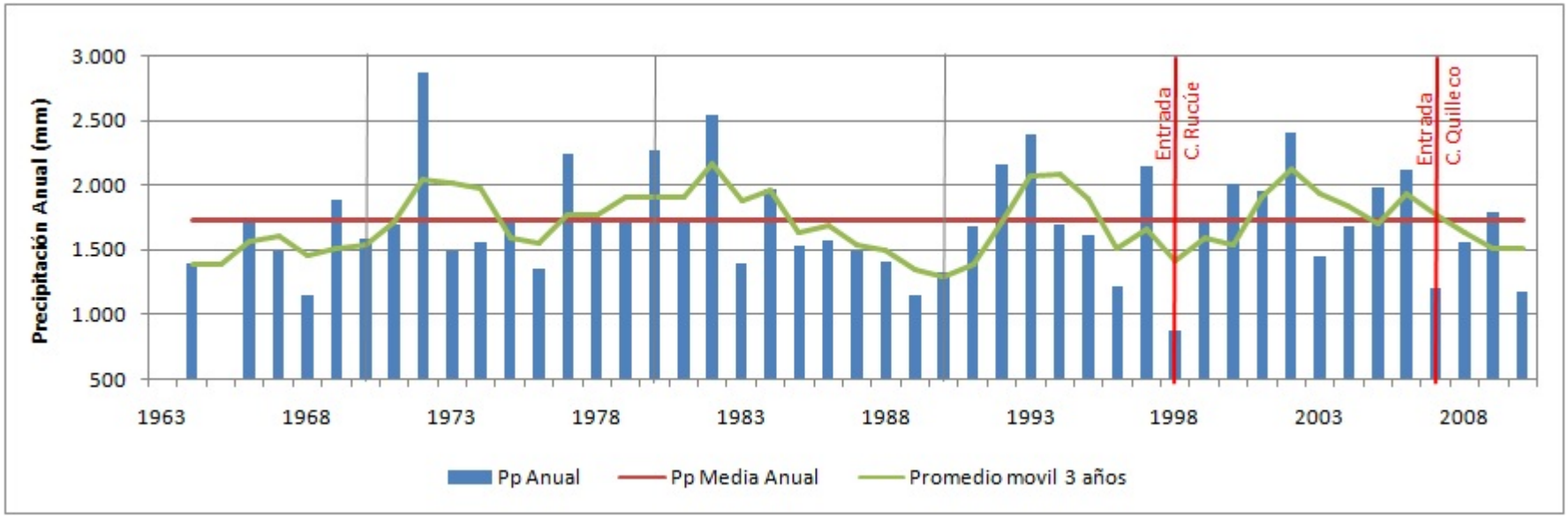

Figura 4.5. Serie de precipitación mensual en estación meteorológica Trupán

Finalmente, se analizó el comportamiento de la precipitación estacional, cuyos resultados se presentan en la Figura 4.6. En ella se observa que el periodo seco se ubica entre los meses de diciembre y marzo, con bajas precipitaciones. A su vez los meses con las mayores precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y agosto. No se observa un cambio en la estacionalidad de las precipitaciones a lo largo de la serie.

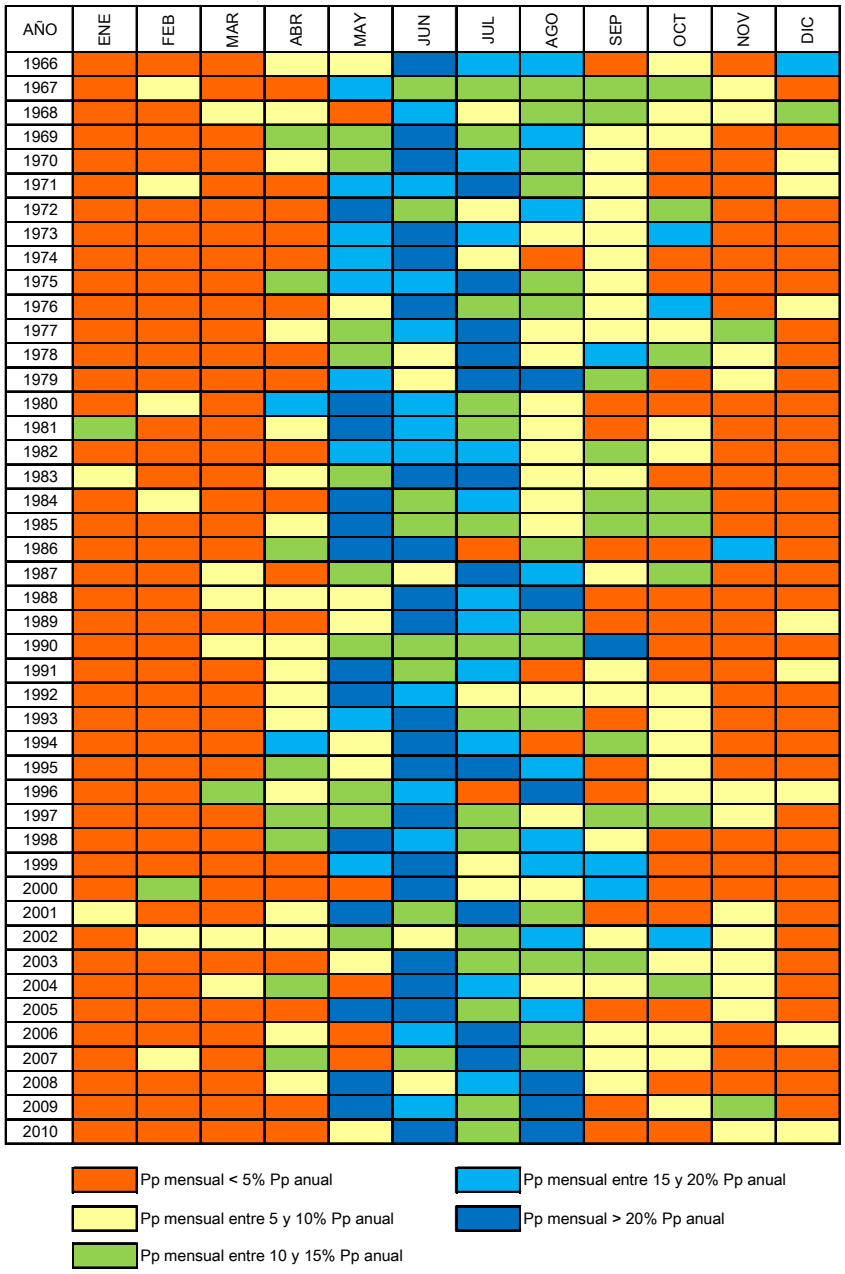

Figura 4.6. Precipitación Estacional Estación Meteorológica Trupán

4.2 ANÁLISIS FLUVIOMÉTRICO

Se recopiló y analizó información de caudales con dos objetivos:

- Estudiar el balance hídrico en el sistema del río Laja. Es de conocimiento popular en la zona y las autoridades de la DGA, que el río Laja recibe aportes de aguas subterráneas en el tramo comprendido entre su formación aguas abajo del Lago Laja y la localidad de Tucapel, incrementando su caudal. A través del análisis de las estadísticas fluviométricas se estimó la magnitud de estas recuperaciones y si estas tienen una estabilidad temporal.
- Caracterizar caudales captados en canales de regadío. Se analizaron estadísticas de caudales registradas en los distintos canales de regadío para establecer posibles aumentos en los usos consuntivos de los canales, lo que implica la disminución de los recursos hídricos disponibles en todo el sistema.

4.2.1 Balance Hídrico Río Laja

La siguiente sección presenta una estimación de las componentes del balance de escorrentía superficial y entrega una visión global de la factibilidad de refinar el análisis a la zona de estudio.

Se intentó integrar las distintas fuentes de información disponible, entre las que se encuentran información fluviométrica de carácter público e información contenida en distintos estudios previos realizados en el marco de la puesta en marcha de la central hidroeléctrica Quilleco y previamente de la central Rucúe. No obstante, dado que la información disponible contiene registros fluviométricos continuos, aforos puntuales y series generadas sintéticamente, se estableció que la información no es comparable debido a sus orígenes diversos. En este contexto, se optó por realizar un balance con la información pública disponible y la información de usos no consuntivos de las centrales Rucúe y Quilleco. Adicionalmente, se presentan a modo de referencia los resultados de balances realizados en estudios anteriores.

1. Análisis Extracciones Centrales Rucúe y Quilleco, Cobún

La Tabla 4.3 presenta las estadísticas de extracciones de la central Rucúe y Quilleco, la cual está representada por los gastos promedio turbinado que consideran los caudales captados en los ríos Laja y Rucúe. La serie presentada corresponde a toda la serie disponible en el periodo de operación. Los valores promedios se presentan en la Figura 4.7, se observa un periodo de aumento de los caudales extraídos por la central entre 1998 y 2001, y posteriormente variaciones producidas por las diferentes disponibilidades de recursos en el cauce, asociados al tipo de año hidrológico. Con respecto a la disponibilidad estacional se observa que los caudales entre los 60 y más de 100 m^3/s entre los meses de verano e invierno, respectivamente.

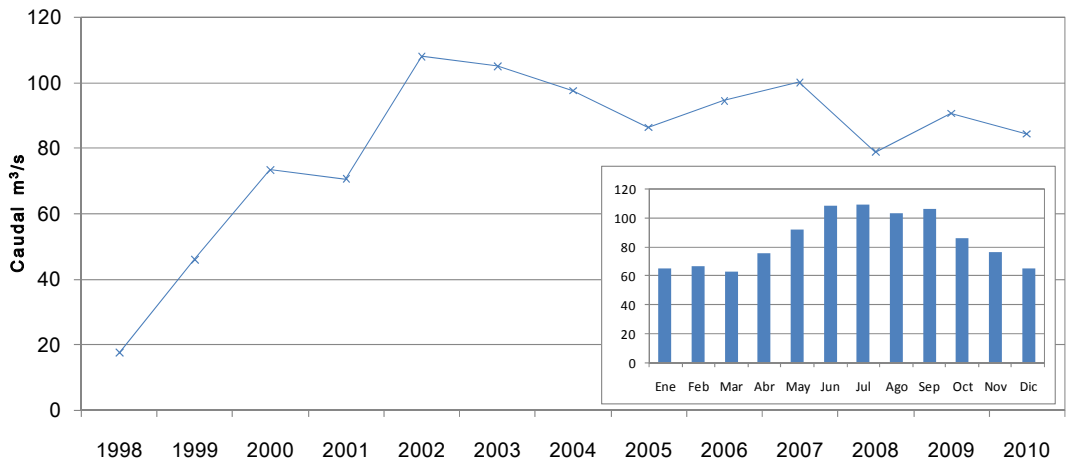

Figura 4.7. Caudales de extracciones medios anuales y mensuales centrales Rucúe y Quilleco

2. Información pública disponible en el Banco Nacional de Aguas (BNA)

Se obtuvo información fluviométrica de todas las estaciones pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA) ubicadas entre el Lago Laja y el Puente Tucapel en río Laja, cuya información general se presenta en la Tabla 4.2. La información pública se completó con información entregada por Colbún de las extracciones realizadas por las centrales Rucúe y Quilleco en los ríos Laja y Rucúe.

Tabla 4.2. Estadísticas extracciones centrales Rucúe y Quilleco, Colbún

Mes	Gasto Promedio Turbinado m³/seg														Prom. Mensual	Desviación
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
Enero	-	14,1	44,8	44,9	79,0	76,9	76,5	84,6	59,4	114,3	67,0	54,2	66,2	63,1	65,0	23,9
Febrero	-	13,6	35,2	46,9	90,0	90,8	77,8	69,2	69,2	113,6	70,9	55,2	71,8	59,9	66,5	25,6
Marzo	-	15,0	42,9	47,5	83,4	59,6	80,2	61,5	85,0	105,4	70,6	65,2	60,8	40,3	62,9	23,3
Abril	-	12,5	40,4	57,6	100,8	98,5	109,8	63,9	84,8	111,8	51,6	83,8	93,0	-	75,7	30,7
Mayo	-	22,8	47,8	82,8	114,0	111,5	122,3	87,8	121,2	120,1	75,1	107,2	94,3	-	92,2	31,3
Junio	-	59,4	99,1	111,9	128,0	121,1	125,4	114,8	131,9	100,5	84,7	121,0	107,4	-	108,8	20,7
Julio	-	48,2	97,3	120,1	117,3	125,9	128,2	105,6	121,9	110,5	106,9	118,5	117,8	-	109,8	21,4
Agosto	-	80,0	97,7	26,8	115,6	120,5	121,4	130,6	122,6	87,8	126,1	123,4	89,2	-	103,5	29,7
Septiembre	-	116,5	114,5	86,5	115,4	128,5	101,1	102,6	116,5	100,9	105,9	97,2	89,8	-	106,3	12,3
Octubre	17,6	77,5	112,5	75,4	127,7	123,3	81,7	86,1	72,8	98,3	72,0	97,7	78,9	-	86,3	28,0
Noviembre	18,5	54,5	85,4	71,4	124,6	104,0	87,1	69,7	69,9	76,0	62,1	88,5	78,1	-	76,1	25,1
Diciembre	16,4	38,2	62,9	75,3	100,8	99,9	59,3	60,3	79,4	62,8	53,3	75,7	65,8	-	65,4	22,7
Prom. Anual	**17,5**	**46,0**	**73,4**	**70,6**	**108,1**	**105,0**	**97,6**	**86,4**	**94,5**	**100,2**	**78,9**	**90,6**	**84,4**	**54,4**		

Tabla 4.3. Estaciones fluviométricas disponibles en el área de estudio

	Estación	Código BNA	Altitud msnm	UTM Norte m	UTM Este m
1	Canal Laja camino a Tucapel	08380002-K	285	5.867.611	236.722
2	Río Laja en Tucapel	08380001-1	285	5.870.127	235.305
3	Canal Laja-DiguillínI	08380005-4	S/I	5.867.596	237.258
4	Río Rucúe en camino a Antuco	08376001-K	450	5.863.679	252.465
5	Canal Zañartu salida Laguna Trupán	08122001-8	460	5.870.889	250.057
6	Canal de descarga Central Antuco	08371001-2	S/I	5.866.594	263.684
7	Canal Collao	08375005-7	490	5.868.248	265.416
8	Canal Zañartu después de boc. río Laja	08375004-9	490	5.868.116	266.208
9	Canal Mirrihue	08375006-5	500	5.865.652	265.288
10	Canal Abanico en Km 49	08375002-2	890	5.864.946	275.530
11	Río Polcura antes de desc. C. El Toro	08375001-4	710	5.865.069	275.527
12	Canal de descarga Central El Toro	08374002-7	S/I	5.861.624	280.497

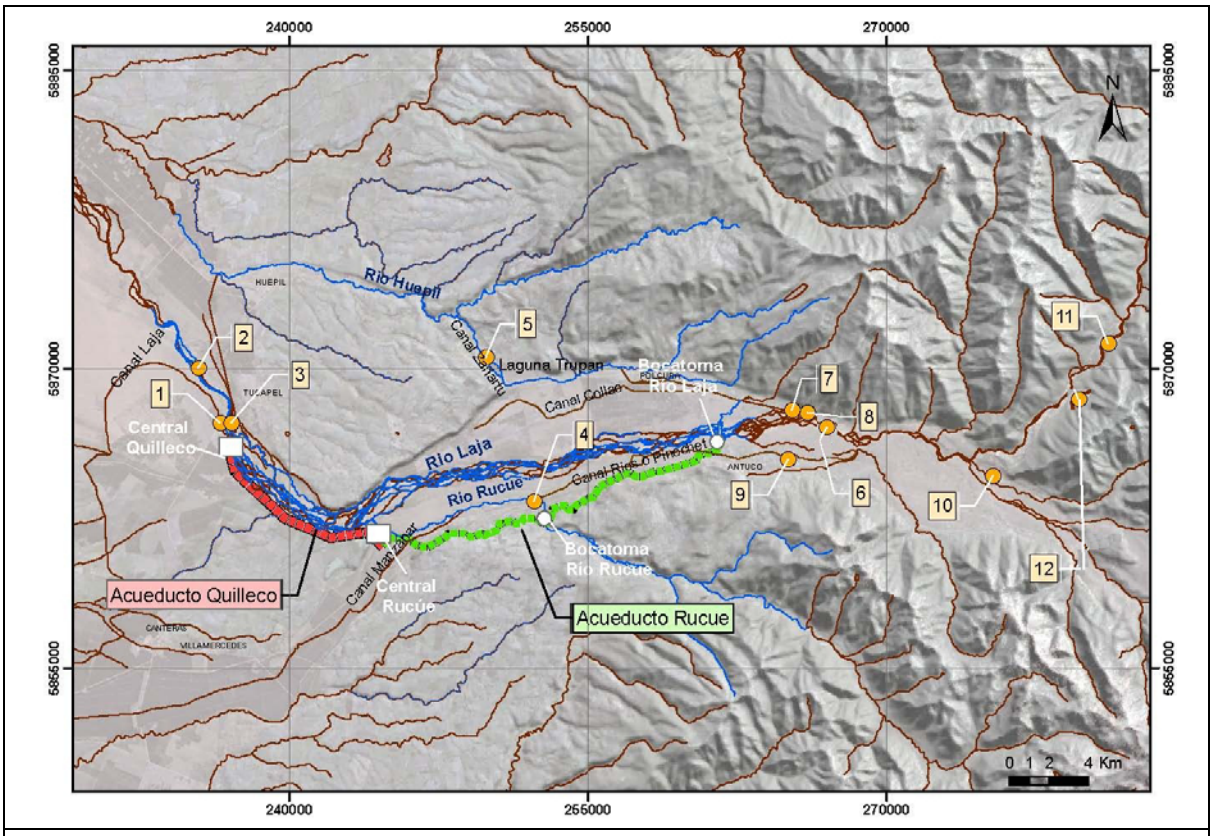

Figura 4.8. ubicación estaciones fluviométricas

La disponibilidad de información se presenta en la Figura 4.9. Se observa que la medición de caudales en la cuenca fue escasa e intermitente hasta el año 2003, año en el cual se comenzó a medir permanentemente los caudales pasantes en distintas secciones.

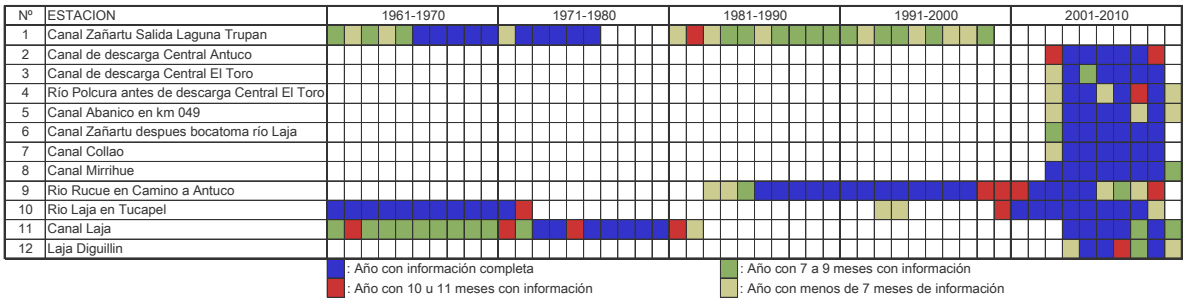

Figura 4.9. Disponibilidad de información fluviométrica

A partir de la información disponible, se realizó un balance hídrico en el río Laja frente a Valle del Laja considerando el diagrama presentado en la Figura 4.10, según:n:

$$\text{Balance} = (Q_{\text{Antuco}} + Q_{\text{Río Rucúe}}) - (Q_{\text{canales}})$$

$$Q_{\text{Recuperaciones}} = Q_{\text{Laja en Tucapel}} - \text{Balance}$$

$$Q_{\text{Valle del Laja}} = \text{Balance} - Q_{\text{centrales}} + Q_{\text{Recuperaciones}}$$

Donde:

$Q_{\text{Valle del Laja}}$ Caudal pasante frente a la zona de estudio, Valle del Laja.

$Q_{\text{afluentes}}$ Suma caudales de estaciones fluviométricas canal de descarga Central Antuco y Río Rucúe en camino a Antuco.

Q_{canales} Suma de caudales extraídos por canales de regadío aguas arriba zona de estudio.

$Q_{\text{Centrales}}$ Caudal extraído por las centrales Rucúe y Quilleco, desde los ríos Laja y Rucúe.

$Q_{\text{Recuperaciones}}$ Caudal que aportan las cuencas intermedias al tramo analizado. Está compuesto por aportes de escurrimientos superficiales y subterráneos.

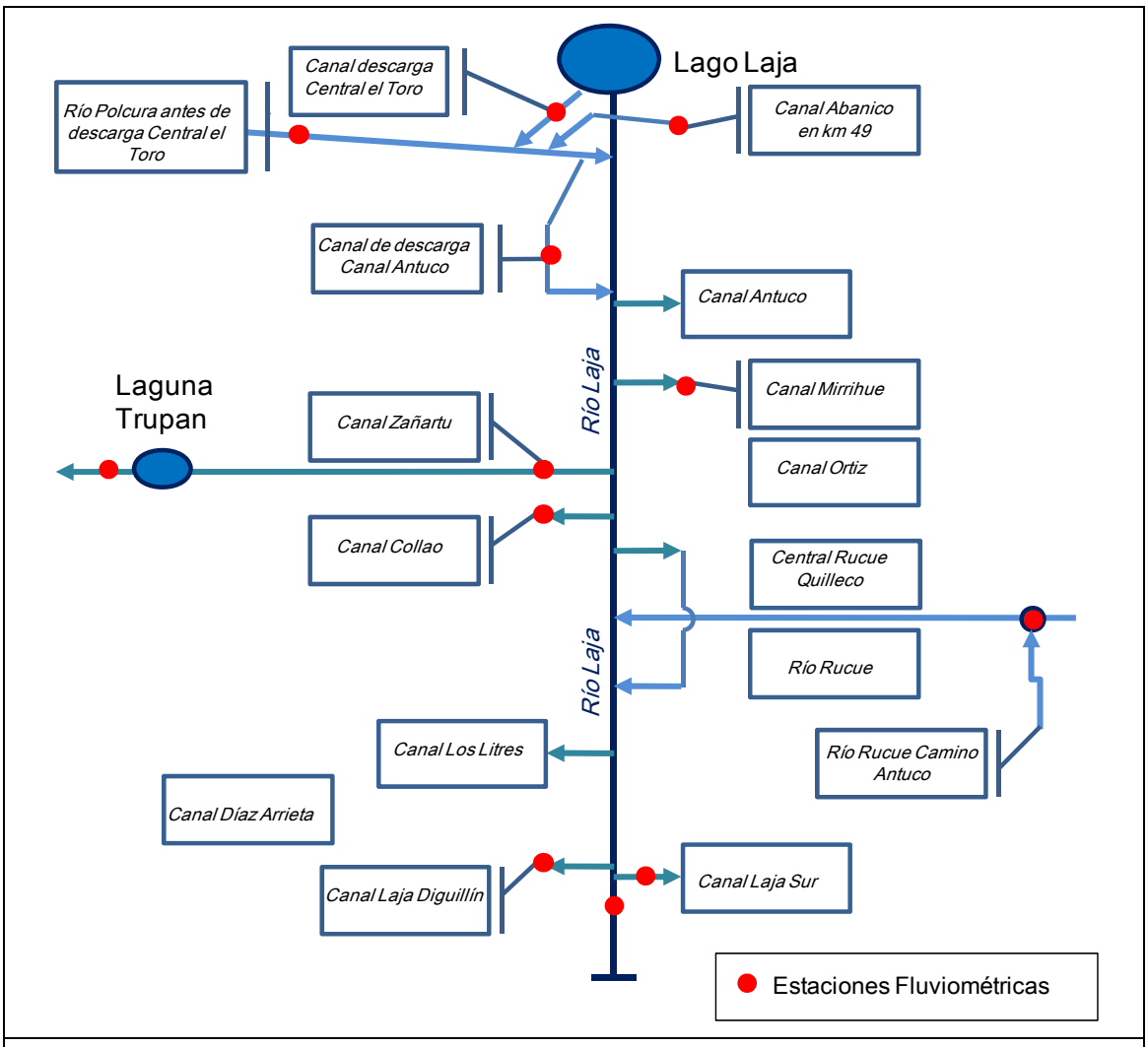

Figura 4.10. Diagrama unifilar cuenca alta río Laja

Las recuperaciones producidas en el río Laja se calcularon como la diferencia entre los registros de la estación río Laja en Puente Tucapel, y el balance hídrico realizado aguas arriba de Puente Tucapel, en la que se consideran como entradas la suma de los caudales de descarga de Central Antuco y la estación fluviométrica Río Rucúe en camino a Antuco, y como salidas, la sumatoria de las extracciones de canales de regadío ubicados entre el Lago Laja y Puente Tucapel. Se supuso que todas las recuperaciones se producen aguas arriba del Valle del Laja.

La Figura 4.11 presenta los resultados gráficos del balance utilizado para la estimación de recuperaciones, se observa que entre la serie asociada al balance hídrico y los registros disponibles en la estación fluviométrica río Laja en Puente Tucapel, existe una diferencia de caudal presente en todo el periodo de análisis, lo que indicaría que existen aportes adicionales en el tramo. Estas contribuciones corresponderían a aportes de cuencas intermedias, en términos de escorrentía superficial y subsuperficial.

Entre los meses de abril y septiembre, periodo asociado a la época de lluvias, los valores de recuperaciones aumentan hasta alcanzar un peak en el mes de julio, para después descender hasta el mes de septiembre, donde los valores se mantienen relativamente constantes hasta abril. Dicho comportamiento, que se repite año a año, se explica porque durante los meses de lluvias las recuperaciones aumentan producto de la escorrentía directa, mientras durante los meses de estiaje el valor asociado a recuperaciones subsuperficiales se mantiene constante. La Tabla 4.6 presenta los valores de recuperaciones promedios para la época de estiaje, se observa que para años húmedos las recuperaciones aumentan y viceversa.

Una vez estimadas las recuperaciones, el balance hídrico se aplicó a las estadísticas fluviométricas mensuales entre los años 2004 y 2008, en las cuales se cuenta con información de todas las secciones de control. La única estación con registros incompletos en el periodo de tiempo analizado, fue la estación fluviométrica Rucúe camino a Antuco, cuya información faltante se rellenó con los caudales medios mensuales observados en todo el registro disponible.

La Figura 4.12 presenta los resultados gráficos de los caudales pasantes en el río Laja frente a la zona denominada Valle del Laja. La Tabla 4.5 presenta los valores medios de los caudales pasantes en el Río Laja frente a Valle del Laja.

Tabla 4.4. Estimación recuperaciones para meses de estiaje entre los años 2004 y 2008

MES	Canal de descarga Central Antuco	Canal Antuco	Canal Mirrihue	Canal Ortiz	Canal Zanartu	Canal Collao	Río Rucue	Canal Los Litres	Canal Dias Arrieta	Canal Laja Diguillin	Canal Sur Laja	Laja Tucapel	Recuperaciones	Promedio Recuperaciones
oct-04	105,5	1,0	1,1	0,4	4,6	0,8	8,2	3,3	0,4	0,0	24,6	107,7	30,2	
nov-04	111,2	1,0	2,6	0,4	7,2	4,8	6,8	3,3	0,4	0,0	40,0	101,9	43,6	
dic-04	92,5	1,0	2,7	0,4	10,2	4,8	8,3	3,3	0,4	11,2	51,3	33,1	17,5	27,6
ene-05	128,3	1,0	3,5	0,4	16,3	10,4	7,0	3,3	0,4	14,2	53,4	57,6	25,1	
feb-05	124,7	1,0	4,6	0,4	16,5	10,7	4,4	3,3	0,4	12,1	53,1	51,8	24,7	
mar-05	101,8	1,0	3,5	0,4	13,4	8,3	2,4	3,3	0,4	11,8	46,5	39,8	24,2	
oct-05	98,6	1,0	0,6	0,4	3,2	1,8	2,1	3,3	0,4	0,0	38,6	82,4	31,0	
nov-05	116,0	1,0	2,6	0,4	10,0	10,6	8,5	3,3	0,4	10,8	47,5	67,0	29,1	
dic-05	103,3	1,0	2,9	0,4	9,4	9,8	6,8	3,3	0,4	10,4	46,5	54,3	28,3	33,7
ene-06	72,1	1,0	3,3	0,4	8,7	9,0	7,4	3,3	0,4	10,3	52,4	25,3	34,5	
feb-06	88,1	1,0	3,4	0,4	15,3	10,1	5,3	3,3	0,4	10,8	52,0	31,8	35,2	
mar-06	106,4	1,0	4,0	0,4	20,4	10,7	4,6	3,3	0,4	10,8	42,5	62,0	44,3	
oct-06	120,0	1,0	1,4	0,4	1,9	0,2	13,7	3,3	0,4	4,4	24,6	171,2	75,1	
nov-06	104,1	1,0	2,2	0,4	1,9	0,6	10,4	3,3	0,4	5,1	48,8	104,9	54,1	
dic-06	91,7	1,0	2,8	0,4	5,9	3,0	9,8	3,3	0,4	5,2	49,5	85,6	55,5	51,5
ene-07	131,7	1,0	2,9	0,4	11,2	5,8	7,4	3,3	0,4	9,9	52,9	100,8	49,5	
feb-07	149,6	1,0	3,1	0,4	17,5	5,8	5,3	3,3	0,4	11,9	49,6	101,1	39,2	
mar-07	141,0	1,0	2,4	0,4	18,2	5,3	4,6	3,3	0,4	11,9	45,1	93,4	35,8	

Tabla 4.5. Estimación caudales del Río Laja frente a Valle del Laja (m^3/s)

PROMEDIO	65,27
PROMEDIO PREQUILLECO	78,16
PROMEDIO POST QUILLECO	50,3
PROMEDIO VERANO	44,91
PROMEDIO INVIERNO	82,79
PROMEDIO PRE QUILLECO VERANO	50,19
PROMEDIO POST QUILLECO VERANO	37,60
PROMEDIO PREQUILLECO INVIERNO	106,12
PROMEDIO POST QUILLECO INVIERNO	59,46

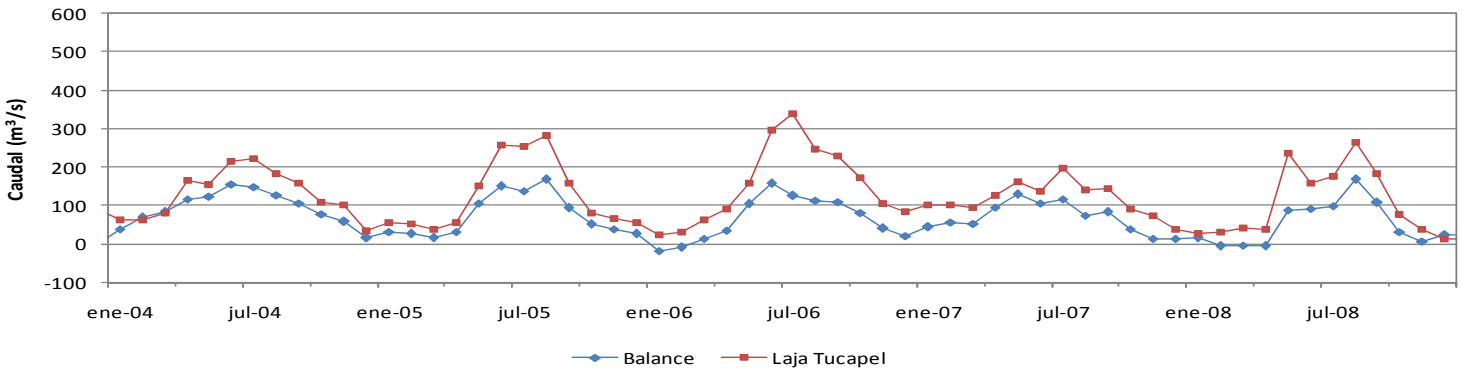

Figura 4.11. Balance hídrico río Laja entre descarga Central Antuco y Puente Tucapel

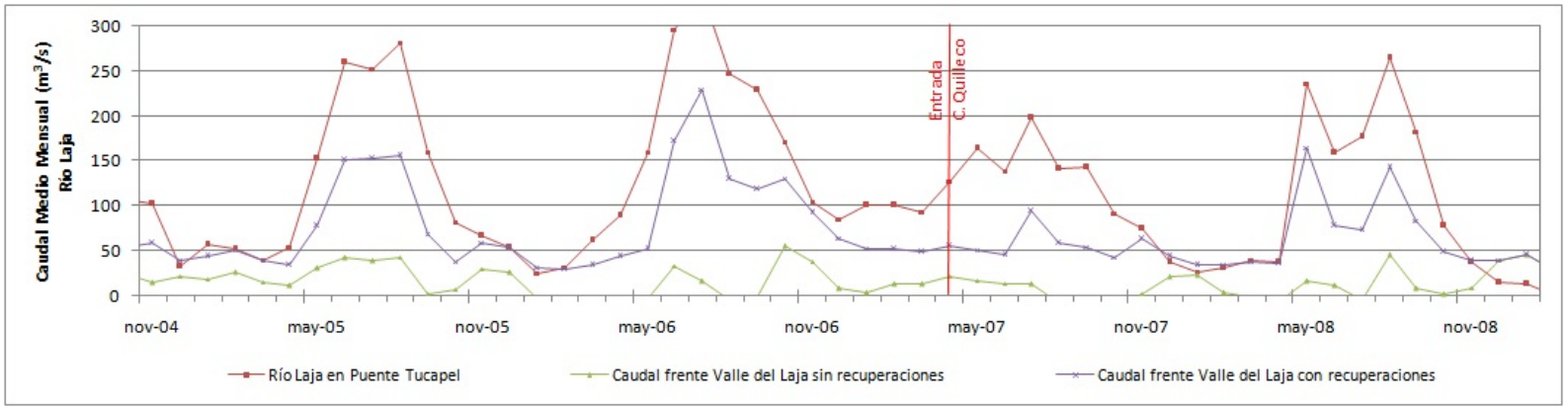

Figura 4.12. Caudales pasantes en río Laja, frente al Valle del Laja

4.2.2 Balances Hídricos Río Laja realizados por estudios anteriores

1. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Quilleco (Colbún, 1998)

Este estudio hace una presentación histórica del comportamiento de los ríos Laja y Rucúe, para lo cual se presentan series sintéticas de caudales medios mensuales entre abril de 1950 y marzo de 1990, estimadas previamente por el EIA de la Central Rucúe (EWI S.A., 1996).

Para la realización del balance hídrico en la zona de estudio, se consideraron como entradas al sistema las series de caudales medios mensuales generadas para los ríos Laja en bocatoma de central Rucúe y Río Rucúe en canal Canteras. Como salidas del sistema se consideró la serie generada en el río Laja aguas debajo de confluencia con Rucúe. La Tabla 4.6 presenta los resultados del balance, se observa que en promedio existe una recuperación en el tramo para todos los meses del año. Sin embargo, cerca de un tercio de los meses analizados no registra recuperaciones de caudal, al contrario registra pérdidas. En conclusión, según las estadísticas presentadas, no se puede asegurar en base a la información presentada que en el tramo del río Laja comprendido entre la bocatoma de la central Rucúe y aguas abajo de la junta con el río Rucúe, existan recuperaciones de caudal desde el acuífero hacia el río durante todo el tiempo.

Tabla 4.6. Balance hídrico entre bocatoma central Rucúe y río Laja aguas abajo junta río Rucúe

Mes	Información Balance			Recuperaciones		
	Boc. C. Rucúe	R. Rucúe	A. abajo junta Rucúe	Media	Meses con Rec.	Meses sin Rec.
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	%	%
Abril	65,8	3,4	70,9	1,7	67	33
Mayo	137,2	16,1	158,4	5,1	62	39
Junio	185,8	29,4	225,4	10,3	67	33
Julio	194,5	30,9	234,6	9,2	62	39
Agosto	174,2	27,4	213,5	12,0	74	26
Septiembre	167,2	22,5	199,7	10,0	62	39
Octubre	214,3	18,1	239,9	7,5	62	39
Noviembre	238,9	12,2	257,5	6,4	69	31
Diciembre	180,9	8,3	194,4	5,3	67	33
Enero	99,8	3,9	107,1	3,4	80	21
Febrero	69,2	4,6	76,1	2,3	72	28
Marzo	56,3	3,1	61,8	2,4	80	21

2. Addendum del Estudio de Impacto Ambiental (Electrowatt Engineering, 1999)

El objetivo de los análisis hidrológicos presentados en el Addendum fue demostrar que existen recuperaciones en el río Laja entre la bocatoma de la central Rucúe y el puente Tucapel. En este se realizaron 15 mediciones de caudal entre noviembre de 1998 y febrero de 1999.

Por medio de la aplicación de balances el Addendum concluyó que el río Laja es recargado por el acuífero, diagrama unifilar presentado en la Figura 4.13 (18 de febrero de 1999), en donde establece un aumento de caudal entre la sección 2 y 5 (6,7 m^3/s), y entre la sección 7 y 6 (3,5 m^3/s).

La Tabla 4.7 presenta el balance aplicado en el Addendum a las mediciones realizadas el 18 y 25 de febrero de 1999, ya que son las únicas que cuentan con aforos aguas arriba de la confluencia de ambos ríos, lo que permite realizar el balance entre la bocatoma de la Central Rucúe y el Puente Tucapel.

Efectivamente los resultados de la Tabla 4.7 muestran que se observaron recuperaciones en los tramos analizados en día 18 de febrero de 1999, no obstante una semana después no se observa el mismo comportamiento. Efectuando el mismo calculo anterior, se aprecia en este caso las pérdidas de caudal por 3,8 m^3/s entre la bocatoma de la Central Rucúe y el río Laja antes de la junta con el río Rucúe. Adicionalmente, no se hace hincapié en que las recuperaciones percibidas entre las secciones 7 y 6 estarían favorecidas por el aporte del río Rucúe al río Laja las cuales no se han considerado.

Estimaciones realizadas en el EIA de la central Quilleco, indican que el caudal medio mensual para el mes de febrero en una serie de 40 años (1950 – 1990), en la estación Río Rucúe aguas abajo Canal Canteras (representativo del río Rucúe aguas arriba de la toma de central Rucúe, según el EIA) es de 4,6 m^3/s, lo que implicaría que no existen aportes en los balances realizados el 18/02/99 y disminuiría los aportes a la mitad en el balance realizado el 25/02/99.

Tabla 4.7. Balance en el río Laja según Estudio de Electrowatt Engineering (1999)

Sección	Descripción	18/02/99	25/02/99	Observaciones
1	Central Antuco	55,5	55,5	Diferencia entre Central Antuco y Canales
	C. Mirrihue	3,5	2,9	
	C. Zañartu	9,2	8,7	
	C.Collao	7,6	6,7	
	TOTAL	**35,19**	**37,2**	
2	Caudal Generado C. Rucúe	21,5	15,8	Sección 1 menos caudal generado C. Rucúe
	TOTAL	**13,7**	**21,4**	
5	Q. Aguas Arriba de confluencia	20,4	17,6	Aforado
7	**TOTAL**	**41,9**	**33,4**	Sección 5 más caudal generado C. Rucúe
6	C. Bulnes	0,2	0,2	Río Laja en Tucapel más extracciones
	C. Los Litres	2,1	1,5	
	C. Laja	38,2	35,5	
	Río Laja en Tucapel	4,9	5,3	
	TOTAL	**45,4**	**42,4**	
Recuperación entre sección 2 y 5		**6,7**	**-3,8**	
Recuperación entre sección 7 y 6		**3,5**	**9,0**	

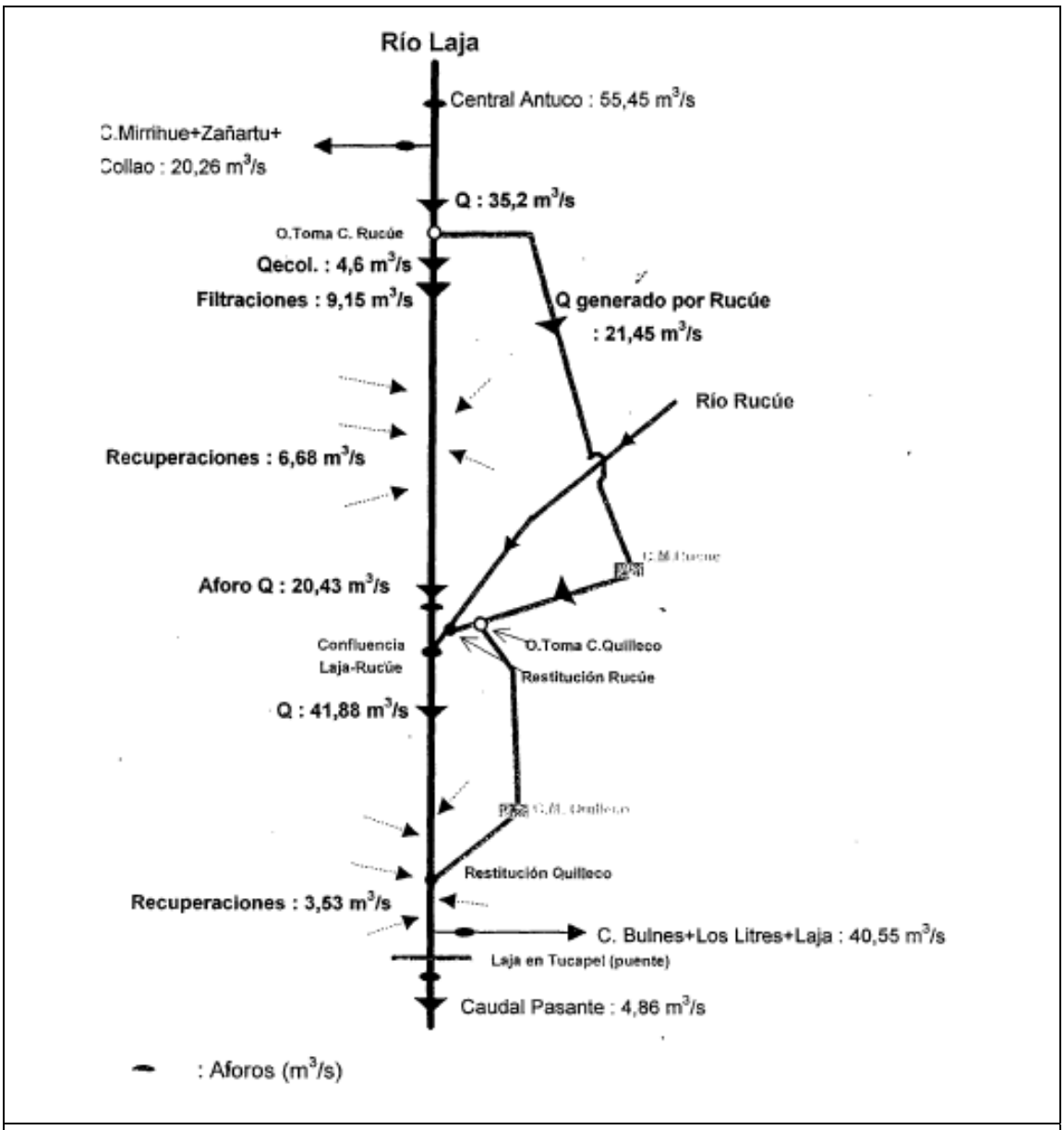

Figura 4.13. Diagrama Unifilar río Laja para aforos realizados el 18/02/99

Fuente: [Electrowatt Engineering, 2000]

3. Hidrogeología Río Laja Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)

El estudio hidrogeológico solicitado a Ingendesa (2000) realizó cinco mediciones de aforos a lo largo del río Laja entre diciembre de 1999 y marzo de 2000.

La Tabla 4.8 se presenta una síntesis de los resultados obtenidos en la campaña de aforo, en base a los cuales se realizaron balances en el río Laja. A partir de estos resultados se concluyó que el río Laja recibe aportes desde el acuífero según el diagrama presentado en la Figura 4.14. Para los afloramientos en el tramo comprendido entre la junta de los ríos Laja y Rucúe y el Puente Tucapel, se indica que los antecedentes aportados por la campaña de aforos no logran definir de forma clara la presencia de afloramientos y se estimó que de existir tienen una significancia menor.

Las secciones presentadas en la Tabla 4.8 se describen a continuación:

- Sección 1: Río Laja aguas arriba de Bocatoma Central Rucúe
- Sección 2: Río Laja aguas abajo de Bocatoma Central Rucúe
- Sección 3: Río Laja frente a localidad de Mirrihue
- Sección 4: Río Laja frente a predio Calleuque
- Sección 5: Río Laja antes de confluencia con Río Rucúe
- Sección 6: Río Laja aguas arriba de la barrera Laja en Puente Tucapel

Tabla 4.8. Aforos medidos por Ingendesa m³/s (2000) en el Río Laja

		5-dic-99	28-dic-99	25-ene-00	24-feb-00	22-mar-00
AFOROS	Sección 1	68,5	34,8	71,6	73,2	34,0
	Sección 2	4,6	5,5	6,1	5,5	1,3
	Sección 3	10,4	15,0	15,2	17,5	7,0
	Sección 4	23,1	22,2	22,8	23,8	17,0
	Sección 5	27,8	31,2	31,5	33,9	22,7
	Sección 6	77,7	101,9	67,2	81,3	49,0
BALANCES	Secciones 3 - 2	5,8	9,6	9,2	12,0	5,7
	Secciones 4 - 2	18,4	16,7	16,8	18,3	15,7
	Secciones 5 - 2	23,1	25,7	25,4	28,4	21,4
DEFICIT	Secciones 6 - 5	49,9	70,6	35,7	47,4	26,3
	Captación C. Rucúe	63,9	29,3	65,6	67,7	32,7
	Diferencia	-13,9	41,3	-29,9	-20,3	-6,4

Fuente: [Modificado de Hidrogeología del Río Laja. Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)]

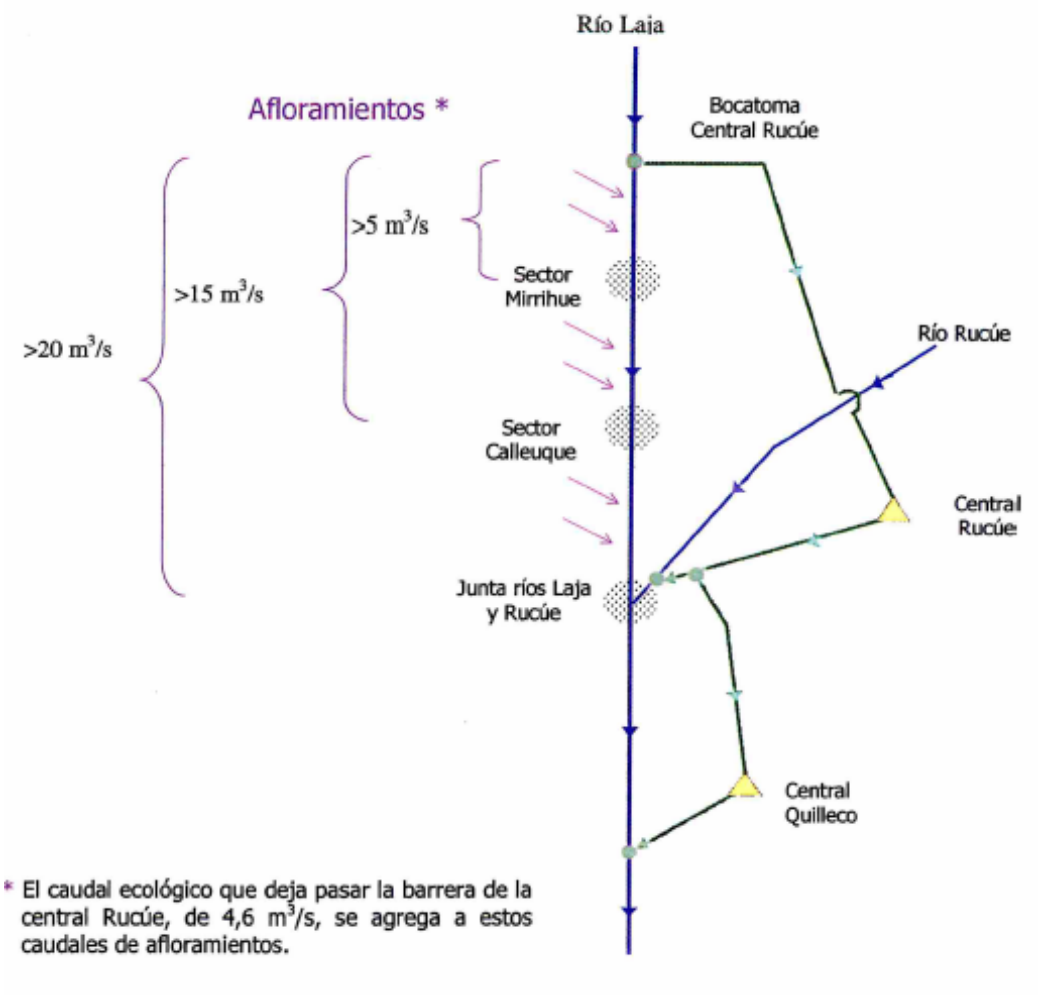

Figura 4.14. Diagrama Unilineal Río Laja. Caudales de Afloramiento

Fuente: [Determinación de Caudal Mínimo Ecológico-Dic 99 (Colbún, 2000)]

4.2.3 Análisis extracciones consuntivas de canales

El sistema Laja, compuesto por el lago y el río Laja, constituye uno de los sistemas más importantes del país en materia de generación hidroeléctrica, con la presencia de tres centrales hidroeléctricas de Endesa y dos centrales de Colbún. Esta situación determina que el régimen del río sea el resultado de una gestión convenida entre los distintos actores que actúan en la cuenca.

La disponibilidad de recursos hídricos depende principalmente de los usos no consuntivos ejercidos por las centrales hidroeléctricas, las cuales regulan la disponibilidad de caudales en el nacimiento del río Laja, y los usos consuntivos de los múltiples canales de regadío existentes en la zona.

En la cabecera de la cuenca del río Laja se encuentran las centrales hidroeléctricas de Endesa Abanico, El Toro y Antuco, puestas en operación los años 1948, 1973 y 1981 respectivamente. Estas centrales determinan la disponibilidad hídrica en el río Laja, como consecuencia de un convenio entre la dirección de riego y Endesa suscrito el año 1958, que estableció que el caudal que debía asegurar Endesa a los antiguos regantes alcanza los 90 m^3/s en el río Laja en Puente Tucapel. Cuando el caudal disponible en Tucapel es inferior a 90 m^3/s, Endesa debe completar en el río Laja frente a bocatoma Abanico, un gasto equivalente al caudal máximo de filtraciones registradas

Aguas abajo de la central Antuco se ubican las bocatomas de los canales de regadío. La Tabla 4.9 presenta una síntesis de los derechos de aprovechamiento de recursos hídricos superficiales de cada uno de los canales, los caudales medios mensuales en el periodo de registro disponible en la DGA (Figura 4.9) y una estimación de los usos efectivos de los canales realizada el año 2000 (Estudio de Disponibilidad Cuenca del Río Laja, DGA 2000).

La Figura 4.13 presenta las series de caudal medio anual en los canales de riego disponible en los registros públicos del BNA. En ellos se observa que en el periodo comprendido entre los años 2003 y 2004 no ha habido aumentos significativos en los caudales extraídos desde los canales de regadío, solo se observa un aumento en las extracciones del Canal Zañartu entre los años 2008 y 2009 de alrededor de 5 m^3/s.

Tabla 4.9. Información de canales de riego en zona de estudio

CANAL	Derechos (m3/s)	Registro Fluviométrico DGA Años de registro	Caudal Medio Anual (m3/s)	Estudio DGA 2000 Usos Efectivos (m3/s)
Canal Antuco	0,7	S/I	S/I	0,7
Canal Mirrihue	6	8	1,99	4
Canal Ortiz	0,43	S/I	S/I	0,38
Canal Zañartu	45	34	9,77	22
Canal Collao	7,96	8	3,09	8,2
Canal Los Litres	3,3	S/I	S/I	2
Canal Díaz Arrieta	0,35	S/I	S/I	S/I
Canal Laja Diguillin	-	7	7,08	S/I
Canal Laja Sur	42	29	30,53	52

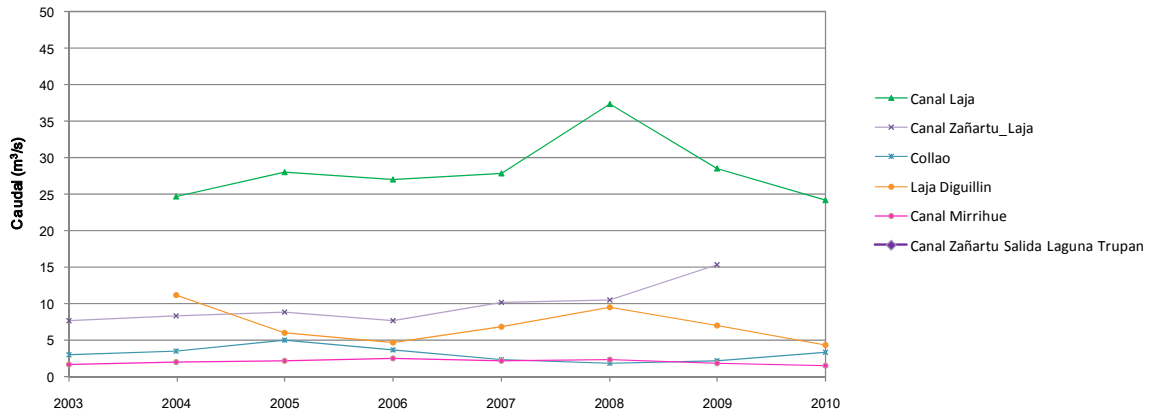

Figura 4.15. Series de caudal extraídos de canales de riego para uso consuntivo

4.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El análisis pluviométrico se realizó en base a las estadísticas registradas en la estación meteorológica Trupán de la DGA, la cual cuenta con una serie de precipitación de 47 años. Los análisis de precipitaciones permiten concluir que no se observa un cambio evidente en el régimen de precipitaciones de la zona, en los últimos 10 años, ya que los valores precipitados se encuentran en los rangos observados en la serie, y no corresponden a mínimos o máximos históricos.

No obstante, es importante mencionar que el año 2010, junto al 2007, fueron los años con las precipitaciones más bajas en la última década, con probabilidades de ocurrencia de cerca de un 90%, lo que implica un periodo de escases importante.

Dentro del análisis fluviométrico se realizó un balance de recursos superficiales en el río Laja, el cual se aplicó en forma independiente a cada tipo de información de caudales (registros fluviométricos, aforos y series de caudales sintéticas). Los resultados muestran claramente, que en el tramo analizado comprendido entre el nacimiento del río Laja en el lago del mismo nombre y el río Laja en Puente Tucapel, existen incrementos de caudal producto de los aportes de las cuencas intermedias. Dichos aportes están constituidos por flujos superficiales que aumentan su magnitud durante la época de lluvias y un caudal subsuperficial que se mantiene constante durante todo el año y varia en magnitud año a año, dependiendo si se encuentra en épocas de escases o abundancia.

En general se observó que la información disponible indica que los caudales promedios pasantes por el Río Laja frente al Valle del Laja son del orden de 65,27 m^3/s, el cual se puede desglosar en el promedio Pre Quilleco de 78,16 m^3/s y Post Quilleco de 50,30 m^3/s.

Con respecto al análisis de estadísticas de extracciones en canales de regadío, se observó que la medición rigurosa de los caudales comenzó durante los últimos 10 años. Esta situación no permite establecer en forma cuantitativa el comportamiento histórico de los usos consuntivos en canales, siendo posible sólo establecer que en el periodo de medición los usos no han presentado aumentos significativos.

No obstante, un seguimiento cualitativo de los antecedentes recopilados para el sistema de gestión en la cuenca, muestra que ya el año 2000 la Dirección General de Aguas

decretó que se habían entregado mayores derechos de agua que los disponibles físicamente en el cauce, comprometiendo incluso el caudal ecológico de este, y que no era posible entregar nuevos derechos de aprovechamiento (Estudio de Disponibilidad Cuenca del Río Laja, DGA enero 2000).

Durante los últimos 10 años el cambio más significativo en materia de entrega de nuevos derechos de aprovechamiento, fue la entrada en operación del Canal Laja Diguillin, ubicado aguas abajo de la zona de estudio. La entrada en operación causo gran polémica, ya que dicho canal trasvasa aguas desde el río Laja perteneciente a la gran cuenca del Bio Bio al río Diguillin perteneciente a la cuenca del río Itata. En esta oportunidad la Dirección de Obras Hidráulicas hizo efectivos derechos de usos sobre el almacenamiento del Lago Laja para su abastecimiento.

Actualmente, se encuentra detenido un proyecto hidroeléctrico aguas debajo de la Laguna Trupan, el cual pretende utilizar las aguas del Canal Zañartu. El problema surge en la intención de la asociación de canalistas del canal en aumentar los usos históricos a los derechos otorgados, a lo cual se oponen los demás actores de la cuenca con el argumento que dichos derechos no son sustentables.

En conclusión, actualmente y al menos hace diez años, se observa un equilibrio con respecto a los usos consuntivos de los caudales del río Laja, el que es controlado rigurosamente por los distintos actores ya que el aumento de los usos en alguno de los canales de regadío implica la disminución de recursos disponibles para otros. En este sentido las extracciones del Canal Zañartu han aumentado en aprox. 5 m^3/s entre los años 2008 y 2009, frente a una gran polémica en la comunidad ya que estos pretenden instalar una central de pasada en el canal Zañartu.

A su vez no se observa avances de tecnología importantes en los canales de regadío ubicados aguas arriba de la zona de estudio, siendo estos no revestidos y utilizados en forma histórica. No pasa lo mismo con los canales aguas abajo, los que se han desarrollado técnica para el uso eficiente de los recursos.

5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

La descripción geomorfológica regional está basada en el trabajo "Evolución Geológica-Geomorfológica cuaternaria del tramo superior del Valle del Río Laja" de los autores Ricardo Thiele, Hugo Moreno, Sara Elgueta, Alfredo Lahsen, Sofía Rebolledo y María Eugenia Petit-Breuilh publicado en la Revista Geológica de Chile el año 1998.

Se realizó un análisis morfométrico y un reconocimiento de unidades geomorfológicas vía teledetección de en grupo de imágenes satelitales-aéreas y modelos digitales de elevación, ellos son:

- **Imagen Landsat TM del 30 de diciembre del año 1986:** NASA Landsat Program, Landsat ETM, , EarthSat-Orthorectified Geocover, Geotiff. Fuente de estos datos Global Land Cover Facility (www.landcover.org).
- **Fotografías Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) del año 1998:** Fotografías aéreas color, número 24753, 24769 y 24739, adquiridas el año 1998, proyección PASAD 56 UTM, huso 18°S. Fuente de información CONAF y CONAMA (SINIA, http://www.sinia.cl).
- **Imagen Landsat ETM del 27 de enero del año 2000:** NASA Landsat Program, Landsat ETM, , EarthSat-Orthorectified Geocover, Geotiff. Fuente de estos datos Global Land Cover Facility (www.landcover.org).
- **Imagen Landsat ETM del 30 de enero del año 2007:** NASA Landsat Program, Landsat ETM, EarthSat-Orthorectified Geocover, Geotiff. Fuente de estos datos Global Land Cover Facility (www.landcover.org).
- **Imagen Landsat ETM (+) del 01 de enero del año 2010:** NASA Landsat Program. Fuente de estos datos "Earth Resources Observation and Science (EROS) Center (USGS)".
- **Modelo Digital de Elevación USGS, 2000. Shuttle Radar Topography Mission (DEM SRTM)**: 3 Arc Second scene. Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, 2000. Source for this data set was the Global Land Cover Facility(www.landcover.org).
- **Modelo Digital de Elevación ASTER Global Digital Model (GDEM, 2009):**. GeoTIFF 1 arc-second (30 m) referida al geoide WGS84/EGM96. Fuentes de los datos Japan-US ASTER Science Team.

5.1 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA REGIONAL

Al norte del río Bio-Bío es posible distinguir, de oeste a este, ocho unidades morfológicas de carácter subregional: la Planicie costera marina, los llanos de sedimentación fluvial, la cordillera de la costa, las cuencas graníticas marginales, la depresión intermedia, la plataforma piedemonte andino, la precordillera y la cordillera andina, de retención crionival. El área de interés se ubica, esencialmente, en la plataforma piedemonte andino, en su límite con la precordillera, sobre los valles del río Laja, el afluente septentrional más importante del Bío Bío y del río Huépil, el afluente más austral del Itata.

El valle primigenio del Laja fue labrado tanto por la erosión glacial como por la fluvial. La morfología de este valle, donde están albergados los ríos Rucúe, Laja y Mancu, posteriormente, fue modelada por la compleja interacción entre volcanismo, procesos de remoción en masa y sedimentación fluvio-glacial. De hecho, entre las grandes unidades geomorfológicas que conforman el Valle del Laja, se encuentran el cono poligénico de Quilleco y el Volcán Antuco, transformando, al valle en la principal descarga de los materiales volcánicos del Antuco. Hoy en día, la depresión tiene un ancho promedio, en el piedemonte Andino, de entre 3 y 6 kilómetros, angostándose a 1 Km al romper el piedemonte. Aguas abajo, el valle se abre en dirección occidental, mediante un gran abanico.

Otro rasgo morfológico de importancia en la zona es el centro volcánico activo Antuco, que es un complejo estrato-volcán compuesto por un anfiteatro caldérico formado por una fase de violentas explosiones laterales y colapsos, y el cono Quilleco que corresponde a un extenso abanico formado por materiales volcanoclásticos y sedimentarios,

A lo largo de río Laja se han desarrollado, al menos, cuatro niveles de terrazas fluviales, de hasta 80 m por sobre el nivel del lecho actual del río y 3 Km de ancho, reconociéndose adosadas en ambos flancos del valle.

5.2 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA ZONA DE ESTUDIO.

En la fisiografía de la zona de análisis (Figura 5.1) se distinguen seis unidades geomorfológicas principales, las cuales corresponden a: una planicie superior, una planicie inferior, un conjunto de quebradas, un grupo de terrazas fluviales, un conjunto de escarpes – taludes - conos y una llanura de inundación.

La planicie superior corresponde a una meseta elevada que mantea 2,5° hacia el Oeste, formada por depósitos aluviales de la unidad geológica denominada Cono Poligénico de Quilleco (Se describirá en el capitulo siguiente). Dicha meseta gradualmente disminuye su altitud desde aproximadamente 580 a 360 msnm (en la zona de análisis), dando paso a una planicie inferior que mantea 1° hacia el Oeste y posee una altitud que varía entre 360 y 300 msnm. Sobre la planicie superior se observan un grupo de quebradas que representan cauces fluviales menores (Figura 5.1). Es interesante notar que existe una asociación geográfica con un grupo de vertientes que afloran en el margen de la meseta (Figura 5.1).

Preferentemente en los márgenes de la planicie superior se observan taludes, escarpes y conos de detritos los cuales presentan pendientes mayores a 5° y que frecuentemente superan los 15° (Figura 5.1 a). Las altas pendientes de los taludes y la falta de litificación de los depósitos que conforman planicie superior son factores claves en la generación de fenómenos de remociones en masa que forman conos y escarpes.

En el lecho del valle se observan depósitos fluviales, los cuales forman cuatro niveles de terrazas denominados T4, T3, T2 y T1. La terraza superior T4 se encuentra a entre 15 y 30 m sobre el nivel del rio. Las terrazas fluviales T3 y T2 se encuentran cerca de 3 y 2 m respectivamente sobre el lecho del rio. (Basada en DEM SRTM) (Ver perfil AA´en Figura 5.2). Las terrazas T3 y T2 están formadas por depósitos fluviales antiguos y el nivel T1 corresponde a la actual llanura de inundación, por la cual se encauza el flujo hídrico principal del Rio Laja.

El Rio Laja se estructura en el sector de análisis con un patrón morfológico de canales múltiples. Los canales se desarrolla en la llanura de inundación y erosionan a los depósitos de los niveles de terrazas T3 y T2. La erosión de dichos depósitos forma un

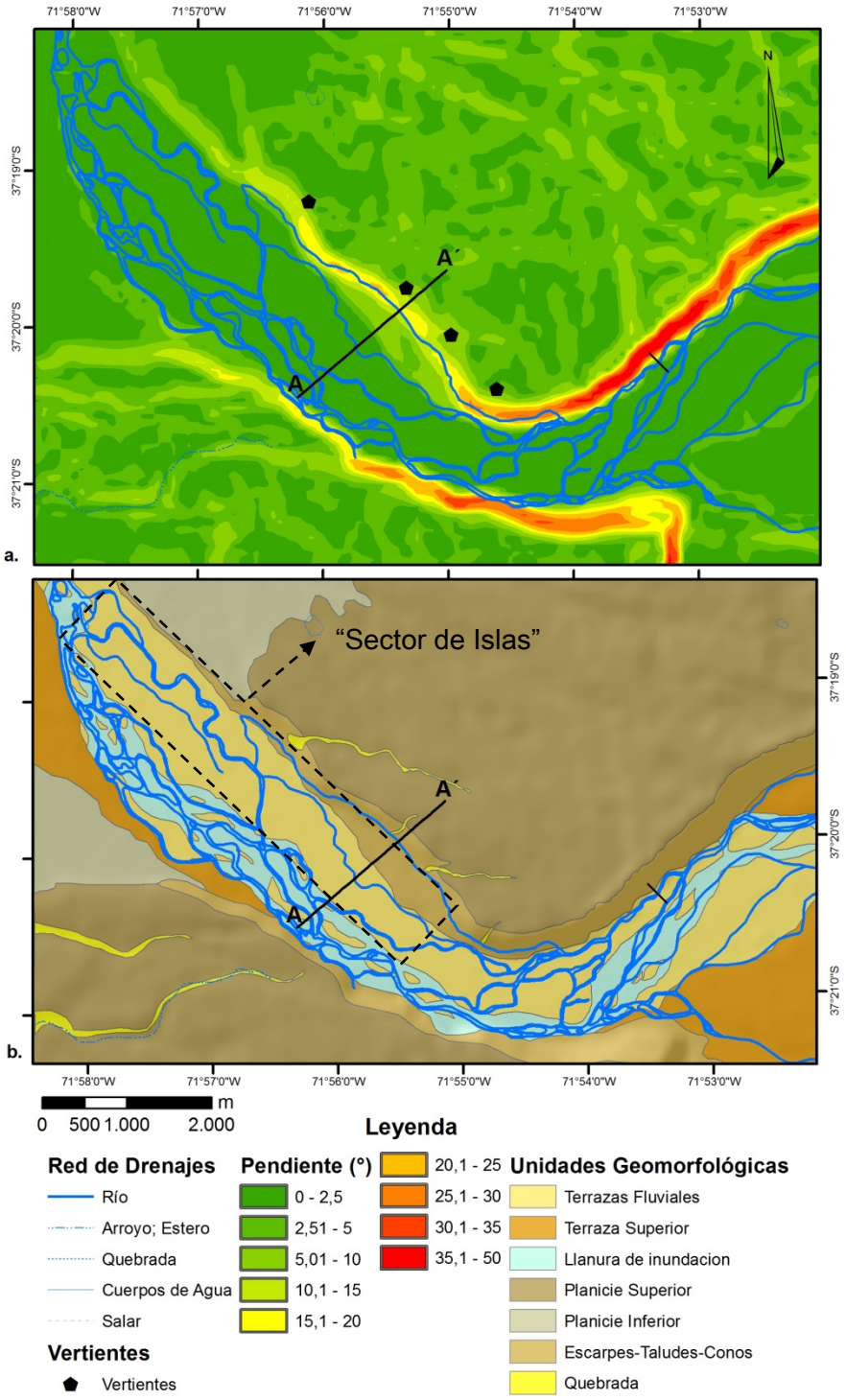

Figura 5.1. Geomorfología Rio laja aguas abajo Rio Rucue

a. Mapa pendientes; b. Mapa de unidades geomorfológicas

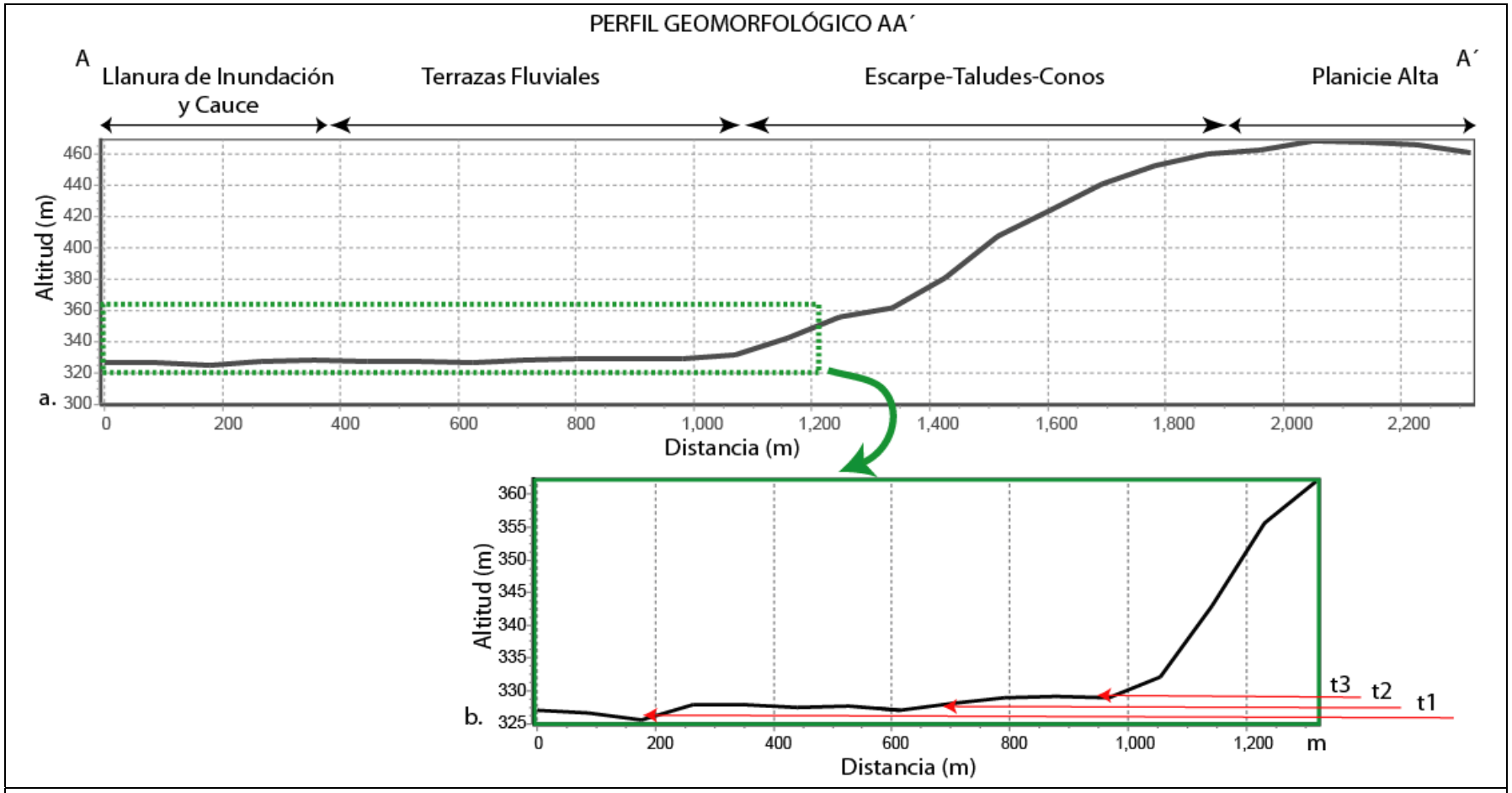

Figura 5.2. Perfil geomorfológico AA´.

grupo de islas en el sector norte del Valle del Laja (“Sector de Islas” en Figura 5.1) y en conjunto con el proceso de depositación forman bancos de arena al interior de la llanura de inundación.

El Rio Laja se estructura en el sector de análisis con un patrón morfológico de canales múltiples. Los canales se desarrolla en la llanura de inundación y erosionan a los depósitos de los niveles de terrazas T3 y T2. La erosión de dichos depósitos forma un grupo de islas en el sector norte del Valle del Laja (“Sector de Islas” en Figura 5.1) y en conjunto con el proceso de depositación forman bancos de arena al interior de la llanura de inundación.

Para el conjunto de canales activos se midió el largo de sus meandros y también el largo del valle para el mismo tramo, determinándose que sus canales poseen un índice de sinuosidad de 1,08. Dado su índice de sinuosidad menor a 1.5, el análisis morfométrico permite clasificar el tramo del Rio Laja en estudio como un sistema multicanal de tipo Braiden (Trenzado).

5.3 DESCRIPCIÓN ESPACIO TEMPORAL

La Figura 5.3, Figura 5.4 y Figura 5.5, muestra las imágenes en base a las cuales se realizaron las descripciones presentadas a continuación:

- **Año 1986** El año 1986, en la imagen Landsat TM aún no se observa la central de paso Rucúe y en dicho sector el cauce fluía preferentemente por el margen norte de la planicie de inundación. Desde el sector de la Central Rucúe hasta la confluencia con el Río del mismo nombre se observa que los cauces activos (con presencia de agua) se distribuyen preferentemente en el sector norte de la planicie de inundación.

  Aguas abajo de la confluencia con el Rio Rucúe, los canales activos se distribuían en ambos márgenes. En el margen norte en el sector de las Terrazas Fluviales, se observa un grupo de canales activos bien diferenciados, conformando islas de depósitos fluviales más antiguos limitados hacia el sur por el sistema de cauces trenzados desarrollado en la llanura de inundación.

- **Año 2007** En la imagen Landsat de enero del año 2007 se observa la presencia de la Central Rucúe y en dicho lugar el río es encausado por el margen sur de la llanura

fluvial activa. En términos generales el conjunto de canales activos se distribuyen más al sur respecto de la posición observada en las imágenes de los años 1986 y 1998. Aguas abajo de la confluencia con el Rio Rucúe se observan los canales del sector de Terrazas (que el año 1986 y 1998 formaban un grupo de islas) con presencia de agua discontinua y su alimentación (entrada) desconectada del cauce principal del Rio Laja.

- **Año 2010** En la imagen Landsat ETM del año 2010 se observa la descarga de la central de paso Quilleco. Los canales del sector de Terrazas se observan con escasa presencia de agua que se presenta floreciendo en forma discontinua. Es notoria la disminución del agua en este sector respecto a las imágenes de los años anteriores, particularmente respecto a las imágenes de los años 1986 y 1998 un grupo de islas se formaban producto de la presencia de canales activos alimentados por el cauce principal del Rio Laja.

La comparación de las imágenes contenidas en la Figura 5.4 muestra que el cauce del río Laja mantiene su posición y muestra una disminución evidente del número de canales activos con respecto a la imagen del año 2007. Se observa que entre las imágenes analizadas desaparecen todos los cauces activos en el sector del Valle del Laja.

5.4 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El Rio Laja presenta canales múltiples trenzados, los cuales se desarrollan en la llanura de inundación y erosionan a los depósitos de los niveles de terrazas T3 y T2 (Figura 5.2). La erosión de dichos depósitos forma un grupo de islas en el sector norte del Valle del Laja, lugar donde se emplazan parte de los predios rurales. En términos generales, en las imágenes Landsat ETM de enero de los años 2010 y 2007, el conjunto de canales activos se distribuyen más al sur respecto de la posición observada en las imágenes de los años 1986 y 1998, pero no se observa una migración del cauce entre los años 2007 y 2010. Sumado a ello, en las imágenes de los años 2010 y 2007 se observa menos canales activos en el sector de Islas respecto a las imágenes de los años 1986 y 1998.

El análisis de la variación de canales entre los años 2007 y 2010, muestra que no se producen nuevas migraciones en la posición del cauce y que los canales activos disminuyen en cantidad con respecto al año 2007.

Se estableció que los eventos principales que podrían haber influido en la disminución de canales activos en el margen norte del cauce del río Laja fueron el desvío del estero Manco por el Canal Zañartu, para lo cual no se conoce fecha exacta, pero por medio de imágenes satelitales se determinó que fue anterior a 15 años y la concentración de las descargas en la ribera sur del río asociada a la entrada en operación la Central Hidroeléctrica Rucúe.

En base a estos antecedentes, se concluye que la puesta en marcha de la Central Quilleco no modificó la morfología del cauce en forma detectable, pero puede haber afectado el número de canales activos por disminución de caudal.

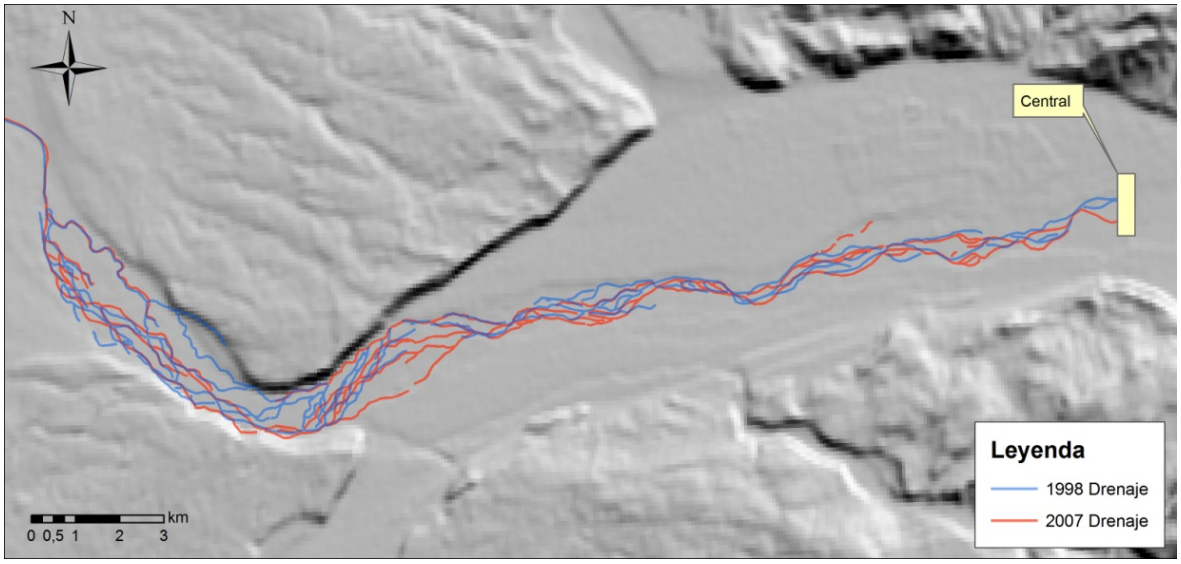

Figura 5.3.Trazado de canales con presencia visible de agua para las imágenes de los años 1998 y 2007

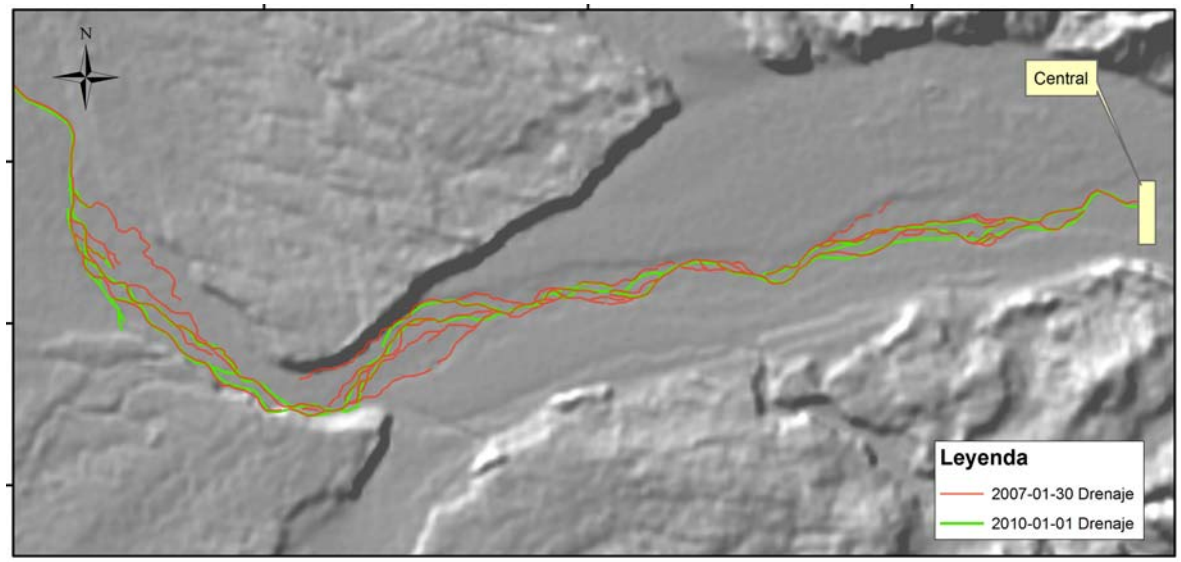

Figura 5.4.Trazado de canales con presencia visible de agua para las imágenes de los años 2007 y 2010

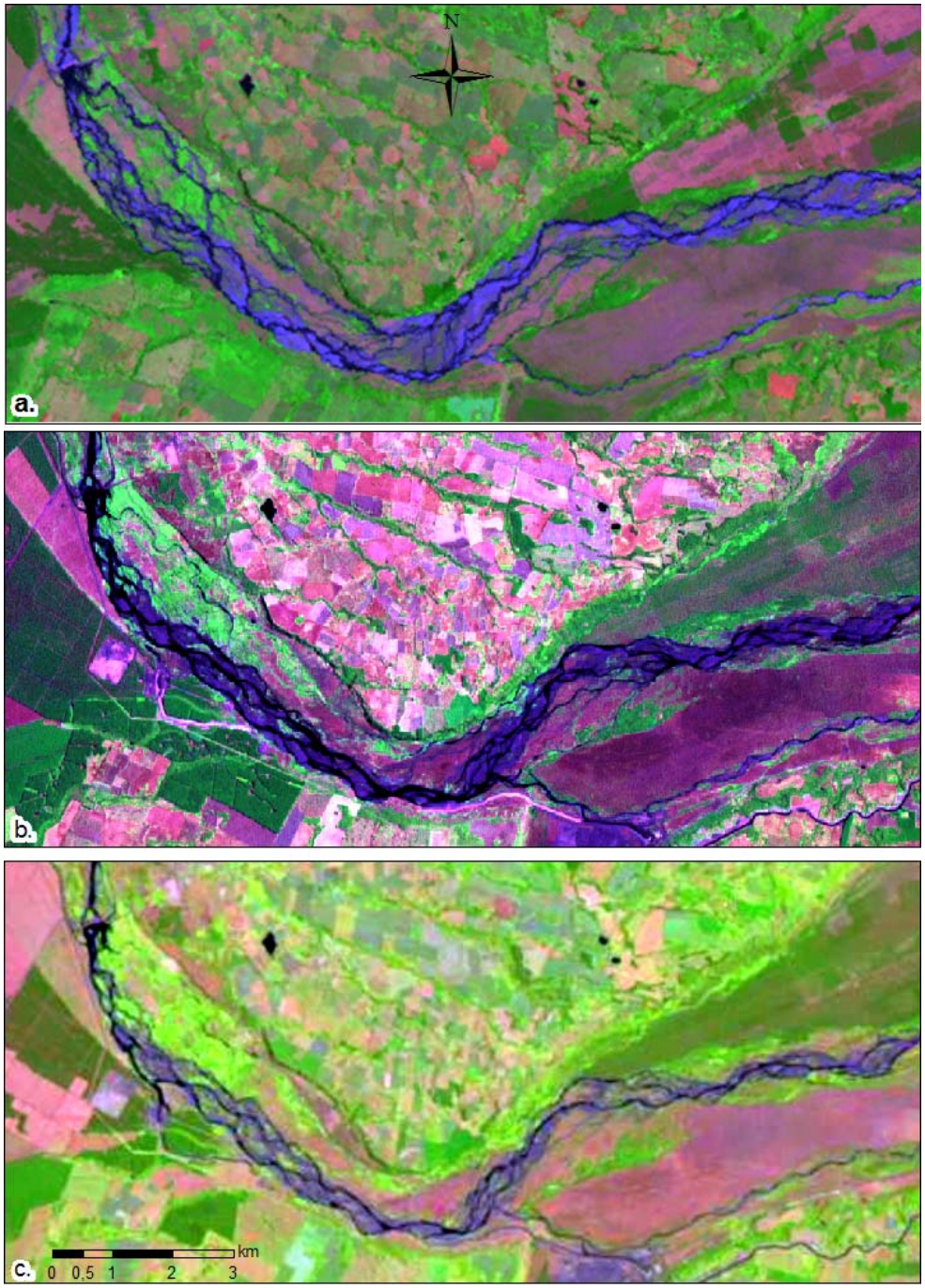

Figura 5.5. Imágenes Satelitales

a) Landsat TM 30 de diciembre 1986;b) Landsat ETM 30 de enero 2007;

c) Landsat ETM 1 de enero 2010.

6 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Se presentan las distintas etapas realizadas en la definición del modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca, el que se desarrolló utilizando información recolectada en estudios anteriores y visitas técnicas a terreno.

Con este objetivo se recopiló y revisó antecedentes geológicos e hidrogeológicos en la zona de estudio, complementando el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del sistema. Los documentos abarcan informes técnicos y artículos en revistas especializadas. Los estudios que entregan antecedentes para el desarrollo del proyecto son sintetizados en el capítulo de revisión de antecedentes y se detallan a continuación:

- Evolución Geológica-Geomorfológica cuaternaria del tramo superior del Valle del Río Laja; Ricardo Thiele, Hugo Moreno, Sara Elgueta, Alfredo Lahsen, Sofía Rebolledo y María Eugenia Petit-Breuilh; Revista Geológica de Chile (1998)
- Hidrogeología Río Laja Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)
- Las Cuencas Cenozoicas y su control en el volcanismo de los Complejos Nevados de Chillan y Copahue-Callaqui (Andes del Sur,36-39°S); realizado por Juan Pablo Radic para Andean Geology en 2010.
- Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile; Ljubow González y Abraham González; Revista Geológica de Chile (2003)

6.1 GEOLOGÍA

Con el objeto de comprender el desarrollo que han tenido los procesos geológicos, su implicancia en las características del reservorio, asociar estructuras con características hidráulicas y definir la sucesión e historia de secuencias, se realizó una descripción geológica sobre la base de antecedentes bibliográficos, levantamiento en terreno y análisis de imágenes satelitales.

En términos generales puede mencionarse que el área de estudio está localizada en los Andes del Sur, entre los paralelos 37° y 37°30' S, siendo parte de la zona volcánica central del sur de Chile, en la región central de las cuencas y del llano

fluvio-glacial-volcánico. El sector involucrado, se ubica, específicamente, entre el río Huépil, en las nacientes del Itata, y el río Rucúe, en las vecindades de su confluencia con el Laja.

6.1.1 Geología de Superficie

En función del análisis de imágenes satelitales y del levantamiento en terreno, se ha extendido el mapa geológico publicado de la zona, siendo presentadas las principales unidades que afloran en superficie en el mapa de la Figura 6.2. En los acápite siguientes se describen someramente las principales unidades de la geología superficial de la zona de estudio y se incluye en los anexos una descripción de mayor detalle.

- **Roca Fundamental (*RF*, Thiele, 1998)** En esta unidad se agrupan rocas de origen volcano-clástica y plutones graníticos (Figura 6.1), formados antes de la última glaciación. Corresponden, a escala regional, a depósitos de la Formación Cura-Mallín y del Intrusivo de la Cordillera Andina.

Figura 6.1. Fotografía de afloramiento de toba cristalina en sector próximo a río Rucué.

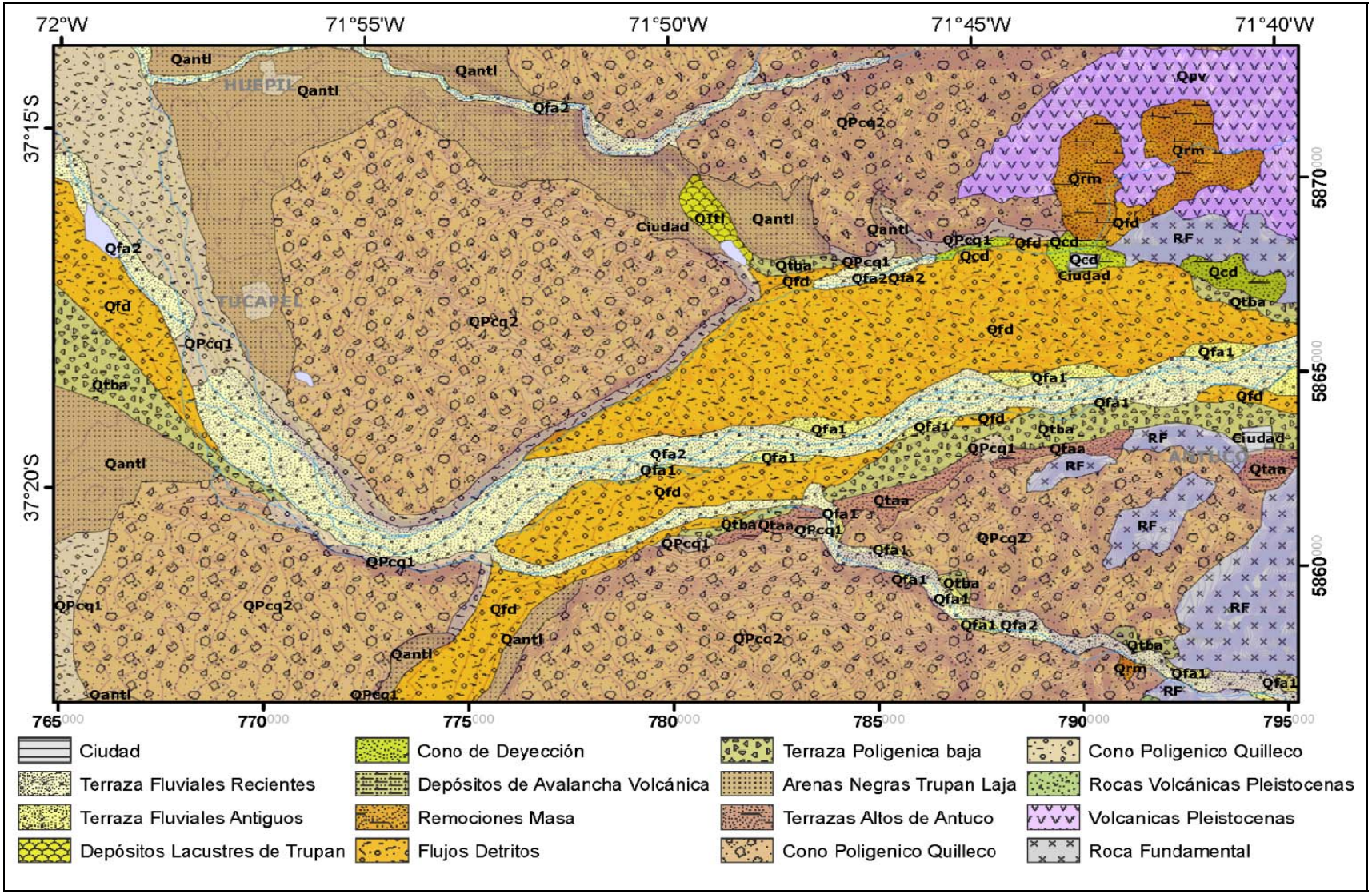

Figura 6.2 Mapa Geológico del área de estudio.

- **Rocas Volcánicas Pleistocenas (*Qpv* ; Thiele, 1998)** Esta unidad está constituida en el área de estudio por una secuencia de lavas e ignimbritas escoráceas (Figura 6.3). Estas rocas se disponen estratificadas con un manteo de hasta 15º y están constituidos principalmente por un sedimento de grano fino con cantidades variables de fragmentos de tamaño grava y bloques cuyo origen es esencialmente volcánico.
- **Cono Poligénico de Quilleco (*QPcq* ; Thiele, 1998)** Corresponde a un extenso abanico que se extiende hacia el Oeste en la Depresión Centra. Para esta unidad se ha estimado una edad de Pleistoceno medio. Está integrado por dos subunidades: una inferior, predominantemente volcanoclástica *(QPcq1)* bien consolidada y una superior mal consolidadas, compuesta de depósitos fluviales e intercalaciones volcanoclásticas distales *(QPcq2)* (Figura 6.4).

Figura 6.3. Afloramiento de aglomerado de origen lahárico en sector de Valle del Laja
Derecha: Contacto entre arenisca y conglomerado (Depósitos fluviales).
Sector NW de ciudad de Trupán

- **Terrazas Poligénicas de Altos de Antuco (*Qtaa*, Thiele, 1998)** Corresponden a depósitos polimícticos de gravas y gravas arenosas, gruesas fluviales con intercalaciones de arenas moderadamente consolidadas, contienen también, niveles con materiales volcanoclásticos, tipo lahar. Configuran el nivel de terrazas más antiguo del valle del Laja, se disponen a 80 m sobre el lecho del cauce actual (Figura 6.4).

Figura 6.4. Fotografía del afloramiento de las Terrazas poligénicas de Altos de Antuco, Derecha: Fotografía de los depósitos de Arenas Negras de Trupán-Laja ubicados al Este de Polcura

- **Depósitos de avalancha volcánica de Antuco (*Qava*, Thiele, 1998)** Corresponde a un material de relleno del valle del río Laja, compuesto de un sedimento multicolor (con tonalidades rojizas, blanco amarillentas, grises y verdosas) que contiene bloques y clastos angulosos y fragmentos menores de roca triturada insertos en una matriz de molienda. Su origen se asocia a la violenta erupción freato-magmática del Antuco 1. Esta avalancha provocó a su vez un represamiento natural del Lago Laja, cuyo nivel subió aproximadamente unos 100 m sobre el nivel actual.
- **Depósitos de Arenas Negras de Trupán-Laja (*Qantl*, Thiele, 1998)** Horizonte de arenas basálticas y gravas muy finas angulosas moderadamente consolidadas, de color gris oscuro, intercaladas con niveles de gravas aluvionales que alcanzan hasta 40 m de espesor.
- **Terrazas poligénicas bajas de Antuco (*Qtba*, Thiele, 1998)** Depósitos aterrazados de gravas, gravas arenosas y arenas con bolones fluviales e intercalaciones de materiales aparentemente volcánicos (tipo lahar) sobre los cuales se asienta la ciudad de Antuco. Limos y/o arcillas están presentes en poca cantidad, lo que indica, en general la predominancia de un sistema fluvial de alto régimen de flujo.

- **Depósitos de flujo de detritos del valle del Laja (*Qfd*, Thiele, 1998)** En el valle del Laja se han identificado tres depósitos de gravas arenosas finas a gruesas, de muy mala selección que rellenan el piso del valle, como también recubren localmente algunas terrazas laterales más altas, inclusive las terrazas de las arenas negras de Trupán-Laja. Sus características revelan que se trata de depósitos de flujos de detritos con una alta energía de transporte. Según descripciones de otros autores corresponderían a deposiciones clasificadas como aluvionales y se trataría de varios episodios sucesivos.
- **Depósitos fluviales antiguos (*Qfa1*, Thiele, 1998) y recientes (*Qfa2*, Thiele, 1998): ríos Laja, Rucué y Huépil** En general, los depósitos actuales de estos ríos están compuestos de gravas y gravas arenosas gruesas y excepcionalmente de sedimentos más finos tipo arena, limo y/o arcilla (Figura 6.5). El sistema depositacional del Laja corresponde a un sistema de ríos trenzados con alto régimen de flujo. En cambio en los ríos Rucúe y Huépil, el sistema deposicional tiene un flujo de baja energía y presentan un sistema de canal poco profundo, excavado en depósitos de relleno aluvio-fluvial.

Figura 6.5. Fotografía del Río Laja a la izquierda;
se observan sus depósitos y sistema deposicional actual,
Derecha: Fotografía del Río Huépil; se observan sus depósitos y sistema deposicional actual

6.1.2 Geología de Subsuperficie

Los depósitos documentados que rellenan los valles no presentan una distribución homogénea, agrupándose en sectores localizados. La información es escasa, sólo existen dos puntos y en valles distintos. Resulta difícil establecer distribuciones espaciales en detalle o relaciones de contacto en este.

Las columnas estratigráficas del área del valle del río Huépil, ubicadas prácticamente en su lecho, no alcanzan el basamento a pesar de que el pozo A-1 superó los 90 m de profundidad. En la base de este pozo, se han reconocido sedimentos de granulometría arena con grava en ocasiones, en un estrato de unos 50 m de espesor que ha sido correlacionado con la subunidad superior del Cono poligénico de Quilleco, en función de su posición estratigráfica.

En los 30 m superficiales del registro de los pozos A-1 y A-2, en contraposición con el mapeo realizado en superficie donde aflorarían los sedimentos que conforman los depósitos fluviales recientes o, en su defecto, las Arenas Negras de Trupán-Laja, la granulometría se vuelve gradualmente más fina, predominando las arcillas.

En el valle del río Laja, aguas abajo del piedemonte, donde el valle se abre como un abanico, la estratigrafía muestra una cubierta sedimentaria que superaría los 160 m de espesor de acuerdo con el registro del pozo C-1. La base de esta columna, en sus 100 m más profundos, corresponde, esencialmente, a una sucesión de niveles clásticos de variada granulometría que se correlacionaría con la unidad superior del Cono de Quilleco. Sobre esta unidad aparece, especialmente en el pozo C-2, un estrato de arena gruesa que puede asociarse con los Depósitos de Arenas Negras de Trupán-Laja en concordancia con el levantamiento geológico en superficie. Una gruesa cubierta (35 m) de suelo arcilloso, sobreyace a estos últimos depósitos en la zona.

A modo de referencia se presenta el perfil esquemático de la zona, en la Figura 6.6, de orientación norte-sur, donde pueden apreciarse las relaciones espaciales existentes entre las diversas unidades de relleno, y una estimación de la geometría del basamento en la zona. Este perfil ha sido trazado al este de la zona de estudio, dada la disponibilidad de antecedentes del lugar.

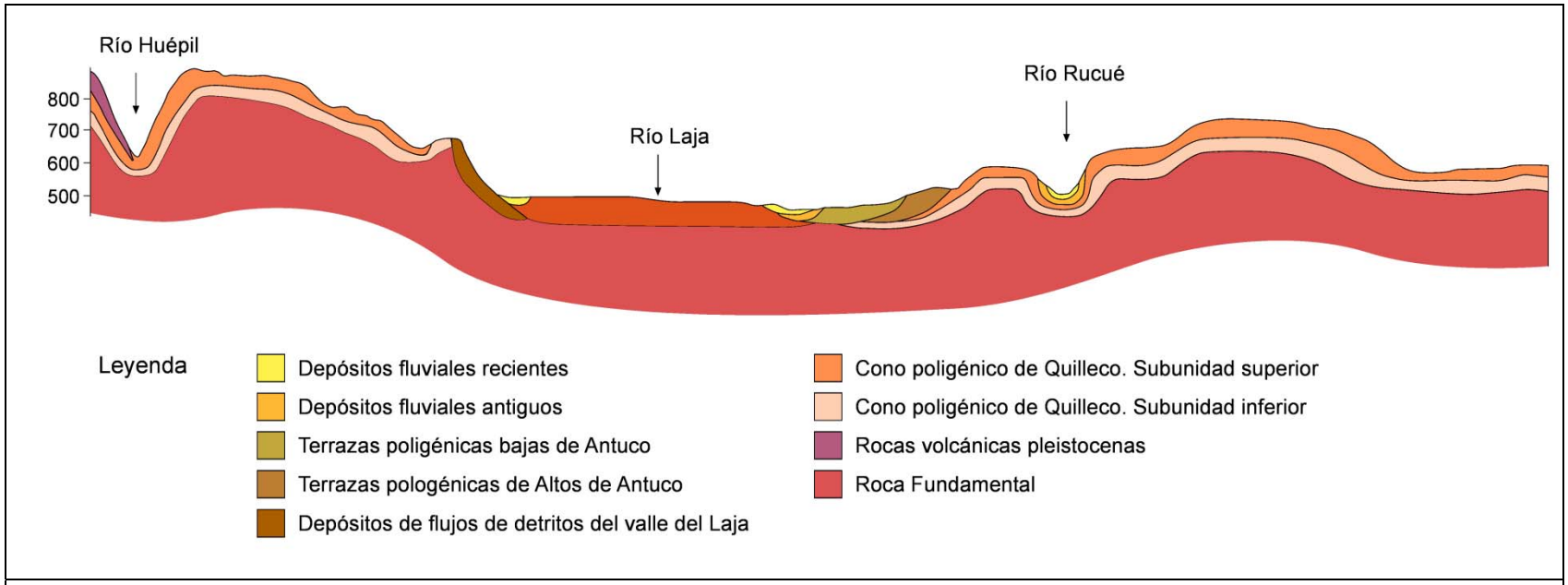

Figura 6.6. Perfil Geológico representativo de la zona de estudio

6.2 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

A continuación se describe el modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca, comprendido por una representación de los niveles freáticos, una breve descripción de las unidades hidrogeológicas y su geometría, y los mecanismos de recarga y descarga del acuífero.

En primer lugar se presenta la información hidrogeológica de interés contenida en informes anteriores, compuesta por información de niveles en pozos existentes y mediciones de caudal en vertientes. Dentro de los estudios disponibles, se encontraron solo dos estudios en los que se presenta información relacionada a la hidrogeología del sector. Estos estudios son:

1. Hidrogeología Río Laja Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)

   Este estudio posee información base de pozos y vertientes. Dentro de la información disponible se encuentran antecedentes referentes a los detalles constructivos y de producción de cuatro pozos que abastecen de agua potable las comunidades de Tucapel y Huépil, cuyas características principales se presentan en la Tabla 6.1.

   Adicionalmente, se identificaron un pozo, una puntera y cuatro vertientes, cuyas características principales se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.1. Características principales captaciones comunidades de Tucapel y Huépil

Rol BNA	POZOS			
	081 22 100-6	081 22 101-4	081 22 102-2	82 22 103-0
Nombre	A-1	A-2	C-1	C-2
Numero	DOS 230	DOS 239	DOS 297	DOS 298
Comuna	Tucapel	Tucapel	Tucapel	Tucapel
Nombre del Predio	A.P. Huépil	A.P. Huépil	A.P. Tucapel	A.P. Tucapel
Cota	291	292	328	329
Prof. Habilitación	94	89	165	160
UTM Norte	5.875.610	5.875.630	5.868.742	5.868.695
UTM Este	238.955	239.020	239.110	239.095
Caudal	34,2	28,2	12,5	14,2
Nivel Estático (m)	17,21	17,01	36,92	37,85
Nivel Dinámico (m)	32,11	32,12	-	57,7

Fuente: [Hidrogeología del Río Laja. Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)]

Tabla 6.2. Características principales pozos y afloramientos en zona de estudio

Nombre	Predio	Cota (msnm)	Hab. (m)	UTM Norte	UTM Este	Q (L/s)	NE (m)	ND (m)
Puntera	Pc. Sta. Clara	318	8	5.871.354	239.015	0,2	5,45	7,9
Pozo	Pc. Los Granados	315	50	5.871.180	238.140	1,5	6,18	-
Afloramiento 1	Camping Tucapel	275	-	5.867.830	237.020	3	-	-
Afloramiento 2	Sector Valle Laja	302	-	5.864.618	239.468	4.480	-	-
Afloramiento 3	Cerro el Monipote	318	-	5.863.330	240.673	2.400	-	-
Afloramiento 4	Sector Valle Laja	339	-	5.866.625	238.643	1,5	-	-

Fuente: [Hidrogeología del Río Laja. Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)]

2. Línea Base Socioeconómica, Socio demográfica y de Recursos Territoriales del Sector Valle del Laja (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, marzo de 2007)

Este estudio tuvo como objetivo establecer la línea base de las principales fuentes de abastecimiento de agua presentes en el área de estudio, y los sistemas de riego actualmente en uso. Durante la campaña de terreno se catastraron y midieron los pozos encontrados. En enero del año 2007 se realizó el muestreo de los dos pozos en uso a la fecha del estudio y se tomaron muestras de calidad de agua. La Tabla 6.3 presenta la ubicación y las principales características de los pozos monitoreados en el estudio.

La Tabla 6.4 presenta la ubicación y caudal de las vertientes aforadas dentro del estudio. Se hace referencia de que en los días 21 y 22 de enero se produjeron precipitaciones, lo que se puede ver reflejado en los caudales.

Tabla 6.3. Localización y descripción de pozos (EULA, marzo de 2007)

POZO	Coord.UTM Huso 18 WGS 84 (m)			Niveles Medidos 2006 - 2007 (m)		
	Norte	Este	Altitud	05-10	14-11	29-01
Delfín Decar*	5.863.347	773.050	439	8,09	8,47	10,83
Mario Iturra**	5.864.277	771.837	350	2,6	-	2,5
Edgardo Salazar	5.863.701	772.540	-	-	-	-

* Antigüedad de 30 años. Profundidad de 12 m. Nunca se ha secado. Abastece un estanque de 500 L. Nivel de agua durante el invierno aprox. 50 cm.

** Antigüedad de 15 años. Profundidad de 60 m. Nunca se ha secado.

Tabla 6.4. Localización y descripción de vertientes (EULA, marzo de 2007)

Vertiente	Coordenada UTM WGS 84 (m)		Caudal (m^3/s)	
	Norte	Este	05/10	29/01
Bajada de Piedras	5.863.303	242.044	$4,41*10^{-4}$	-
El Avellano	5.864.111	241.403	$4,98*10^{-2}$	$3,14*10^{-2}$
El Hoyón	5.864.559	240.926	$8,78*10^{-3}$	$1,13*10^{-2}$
Vaca Muerta	5.865.660	239.648	$16,40*10^{-2}$	$4,98*10^{-2}$

En relación a los trabajos realizados en terreno, a fines de mes de noviembre del año 2010, se realizó una campaña destinada al hallazgo y monitoreo de pozos y norias de aguas subterráneas existentes en la zona de estudio. La ubicación y nivel de los pozos monitoreados durante la campaña se presentan en Tabla 6.6 y Figura 6.7.

Una comparación de la línea de información hidrogeológica base y de los resultados de la campaña de terreno muestran que sólo los pozos numero 11 y 12, de Mario Iturra y Delfín Decar respectivamente, fueron catastrados y medidos anteriormente el año 2006 por el estudio de EULA, 2007. No se encontró información adicional, en base a la cual sea posible establecer la variación temporal de los niveles piezométricos.

La Tabla 6.5 presenta una comparación de los niveles de los pozos de Delfín Decar y Mario Iturra, entre los años 2006 y 2010. En ella se observa que los valores en los niveles piezométricos no muestran variaciones extremas, siendo estas del orden de 50 cm. El pozo de Delfín Decar muestra un descenso de la napa de aproximadamente 2 m con respecto al mismo mes del año 2006 y un aumento de 50 cm con respecto a enero del 2007. Por otro lado, el pozo de Mario Iturra presenta niveles que varían muy poco el año 2006 y que disminuyeron en 40 cm con respecto al mismo mes del año 2007.

Tabla 6.5. Comparación niveles en pozos zona Valle del Laja

POZO	Año 2006 - 2007			Noviembre
	05-oct	14-nov	29-ene	2010
Delfín Decar*	8,09	8,47	10,83	10,3
Mario Iturra**	2,6	-	2,5	3,0

La Figura 6.8 presenta la distribución de las isopiezas, las cuales representan el nivel piezométrico del acuífero en el mes de noviembre del año 2010. Para el trazado de la isopiezas se utilizó la base de datos recolectada en la campaña de monitoreo antes mencionada y la topografía de la zona dada por las curvas de nivel cada 25 m del Instituto Geográfico Militar (IGM).

Las Isopiezas se han derivado de la interpolación y extrapolación manual, manteniendo la restricción impuestas por las condiciones de borde de los ríos Laja y Huépil, y la laguna Trupán y canal Zañartu. Las isopiezas muestran un sentido de flujo del agua subterránea desde los sectores más altos, hacia los ríos y la Laguna de Trupán, descargando en forma de vertientes en los bordes que presentan diferencias de nivel abruptas con respecto a lecho de los cauces.

La Figura 6.9 presenta un perfil esquemático de la zona de interés (en planta en la Figura 6.10). Dicha zona es posible diferenciarla en dos acuíferos:

Acuífero Cono de Quilleco: El nivel freático en el sector del Cono de Quilleco o meseta, se encuentra más de 100 m elevado respecto del nivel observado en el sector del Rio Laja y que en los márgenes de la meseta el nivel freático se curva en forma asintótica al margen de la meseta. Consecuentemente, las isopiezas sobre la meseta presentan una geometría de domo. Hipotéticamente dicha geometría se puede explicar dado que la subunidad inferior del Cono Poligénico de Quilleco tiene un bajo potencial hidrogeológico y actuaria como un nivel de menor conductividad hidráulica (semi -impermeable) que la subunidad superior. De este modo las aguas subterráneas almacenadas en la subunidad del Cono Poligénico de Quilleco forman vertientes que afloran perimetralmente en las laderas más escarpadas y posiblemente generan aportes en las quebradas existentes en la meseta.

Tabla 6.6. Información pozos monitoreados durante la campaña noviembre 2010

Numero	UTM Este	UTM Norte	Cota (msnm)	Cota NE (msnm)	Tipo	Prof.(m)	Diámetro (cm)	NE (m)	Q (L/s)	Uso	Dueño
1	258.618	5.869.618	513	510	Noria	8,0	150,0	2,6		Sin uso	Horacio Cofrú
2	241.400	5.874.420	316	307	Noria	9,8	150,0	9,3		Regadío de casa	Emiliano Salazar
3	241.369	5.874.399	316	308	Noria	10,0	100,0	8,0		Regadío y consumo de casa	Emiliano Salazar
4	248.439	5.870.537	518	505	Noria	18,0	100,0	13,3		Regadío de casa	Héctor Jara
5	248.464	5.870.493	522	516	Noria	0,0	150,0	6,0		Sin uso	Patricio Castro
6	249.607	5.870.433	465	462	Perforación	13,0	15,2	2,6		Sin uso	Comunidad
7	246.684	5.868.547	560	554	Perforación manual	12,0	15,2	6,1		Sin uso	Santiago Duran
8	246.633	5.868.601	557	554	Noria	9,0	100,0	3,1		Regadío de casa	Santiago Duran
9	239.698	5.867.949	357	348	Noria	11,0	100,0	9,2	0,6	Abastecimiento granja	Benicio Araya
10	252.234	5.863.479	442	438	Noria	4,9	65,0	3,7		Abastecimiento camping	Camping Calleuque
11	240.218	5.864.649	338	335	Perforación	60,0	9,0	3,0		Abastecimiento granja	Mario Iturra
12	241.489	5.863.773	430	420	Noria	13,0	100,0	10,3		Abastecimiento granja	Delfín Decar
13	240.955	5.864.133	361	359	Con retroexcavadora	7,0	10,1	2,1		Sin uso	Edgardo Salazar
14	241.313	5.864.725	450	428	Perforación	27,0	15,2	21,7		Sin uso	-
15	237.936	5.870.997	314	307	Perforación manual	11,0	10,2	6,7		Sin uso	Guillermo Ortega
16	237.947	5.870.983	315	308	Perforación manual	12,0	10,2	6,6		Regadío casa	Guillermo Ortega
17	238.371	5.873.202	305	300	Perforación manual	7,0	10,2	4,9		Regadío casa	Ramón Quezada
18	238.545	5.873.335	305	302	Noria	3,0	150,0	3,0		N.E en fondo de pozo, debido a derrumbe	Miguel Lizama
19	238.807	5.873.812	307	302	Perforación	15,0	10,2	5,2		Sin uso	José Osvaldo Pérez
20	238.742	5.873.581	305	304	Noria	28,0	10,2	1,3		Regadío casa	Juan Islas
21	258.308	5.869.695	507	504	Perforación	0,0	20,3	2,8		Abastecimiento Polcura	Cooperativa de abastecimiento potable

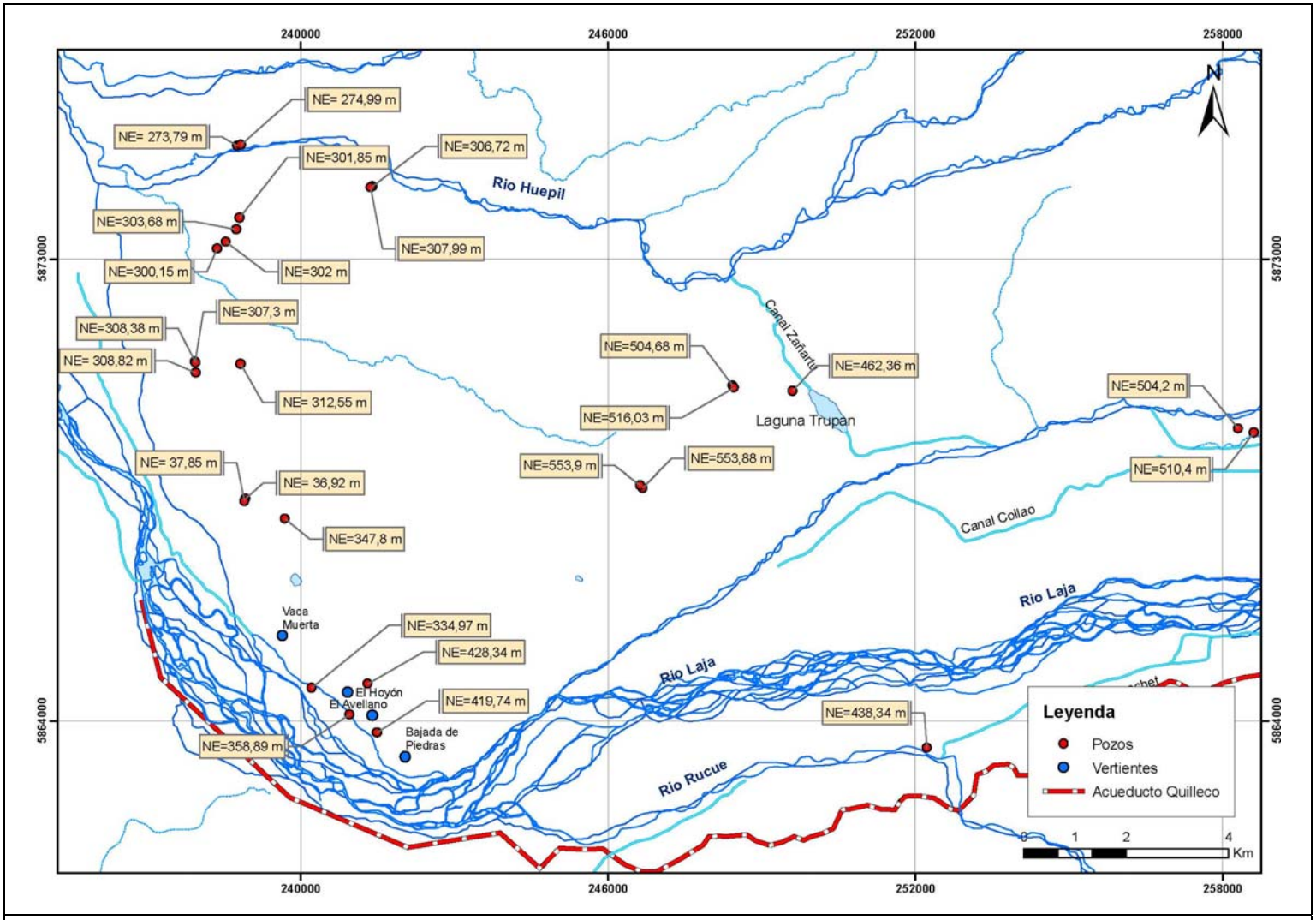

Figura 6.7. Ubicación de los pozos con niveles medidos en la campaña de terreno

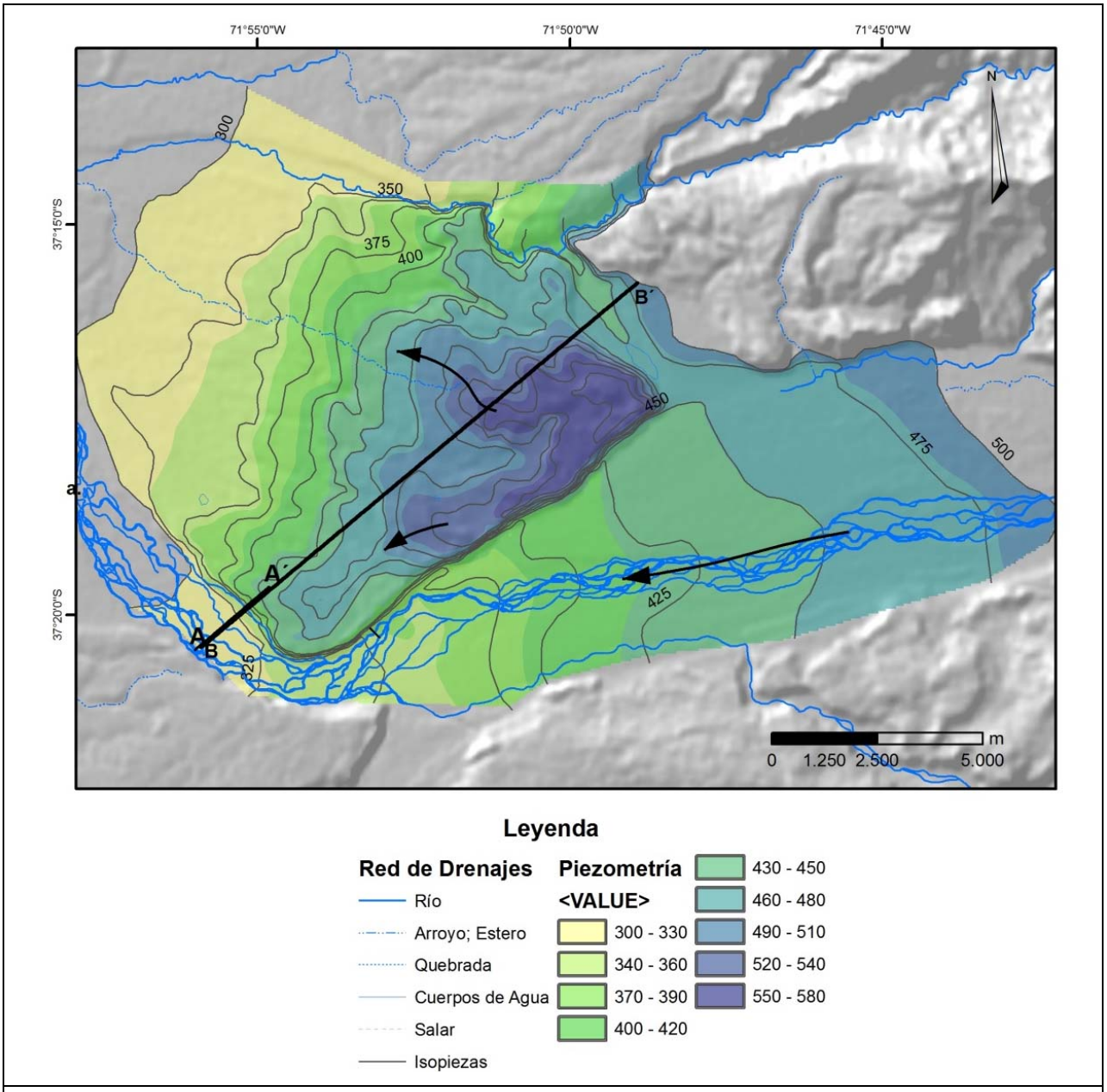

Figura 6.8. Mapa de Isopiezas

En la planicie superior de la meseta se establece una zona de recarga, producto de la precipitación de un promedio de los 1.700 mm/año en la Estación Meteorológica Trupan, donde se infiltra y fluye el agua subterránea en forma perimetral hacia los contornos de la zona de estudio. La descarga se lleva a cabo por dos mecanismos, una en forma de vertientes que emergen desde las laderas abruptas y en forma de aportes directos a los ríos Laja y Huépil en las zona de laderas donde se ubican los centros poblados.

Las vertientes que afloran en la ladera oeste de la meseta, donde se ubican los predios de los vecinos del Valle del Laja, se forman producto de la descarga que se produce a partir de las aguas subterráneas provenientes de la subunidad superior del Cono Poligénico de Quilleco. La Tabla 6.4 presenta la ubicación y caudal de las vertientes aforadas dentro del estudio realizado por EULA, en marzo del 2007. Se hace referencia de que en los días 21 y 22 de enero se produjeron precipitaciones, lo que se puede ver reflejado en los caudales.

Rio Laja: las aguas subterráneas del río Laja se almacenan en los depósitos fluvio-aluviales del valle del Rio Laja y su nivel freático se encuentra cercano a la cota actual del rio, encontrándose en equilibrio. El acuífero del sector del rio analizado, recibe aportes desde el acuífero existente en la meseta, de un grupo de tributarios (Rio Rucúe, Estero Polcura, entre otros), escorrentía y aportes de cuencas intermedias y precipitaciones directas. La zona de estudio se diferenció en 4 unidades hidrogeológicas principales, vinculadas a las unidades geológicas previamente descritas.

- **Unidad Intergranulares de Potencial Hidrogeológico Alto** Esta unidad está constituida por el conjunto de depósitos fluvio-aluviales que rellenan el valle del Rio Laja. Ellos generalmente corresponden a sedimentos de granulometría gruesa que muy probablemente presentan una buena porosidad, conductividad hidráulica y pueden almacenar recursos hídricos. Dada sus características estas unidades geológicas se presume cuentan con un alto potencial hidrogeológico.
- **Unidad Intergranulares de Potencial Hidrogeológico Medio a Alto** Esta unidad está compuesta por la subunidad geológica superior del Cono Poligénico de Quilleco, constituida por depósitos sedimentarios fluvio-aluviales de granulometría relativamente gruesa (conglomerados y areniscas), con mayor porosidad, conductividad y capacidad

de almacenamiento. Los conos y taludes del margen de la meseta que corresponden a remociones en masa del del Cono Poligénico de Quilleco, están compuesto por depósitos, mal consolidados y con mala selección que pueden presentar un potencial hidrogeológico medio.

- **Unidad con Potencial Hidrogeológico Medio a Bajo** La subunidad geológica inferior del Cono Poligénico de Quilleco, está compuesta por un conjunto de ignimbritas escoráceas bien consolidadas, cuya porosidad, conductividad y almacenamiento muy probablemente son bajos a medios, por ende esta unidad presenta un potencial hidrogeológico bajo;
- **Unidad con Potencial Hidrogeológico Bajo** Estas rocas de origen volcano-clástica y plutones graníticos, corresponden rocas de la Formación Cura-Mallín y del Intrusivo de la Cordillera Andina, los cuales representan el basamento impermeable.

Tal como se ha presentado en el estudio geológico, los rellenos volcánicos y sedimentarios que forman la cuenca se distribuyen con anisotropía formando dominios o sectores de distintas características geológicas e hidrogeológicas cuya caracterización escapa al alcance de este trabajo.

6.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En la zona de estudio se reconoció un sistema acuíferos asociado al Cono de Quilleco, sobre la meseta, y otro sistema asociado a la parte baja de río Laja denominada Valle del Laja.

El acuífero del Cono de Quilleco recibe aportes de precipitaciones, las cuales son almacenadas en los depósitos de la subunidad superior del Cono de Quilleco. Este acuífero presenta un nivel freático más de 100 m elevado respecto del nivel observado en el Rio Laja. La descarga del acuífero se lleva a cabo por dos mecanismos, una en forma de vertientes que emergen desde las laderas abruptas en los valles de los ríos Laja y canal Zañartu, y en forma de aportes directos a los ríos Laja y Huépil en las zona de laderas donde se ubican los centros poblados.

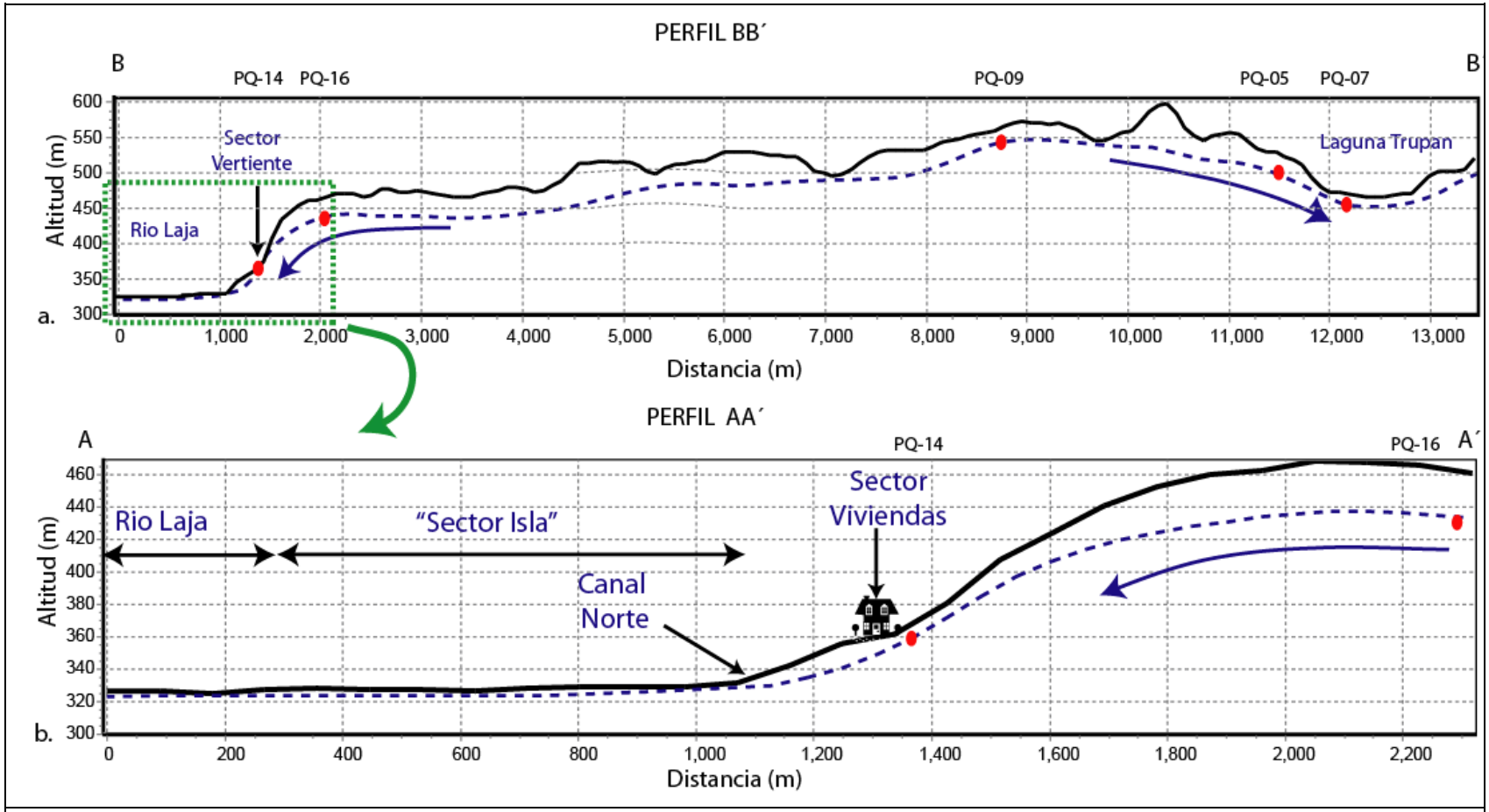

Figura 6.9. Perfil esquemático representando la configuración del acuíferos (A-A')

Las aguas subterráneas en la zona del río Laja se almacena en depósitos fluvio-aluviales con un alto potencial hidrogeológico y su nivel freático esta dado por la cota actual del rio. El río recibe aportes desde el acuífero existente en la meseta y posiblemente del acuífero del río Laja.

La Figura 6.10 presenta un perfil esquemático de la relación entre el río laja y el acuífero presente en la zona de meseta. Las unidades que existentes en el Acuífero Cono de Quilleco posee un potencial hidrogeológico medio a alto. Este sistema entrega aportes al río Laja y a su vez forma un conjunto de vertientes en el margen de la meseta. Por ello se descarta la posibilidad de que las vertientes ubicadas en la ribera norte del río Laja, aguas abajo de la junta con el río Rucúe, sean alimentadas de alguna manera por aportes desde el río Laja.

No es posible establecer con certeza la variación temporal de los niveles piezométricos. Para estos efectos sólo se cuenta con dos pozos en el Valle del Laja en donde es posible establecer una comparación de niveles correspondientes a los pozos de Mario Iturra y Delfín Decar. Estos pozos fueron medidos el año 2006 por el estudio EULA, 2007 y por el presente estudio. Se determinó que las variaciones registradas no son concluyentes para determinar una disminución significativa de los niveles piezométricos, y que estas variaciones se consideran parte de las fluctuaciones normales del acuífero.

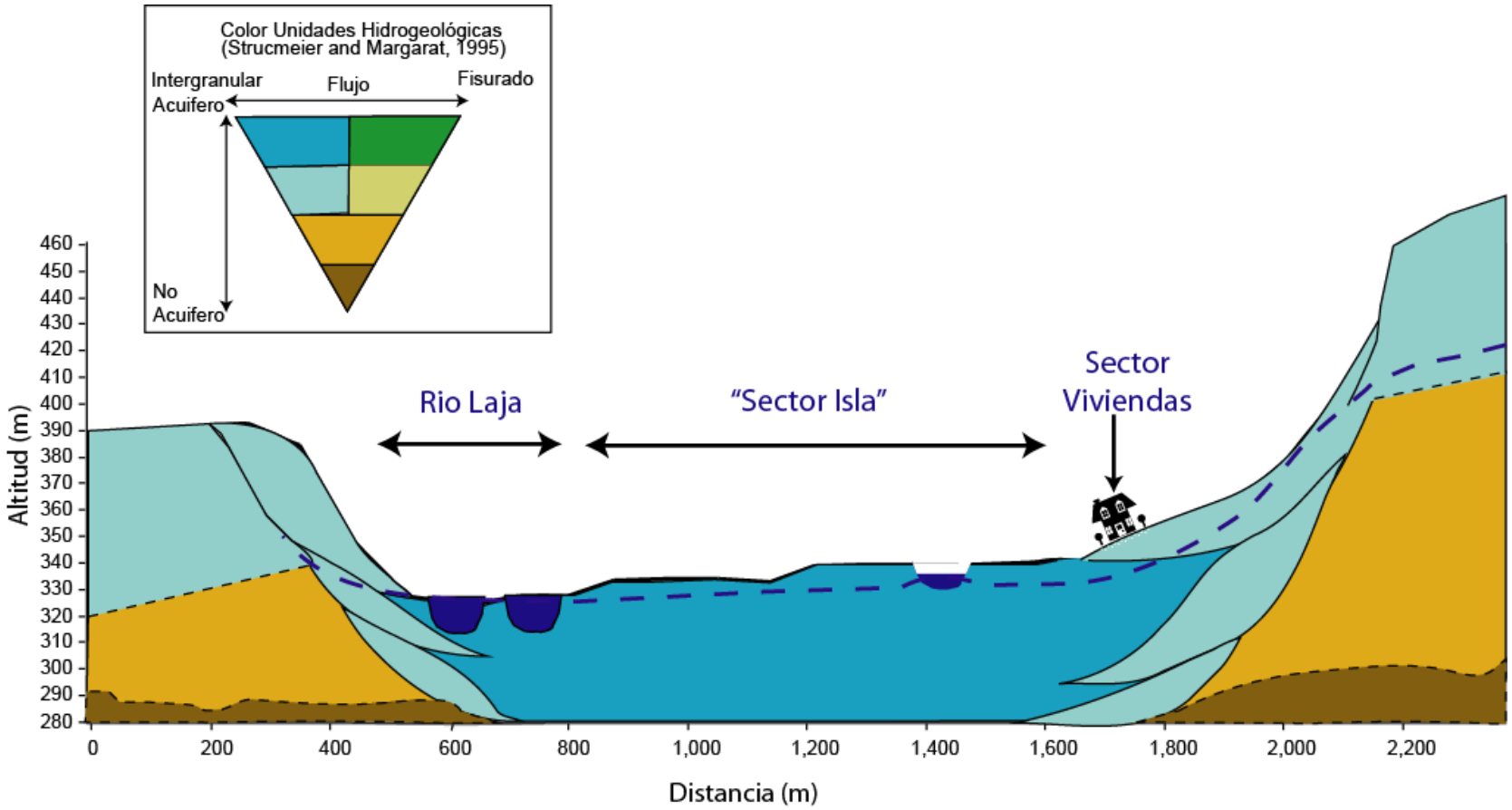

Figura 6.10. Perfil esquemático de unidades hidrogeológicas y nivel freático.

7 REFERENCIAS

- Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987)
- Proyecto hidroeléctrico Rucúe (Colbún Machicura, 1996)
- Evolución Geológica-Geomorfológica cuaternaria del tramo superior del Valle del Río Laja; Ricardo Thiele, Hugo Moreno, Sara Elgueta, Alfredo Lahsen, Sofía Rebolledo y María Eugenia Petit-Breuilh; Revista Geológica de Chile (1998)
- Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Quilleco (Colbún S.A., septiembre 1998)
- Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Quilleco. Addendum (Electrowatt Engineering, marzo 1999)
- Determinación de Caudal Mínimo Ecológico-Dic 99 (Colbún SA, octubre de 2000)
- Hidrogeología Río Laja Sector Central Quilleco (Ingendesa, 2000)
- Estudio de Disponibilidad Cuenca del Río Laja (Dirección General de Agua, enero 2000)
- Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile; Ljubow González y Abraham González; Revista Geológica de Chile (2003)
- Quilleco Hydroelectric Power Plant Project (Fadda & Hevia, noviembre de 2004)
- Quilleco Hydroelectric Power Plant Project. Version 2 (Fadda & Hevia, noviembre de 2005)
- Project appraisal document on a proposed purchase of certified carbon emissions reductions by the Netherlands clean development mechanism facility in the amount of a minimum of U$ 2.4 million from Hidroelectrica Guardia Vieja S.A. for the Quilleco Hydropower Project (The World Bank, mayo de 2006)
- Trabajos comprometidos con CONAMA, en parcelas Sector Canteras (Colbún S.A., julio de 2006)

- Línea Base Socioeconómica, Socio demográfica y de Recursos Territoriales del Sector Valle del Laja (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, marzo de 2007)
- Plan de Inspección Ambiental Etapa de Construcción Central Hidráulica Quilleco (Centro de Ciencias Ambientales- EULA, julio de 2007)
- Monitoreo y Seguimiento de las Variables Ambientales-Central Hidroeléctrica Quilleco (CEA, 2009)
- Las Cuencas Cenozoicas y su control en el volcanismo de los Complejos Nevados de Chillan y Copahue-Callaqui (Andes del Sur,36-39°S); realizado por Juan Pablo Radic para Andean Geology en 2010.
- Servicio de Aforos en Ríos Laja y Rucúe. Informe de Resultados de Mediciones y Datos de Terreno (Azimut Ingeniería Limitada, 2010)

8 ANEXOS

Se adjuntan en formato digital, los siguientes Anexos.

- Registros de precipitaciones Dirección General de Aguas
- Registros de caudales Dirección General de Aguas
- Shapefiles, base SIG:

1. Red de drenaje zona de estudio (Fuente: DGA)
2. Ubicación Centrales Rucúe y Quilleco
3. Ubicación bocatomas ríos Laja y Rucúe
4. Aducciones Rucúe y Quilleco
5. Digitalización predios Valle del Laja (Fuente: EULA, 2007)
6. Ubicación estaciones pluviométricas (Fuente: DGA)
7. Ubicación estaciones fluviométricas (Fuente: DGA)
8. Pozos catastrados Noviembre 2010
9. Isopiezas aguas subterráneas
10. Vertientes y Pozos (Fuente: EULA, 2007)