

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECURSOS HÍDRICOS
ABSTRACTS**

**ANA MARIA BUSTAMANTE
INGENIERO CIVIL**

FEBRERO - 2013

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECURSOS HÍDRICOS ABSTRACTS

En este documento se presenta un resumen de algunos documentos, en el tema de Recursos Hídricos” del área de estudio, que fueron analizados y sistematizados en la Colección Digital de Humedales y que no estaban incluidos y/o analizados, en las otras colecciones de la biblioteca digital de CIREN, como por ejemplo de la DGA, CNR o la propia de Humedales realizada para la II Región de Antofagasta. Los documentos que se resumen a continuación, se pueden encontrar en el siguiente link: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/cgi-bin/library.exe?site=localhost&a=p&p=about&c=humedale&w=utf-8>

1. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen I, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen I incluye las estaciones fluviométricas seleccionadas por la DGA en la I región. El análisis estadístico es de 30 años entre los años hidrológicos 1960/1961 a 1989/1990.

2. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen II, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen II incluye las estaciones pluviométricas seleccionadas por la DGA en las II, III y IV regiones. El análisis estadístico es de 40 años entre los años hidrológicos 1950/1951 a 1989/1990.

3. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Primera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-

químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

4. Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Segunda Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

5. Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Tercera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

6. Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Volumen I, Volumen II, Volumen III y Volumen IV. Departamento de Estudios y Planificación. DGA. AC Ingenieros Consultores Ltda. 1995.

El objetivo de este estudio es mejorar la estimación de caudales extremos del país en cuencas que poseen escasa o nula información pluviométrica mediante el empleo de fórmulas o procedimientos sencillos pero confiables que puedan ser aplicadas con facilidad en el diseño de obras hidráulicas de pequeña a mediana envergadura.

7. Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. Volumen I: Regiones I, II, III y IV. DGA. IPLA Ltda., 1996.

El estudio consiste en una evaluación de las demandas actuales y futuras de los recursos hídricos en todas las cuencas del país y subcuencas principales.

8. Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta, DGA 1996. Vol. 1: Estudio y Vol.2: Cartografía.

Estudio con fines de protección y conservación de estos humedales, mediante la prohibición de explorar o explotar los recursos subterráneos que los sostienen, en consideración a que tales humedales representan por si mismos ecosistemas únicos que además sustentan especies altamente frágiles tanto en aves como en otras especies.

De acuerdo al Código de Aguas. Artículos Nros. 58 y 63. Art. N° 58, inciso 3: “No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y de los llamados bofedales, en las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta, sino con autorización fundada de la Dirección General de Aguas, la que previamente deberá identificar y delimitar dichas zonas”. Art. N° 63, inciso 2: “Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas”.

Delimitación de los acuíferos que alimentan las áreas de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, sobre la base de un fuerte trabajo de terreno a partir del cual se identifican los límites de las unidades hidrogeológicas que sustentan los humedales referidos. La delimitación se desarrolla sobre la base de la información recopilada y a partir de inspecciones oculares de terreno.

Como resultado se obtiene un conjunto de mapas donde se ubican las áreas delimitadas e información digital de utilidad para el análisis de solicitudes relativas a aguas subterráneas por parte de la DGA.

9. Resolución DGA N° 909, del 28 de Noviembre de 1996.

Identifica y delimita las zonas que corresponden a los acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales en las regiones de Tarapacá y de Antofagasta, con el propósito de resolver fundadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, como de entender dichas áreas como zonas de prohibición para mayores extracciones que las ya autorizadas o para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento respecto de ellas.

10. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas I, II y III Regiones, Chile. Síntesis. Convenio Cooperación DGA-UCN-ORSTOM. 1998.

Se estudia la química de aguas de 53 cuencas cerradas de la Cordillera. Se inventariaron todos los manantiales que se vierten en las cuencas cerradas para tener una idea preliminar de la calidad química de las aguas subterráneas en las partes más altas de la cuenca de drenaje.

11. Estimación de Requerimientos Hídricos de Humedales del Norte de Chile. DGA, 2001.

El objetivo es avanzar en la estimación de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en la zona altiplánica chilena. Bofedal de Isluga y Bofedal de Chungará.

12. Actualización y delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá. DGA, 2003.

Este estudio se refiere a una actualización de la delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la I región, en el sentido de proteger el sector del Bofedal de Caquena el cual se ubica en la zona altiplánica de dicha región, que no fue incluido en la lista de acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales en la I y II regiones, resolución DGA N° 909 del año 1996.

13. Protección de Vegas II Región, Identificación Preliminar. DGA, 2004.

Análisis preliminar, consistente básicamente en identificar las nuevas vegas propuestas por Conadi, en el sentido de verificar si éstas ya fueron en alguna forma vistas en el estudio del año 2001 o están protegidas por la Resolución DGA N° 529 del 2003, y de ubicarlas geográficamente para ver su factibilidad de acceso y tiempos necesarios para visitarlas.

14. Recursos Hídricos y Desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y Perspectivas de Nuevas Tecnologías Aplicadas al Tratamiento de Aguas Naturales y/o Residuales. Dra. Lorena Cornejo Ponce Departamento de Química - Facultad de Ciencias Convenio de Desempeño UTA – MINEDUC Universidad de Tarapacá Arica, Chilelorenacp@uta.cl. 2009.

Desarrollo de una tecnología innovadora que provea de manera eficiente agua segura y desinfectada a escala domiciliaria perfectamente operable por los miembros de la familia rural. Se demostró que es posible usar la energía solar para desinfectar y descontaminar aguas naturales y habilitarlas para el consumo humano. La irradiación ultravioleta presente en el espectro solar permite un método muy sencillo para neutralizar patógenos del agua en sistemas cerrados, tales como el uso de botellas de polietileno, dado que se ha demostrado que es capaz de destruir el ADN de los patógenos y evitar su reproducción.

15. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca Quebrada de Tarapacá. Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La quebrada de Tarapacá, ubicada en la I Región de Tarapacá, nace en la altacordillera en la confluencia de dos quebradas, y corresponde al curso de agua superficial más importante de la pampa del Tamarugal. En su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o efímeros. El más importante por la ribera derecha es la quebrada de Chusmisa, donde se encuentran los baños termales y se ha industrializado el agua de vertiente que es de consumo habitual en todo el extremo norte de Chile. Por el lado izquierdo, el afluente principal es la quebrada de Coscaya, que tiene cabeceras enraizadas en la alta cordillera y drena la pampa Lirima. Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- Quebrada de Tarapacá
- Quebrada de Coscaya

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual de la Quebrada de Tarapacá y sus tributarios:

- La calidad natural de la cuenca de las quebradas que componen la Qda. Tarapacá varía de buena a mala, observándose principalmente gran concentración de metales e iones.
- La calidad natural de los tributarios de la parte alta de la cuenca, presentan gran cantidad de metales, los que son de origen natural (litología, edafología, etc.)
- La existencia de franja metalogénicas F-6 es una gran modificadora de la calidad natural en la cuenca, en lo referente a metales.
- La edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas.
- La alta radiación solar contribuye de manera activa a los fenómenos de concentración
- El régimen de esta cuenca es discontinuo, por lo que los resultados de calidad son muy dependientes de la época en que se realicen.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

16. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Lluta. Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La cuenca hidrográfica del Río Lluta está ubicada en la I Región de Tarapacá, y se extiende entre los paralelos 18°- 18°30' latitud sur y meridianos 70°20' - 69°22' longitud oeste. Abarca una superficie de 3.378 km². Cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Parinacota y Arica, siendo el poblado más importante, la localidad de Putre. El Río Lluta tiene una longitud de 147 km, siendo sus principales tributarios el Río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma. El río presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina. La cuenca se caracteriza por la escasez de precipitaciones y, por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle donde el uso del suelo es agrícola. Los cauces seleccionados para el estudio son:

- Río Lluta
- Quebrada Colpitas
- Quebrada Caracarani

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por los siguientes características que explican la calidad actual del río Lluta y sus tributarios.

- En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala calidad, donde exceden la clase de excepción los metales como el Boro, arsénico, oxígeno disuelto, pH, cobre, aluminio, hierro, cromo, manganeso, conductividad eléctrica, sulfatos, zinc, cloruros y plomo.

La parte alta de la cuenca está influenciada fuertemente por los factores volcánicos y los salares que adicionan contenido de metales e inorgánicos. • La parte media y baja está influenciada por los efectos del suelo salino dado por la alta concentración de nitrato de sodio y otros compuestos en la cuenca.

- Como conclusión general puede afirmarse que el río Lluta y sus tributarios principales tiene una contaminación predominantemente de origen natural en que predominan altos valores de Boro, Arsénico, compuestos inorgánicos y metales debido a la presencia de salares, suelos salinos y bajas precipitaciones que no le permiten una dilución de los contaminantes aguas abajo concentrándose debido a la alta evaporación sufrida en el segmento.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

17. Actualización Recursos Hídricos para Reestablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA Septiembre 2001. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.

Ingenieros Consultores.

Recopilación de información primaria y secundaria relativos a la situación del uso del agua en las comunidades Aymaras y Atacameñas de la I y II regiones, tales como: situación de los pueblos aymaras y atacameños y su relación con el agua; antecedentes hidrológicos (pluviometría y pluviometría en los sectores de interés); aguas subterráneas (geología, geofísica, hidrogeología y catastro de captaciones de agua subterránea); antecedentes geográficos, demográficos, productivos y socioeconómicos disponibles; uso del suelo; derechos de aguas; catastro de usuarios en zonas de interés; obras de aprovechamiento de aguas y recursos hídricos; y cartografía de los distintos temas.

18. Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile, XV, I, II y III Regiones.

DGA Diciembre de 2010. GCF INGENIEROS LIMITADA.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología que permita la estimación de recargas en cuencas con influencia altiplánica de la zona norte de Chile, comprendidas entre las Regiones XV y III.

El método elaborado se basa en un balance hídrico, que considera, además de la recarga, la variable precipitación líquida y sólida, almacenamiento de nieves y derretimiento de ésta, evaporación desde cada cuenca, acumulación en acuíferos y afloramientos, y caudales superficiales. Para estos efectos se hace depender el balance hídrico de ciertos coeficientes de evaporación y de permeabilidad o recarga, característicos de cada cuenca, los cuales varían espacialmente, habiéndose calibrado éstos al aplicar la metodología a un total de 25 cuencas a lo largo de la zona de estudio.

Un objetivos secundarios de este estudio fue realizar un análisis de la información hidrometeorológica e hidrogeológica disponible para la zona de estudio, además de la sectorización espacial de ésta de acuerdo con la variación de sus características, para definir zonas homogéneas con distinto comportamiento en cuanto a recargas. En cuanto a lo primero, se trabajó con un período de 40 años entre 1970 y 2009.

Dado que entre las variables que forman parte del sistema hídrico en la zona de interés, la precipitación es de la mayor importancia para la estimación de recargas, se efectuó el análisis de esta variable aplicando métodos que se prestan para representar el comportamiento de variables en que la componente aleatoria es relevante. En efecto, se aplicó un método estocástico multivariado, el cual permitió rellenar y extender las estadísticas mensuales de precipitaciones en 102 estaciones pluviométricas, manteniendo la correlación espacial entre las lluvias en las distintas estaciones, así como las características históricas de las precipitaciones en cada estación. Dada las dificultades que presenta el manejo de precipitaciones en cuencas con influencia altiplánica, se considera que las estadísticas obtenidas son confiables y representativos de la precipitación real en la zona.

A partir de los resultados del análisis pluviométrico, se sectorizó el área de estudio en cuatro zonas homogéneas, caracterizadas por la cantidad de precipitación promedio anual sobre cada una de ellas y por su cota media sobre el nivel medio del mar. Los límites de esta sectorización resultaron ser los siguientes:

- Zona 1: Entre el extremo norte de Chile y hasta antes del extremo norte de la cuenca del Río San José.
- Zona 2: Entre la cuenca del Río San José y la cuenca del Río san Pedro de Atacama.
- Zona 3: Entre el Salar de Atacama y el Salar de Maricunga.
- Zona 4: Entre la cuenca del Río Jorquera y el extremo sur de la III Región.

19. Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica. DGA Septiembre 2011. SIT N° 251. Aquaterra Ingenieros Limitada.

Este estudio tiene por objetivo principal estimar la recarga de agua de las principales cuencas que cumplan con la condición de altiplánicas o de vertiente pacífica. Los objetivos específicos son realizar un análisis crítico de la metodología propuesta, desarrollar un análisis sistemático de la información física disponible (hidrología, geomorfología, hidrogeología, geología y usos) de las cuencas consideradas en el estudio, desarrollar actividades de análisis y de terreno para el ajuste y mejora de la metodología, aplicar la metodología propuesta sobre la base de los antecedentes sistematizados, efectuar balances hídricos de carácter preliminar sobre la base de los antecedentes de derechos y usos que se encuentren disponibles y efectuar un análisis de validación que considere la coherencia regional y a nivel de cuenca de los resultados obtenidos.

Las cuencas donde se aplicó la metodología son: Río Lluta Alto, Río Lluta Bajo Río Azufre, Río Caquena, Río San José Alto, Río Codpa hasta Cala Cala, Río Camarones Hasta Conanoxa, Quebrada Camiña hasta Altusa, Quebrada de Tarapacá hasta Sibaya, Río Collacagua Hasta Peñablanca (Huasco), Río Piga Hasta Collacagua (Huasco), Río Guatacondo Hasta Copaquire, Río Loa Hasta Lequena, Río Salado y Río Salado Hasta Curti. Las cuencas en que se determinó balance hídrico son las siguientes: Lauca, Caquena, Isluga, Cariquima, Codpa Alto, Salar del Huasco, Cancosa, Camiña Alto, Maricunga, Pedernales y Negro Francisco.

20. Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico. Minuta Técnica DGA 2010. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

En el año 2010 la DGA desarrolló este estudio para estimación de la recarga en la zona altiplánica y cuencas de vertiente pacífico, con el cual se buscó avanzar en la formulación metodológica y en la preparación y sistematización de la información base, hidrológica e hidrogeológica. Este trabajo correspondió a una versión preliminar cuya versión final fue publicada con modificación en el SDT N° 317 de Agosto del 2011.

El modelo conceptual desarrollado tiene una formulación simple, pero su aplicación requirió de antecedentes con un nivel de detalle superior al disponible, en particular, la regionalización de los parámetros no tuvo resultados adecuados para lograr su extensión generalizada.

Debido a la necesidad de contar con una herramienta de aplicación simple y con una precisión razonable, se desarrolló una formulación metodológica que se basó en un modelo

simplificado del comportamiento de la escorrentía a nivel regional, orientado a la estimación de la recarga neta en las cuencas del Norte de Chile. El origen de la propuesta metodológica fue el estudio “The Study on The Development of Water Resources in Northern Chile”, JICA, 1995. En dicho trabajo, se intentó relacionar el coeficiente de escorrentía de la cuenca con la precipitación media anual de largo plazo de la cuenca respectiva. Así, la relación que se llegó a establecer fue:

$$Q_s = f \times P \times A \quad P = m \times f + C$$

Donde: Q_s = Caudal medio superficial de salida o escorrentía total (largo plazo)

P = Precipitación media anual de la cuenca = Recarga

A = Área de la cuenca

f = coeficiente de escorrentía de la cuenca

m y C = coeficientes de ajuste lineal

La principal dificultad que presenta desarrollar una metodología de aplicación regional para la determinación de la recarga de cuencas altiplánicas consiste básicamente en la poca información disponible. Este trabajo desarrollado por la DGA se dividió en 2 etapas, a saber:

a) Búsqueda de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida de una cuenca y la precipitación media sobre ésta.

b) Determinación de la recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales de salida de las cuencas, donde los conceptos de caudal base interanual, demandas estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación.

21. Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas. Informe Técnico.

División de Estudios y Planificación DGA. SDT N° 317. Agosto de 2011. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

De acuerdo a este estudio, la escasa información disponible ha sido la principal dificultad para desarrollar una metodología que sea de aplicación regional y que determine la recarga de cuencas altiplánicas. Una metodología para estimar recarga puede estar basada en un modelo conceptual muy coherente, sin embargo, si su calibración requiere información no disponible, implícitamente se produce una distorsión de los coeficientes de ajustes, limitando la validez del método al ámbito local.

Consecuentemente, una metodología de trabajo robusta debe incorporar las simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En este sentido, la línea de trabajo fue dirigida desde un principio a nivel regional.

Este trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera, enfocada a la búsqueda de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida y la precipitación media sobre la cuenca, utilizando para ello los datos y cuencas seleccionadas en el estudio del 2010, y del **Balance Hídrico Nacional de 1987**.

La segunda etapa, enfocada a la determinación de una recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales controlados a la salida de las cuencas estudiadas, en donde conceptos como caudal base interanual, demandas

estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación propuesta.

El trabajo adopta como base el modelo conceptual JICA, complejizándolo con la incorporación de dos nuevas variables, de orden hidrológico e hidrogeológico, analizando su efecto en forma individual e independiente. Estas variables, escogidas entre las de mayor peso sobre la escorrentía total de una cuenca, corresponden a la zonificación de la cuenca de drenaje en función de la geología superficial, y a la desagregación de la relación única P-Et en dos relaciones estacionales (verano e invierno). Cambios con los cuales se pretende mejorar su representatividad y extender el dominio de aplicación, haciéndolo extensivo a todas las cuencas entre la XV y III región del país, localizadas sobre los 1500 msnm.

De acuerdo a lo anterior, la relación entre la precipitación media y la escorrentía total fue formulada en dos relaciones paralelas, es decir, una relación entre la precipitación media anual de invierno y la escorrentía generada por ella, y otra entre la precipitación media anual de verano y su propia escorrentía. Lo anterior basado en que:

- Para un mismo volumen de agua caída en invierno o verano, las condiciones meteorológicas de temperatura, humedad relativa, evaporación y de evapotranspiración, presentan grandes diferencias, determinando diferentes condiciones de infiltración y de escurrimiento.
- El caudal medio de salida de la cuenca (escorrentía total), corresponde a la suma de escorrentía de invierno y verano.

Fundamentos bajo los cuales el modelo de escurrimiento JICA se puede plantear en los siguientes términos:

$$Q_{INV} = f_{inv} * P_{inv} * A$$

$$Q_{VNO} = f_{vno} * P_{vno} * A$$

$$P_{inv} = m_1 f_1 + C_1$$

$$P_{vno} = m_2 f_2 + C_2$$

$$Q_s = Q_{INV} + Q_{VNO}$$

P_{INV} = Precipitación media anual de invierno

P_{vno} = Precipitación media anual de verano

Q_{INV} = Escorrentía media anual de invierno

Q_{VNO} = Escorrentía media anual de verano

f_{inv} = Coeficiente de escorrentía de invierno

f_{vno} = Coeficiente de escorrentía de verano

Q_s = Caudal medio anual de salida de la cuenca ó escorrentía total (largo plazo)

A = Área de la cuenca

m_i y C_i = Coeficientes de ajuste lineal.

El ajuste obtenido entre el caudal medio observado y la escorrentía total estimada resulta ser de muy buena calidad, con una recta del tipo $y=x$ y un $r^2=0,92$.

Por otra parte, la recarga neta o caudal base interanual de salida de la cuenca puede ser estimada, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de junio, julio y agosto. Lo anterior sobre la base que:

- Las precipitaciones de invierno sobre las cuencas seleccionadas de la zona norte son escasas y de bajo monto, y hacia el sur son mayoritariamente sólidas. Por lo que los aportes al escurrimiento durante el invierno son significativamente menores que en

verano. Las bajas temperaturas limitan el deshielo de las nieves y la escorrentía de salida se aproxima al caudal base de la cuenca, y períodos de sequía interanual, puede llegar a estar muy cerca de este valor.

- Durante el verano, el caudal base persiste pero es difícil de ser medido, debido a las mayores pérdidas de evaporación y evapotranspiración, que incluso pueden llegar a consumir la totalidad del flujo base en años secos, y/o períodos de sequía interanual.
- Por otra parte, existe consenso en interpretar las series hidrológicas del norte bajo la perspectiva de ciclos hidrológicos decadales, a partir de lo cual resulta razonable estimar el flujo base como el promedio del conjunto de los 4 mínimos decadales observados históricamente.

Conforme a los resultados de este estudio se puede asumir con propiedad que aproximadamente un **40% de la escorrentía total de salida de una cuenca altiplánica corresponde a flujo base o recarga neta de ésta.**

22. Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Otorgados en la Cuenca del río Copiapó. DARH-DGA. SDT N° 327. Marzo 2012.

Este estudio tuvo como principal objetivo identificar en forma oficial los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo consuntivo otorgados en cada sector acuífero de la cuenca del río Copiapó.

Asimismo, se determinó la cantidad de constituciones de derechos de aprovechamiento por año, los caudales otorgados y el volumen total anual otorgado, para cada sector y para el total de la cuenca.

En la parte alta de la cuenca, aguas arriba del embalse Lautaro, 2.187 l/s y 68.967.655 m³/año.

23. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final Parte I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En el marco de este proyecto, en esta primera Etapa Parte I, se trabajó en la definición de las cuencas hidrográficas que se encuentran en la zona del Altiplano y la Puna. Las cuencas hidrográficas delimitadas se emplazan en una franja cordillerana paralela a la línea de costa chilena, desde Visviri (cuenca de ríos Uchusuma y Caquena) hasta la altura de Copiapó (cuenca de la Laguna del Negro Francisco). Las cuencas se trazaron usando Modelos de Elevación Digital (DEM), con el apoyo de coberturas digitales SIG, imágenes satelitales y otros estudios realizados en la zona. En total se delimitaron 87 hoyas hidrográficas en las cuatro Regiones que abarca el estudio. De estas unidades se obtuvo algunas características como área, perímetro, pendiente media y alturas máxima, media y mínima, entre otra. La escala de trabajo es 1:250.000.

24. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final Parte II. Geología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En las conclusiones de esta parte del proyecto, Etapa I - Parte II, se dice que el Altiplano - Puna configura una gran unidad morfotectónica que representa una cuenca intramontañosa de más de 200 km de largo con una altitud de entre 3.800 (~4.000) a 4.500 m. Esta región de América del Sur se encuentra en el norte de Chile, el centro y sur de Perú, la parte occidental de Bolivia y el noroeste de Argentina. El relleno sedimentario tiene una edad Mesozoica a Cenozoica y alcanza localmente un espesor de 10.000 m. Se encuentra limitada al este y al oeste por enormes cadenas montañosas: Cordilleras Oriental y Occidental, respectivamente. La primera alcanza altitudes de hasta 7.000 m mientras que la segunda alcanza altitudes entre 5.000 y 6.000 m. Se distinguen dos importantes diferencias entre el Altiplano y la Puna (ubicada más al sur). La primera es que la Puna tiene una altura promedio de casi 4.400 m.s.n.m. y es rugosa, mientras que el Altiplano tiene una altura promedio de 3.800 m.s.n.m. y es plano. La segunda diferencia corresponde al límite este de ambas zonas; en el caso del Altiplano, tiene a las Sierras Subandinas, en cambio la Puna tiene las Sierras Pampeanas y el Sistema Santa Bárbara. Estos grupos o unidades difieren por el tipo de cabalgamiento con que se encuentran dispuestas, generado por el tipo de deformación y el volcanismo existente. Más del 90% de las rocas que están expuestas en superficie en el Altiplano-Puna fueron formadas durante la Tercera Etapa del ciclo tectónico Andino y por lo tanto corresponde a una de las zonas más jóvenes del territorio descrito. Los afloramientos en ambas zonas están compuestos en su mayoría por depósitos volcánicos y en segundo orden por depósitos sedimentarios. El volcanismo Cenozoico del Altiplano y la Puna presentan tres asociaciones temporales y espaciales, las cuales son: (1) Estratovolcanes andesíticos-dacíticos del arco volcánico principal formados en el Mioceno Inferior – Pleistoceno; (2) Depósitos ignimbrítico silicios y lavas que ocurren en el arco volcánico principal y en el trasarco durante el Mioceno Inferior – Plioceno y (3) Pequeños centros volcánicos basálticos formados en el trasarco en el Plioceno – Pleistoceno. El abundante magmatismo silicio es una de las características más importantes de la actividad volcánica Neógena de la zona volcánica de Los Andes Centrales. La concentración Miocena a Pliocena de las calderas que componen el Complejo Volcánico Altiplano-Puna es por lejos una de las más grandes provincias ignimbríticas eruptivas en el mundo. Las grandes ignimbríticas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna están compuestas por volúmenes eruptivos de varios miles de metros cúbicos y presentan evidencias

geoquímicas de poseer una fuente predominantemente cortical. Existen también importantes evidencias dadas por anomalías de velocidades sísmicas y conductividad eléctrica que delimitan una amplia zona de alta temperatura y fusión parcial emplazada hoy en día en la corteza media, bajo la región del plateau Altiplano-Puna. Por ello las ignimbritas son expresiones geológicas de la enorme anomalía termal que existe en la corteza media.

25. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En esta parte del estudio, Etapa 1 – Parte III, se realizó la caracterización hidrológica a nivel regional de las cuencas altiplánicas chilenas, considerando variables meteorológicas como precipitaciones, temperatura y evaporación de tanque, e hidrológicas como los escurrimientos. Para el análisis se recopilieron series históricas de estas variables a nivel mensual y anual. El análisis de precipitaciones permitió caracterizar la distribución espacial y temporal de las precipitaciones en el altiplano estimando cuantitativamente el aporte de lluvias a las cuencas

altiplánicas. Del análisis se observó que se produce un cambio significativo en la precipitación media anual en función de la latitud notándose que en las estaciones ubicadas sobre los 3.000 msnm la cantidad de agua caída de la XV y I Región es mucho mayor que el agua caída en la II Región. En cuanto a la variación de la precipitación media anual con la altura se estableció para la XV y I Región un gradiente de 3,5 mm cada 100 m de altitud entre los 2.000 y 3.000 msnm, el que aumenta a cerca de 20 mm por cada 100 m sobre los 3.000 msnm. Para la II Región se estimó un gradiente de 6 mm cada 100 m de altitud a partir de los 2.250 msnm. Finalmente para la III Región se estimó un gradiente de 1 mm por cada 100 m de altura para el rango de altitudes de 0 a 2.200 msnm, desconociéndose lo que ocurre sobre los 2.200 msnm. Se realizó un análisis estacional de la precipitación media mensual observándose que el 80% de la precipitación anual está concentrada en el período Diciembre – Marzo en las estaciones de la XV y I Región, y casi la totalidad de las ubicadas en la II Región. En cambio el 90% de la precipitación anual ocurre en el período Abril – Noviembre para el resto de las estaciones de la II Región y las de la III Región, siendo este comportamiento similar al que tienen las precipitaciones en la zona central de Chile. Esto indica que la influencia meteorológica del denominado invierno boliviano solo llega hasta la latitud 22° aproximadamente. El análisis temporal de las series anuales de precipitación mostró la presencia de años secos y años húmedos cuyo comportamiento es bastante cíclico entre la XV y II Región con períodos húmedos y secos alternados de duración aproximada 5 años. Las estaciones de la III Región en cambio muestran un comportamiento diferente sin ciclos definidos y años muy secos o muy húmedos, donde los valores máximos alcanzan hasta un 400% encima del valor medio. El análisis espacio-temporal de las precipitaciones mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, observándose que los años secos y húmedos se presentan simultáneamente en todas las estaciones, especialmente en la XV, I y III Región. En cambio en la III Región este comportamiento es más independiente. Se determinó la dependencia temporal de las series de precipitación a nivel anual y mensual mediante la elaboración de correlogramas. Estos correlogramas mostraron que las series anuales y mensuales son temporalmente independientes. En cuanto a la periodicidad, los correlogramas a nivel mensual mostraron una marcada periodicidad de 12 meses. No se observan periodicidades marcadas a nivel anual. Las curvas de almacenamiento (S_n) a nivel anual y mensual de las precipitaciones permitieron observar ciclos de abundancia en lo que la magnitud de agua caída supera consistentemente el promedio, y los de escasez en que los valores no alcanzan el promedio. El análisis de déficit de precipitación respecto a la media de largo plazo permitió determinar la duración (L^*) y magnitud (M^*) máximas de las sequías a nivel anual y mensual. A nivel mensual la duración máxima varía entre 10 meses (Parinacota ex Endesa) y 150 meses (Azapa) con magnitudes máximas que se encuentran entre 1,6 mm (Quillagua) y 533,4 mm (Chucuyo Retén). A nivel anual la duración máxima varía entre 3 años (Chungara Reten, Enquelca (ex Caraguano), Putre (DCP), Pampa Lirima, Silala, Conchi Muro Embalse y Sierra Gorda) y 12 años (Lequena) con magnitudes máximas entre 1,4 mm (Quillagua) y 1158,4 mm (Humapalca). Se caracterizó el comportamiento espacial y temporal de los escurrimientos en la zona en estudio. Los registros de escurrimiento al interior de las cuencas altiplánicas son escasos. De las 52 estaciones de la DGA seleccionadas para el análisis, 21 se ubican al interior de las cuencas, 8 en la XV Región, 6 en la I Región, 7 en la III Región y ninguna en la II Región. Las series anuales de escurrimientos al interior de las cuencas altiplánicas varían entre 0,02 y 2,71 m³/s mostrando gran estabilidad interanual. Sin

embargo algunas series muestran la presencia de crecidas esporádicas. Las series de gasto medio mensual en las estaciones en las cuencas altiplánicas muestran en general cierta regularidad a lo largo de los meses del año, sin embargo algunas series muestran aumentos de caudal especialmente en los meses de febrero y marzo. El análisis espacio-temporal de las series anuales de caudales mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, notándose que los años muy húmedos y húmedos tienden a ocurrir simultáneamente en todas las estaciones. Un comportamiento similar se observa en los años secos y muy secos. Los correlogramas de las series anuales y mensuales de escurrimientos en general son temporalmente independientes. Sin embargo, se observan algunas series con memoria larga tales como las registradas en las estaciones Río Batea en Confluencia, Río San Pedro en Parshall N°1 y Río Loa en Conchi, entre otras. En cuanto a la periodicidad, se observa en la mayoría de las estaciones seleccionadas una marcada periodicidad de 12 meses. A nivel anual no es posible observar periodicidades marcadas. Las curvas de almacenamiento (S_n) a nivel anual y mensual de los escurrimientos detectan que en general los ciclos de escasez superan los 10 años de duración.

26. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2
Informe Final Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Texas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio, de carácter regional, se generó una base de datos con información sobre la calidad y composición isotópica del agua a partir de los antecedentes disponibles de

la Dirección General de Aguas (DGA), complementados con antecedentes bibliográficos especializados y artículos publicados en revistas, congresos y seminarios, tanto nacionales como internacionales, públicos y privados. Con esto se generó un diagnóstico del conocimiento hidrogeoquímico de todo el sector altiplánico en las regiones que abarca el estudio, dando cuenta de los antecedentes disponibles, su confiabilidad y falencias.

27. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2
Informe Final Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. DGA S.I.T. N° 195.
Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Uno de los aspectos fundamentales de esta investigación lo constituye la instalación de 12 estaciones meteorológicas en el Altiplano entre la I y III Región, las que miden precipitación y en algunos casos otras variables como temperatura y humedad del aire y del suelo. Adicionalmente, se realizaron en todos los sistemas, mediciones in-situ de evaporación desde la napa, utilizando la metodología del domo o semiesfera acrílica propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Estos datos son importantes para realizar el balance hídrico de los sistemas y de especial relevancia para la estimación de la recarga en cuencas cerradas.

La instalación de la red de monitoreo en el marco del estudio de las cuencas del altiplano y la puna de Chile tuvo por objetivo cubrir zonas con déficit de información, así como conocer la variabilidad espacial de la precipitación en un área menor como es una cuenca hidrográfica.

En total se instalaron 12 estaciones en tres de las cuatro Regiones administrativas en que se desarrolla el estudio. De este total, ocho corresponden a pluviómetros y cuatro incorporan además sensores de temperatura y humedad del aire y del suelo. Para llevar a cabo estas tareas se realizó una campaña de terreno previa, con el objeto de reconocer la zona y seleccionar los lugares definitivos donde se ubicaron los equipos. Los criterios para esto fueron entre otros la accesibilidad, cobertura de información y seguridad. Este último criterio es preponderante considerando la distancia desde centros poblados a la que se encuentran. Se espera que los datos recolectados en el tiempo con la red de monitoreo implementada puedan dar luces acerca de cómo es en realidad la precipitación en zonas que actualmente carecen de información. En particular, la cordillera de la III Región tiene estimaciones de lluvia media anual en base a isoyetas desde 1987, con el Balance Hídrico de Chile y la actualización realizada en este mismo estudio. Otros parámetros medidos permitirían aportar a la información que actualmente existe, mejorando los análisis. De cualquier forma, lo que se sugiere es avanzar en la implementación de una red de monitoreo, concentrando los esfuerzos en zonas de menor tamaño para conocer las magnitudes y variaciones espacial y temporal de los fenómenos.

28. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2
Informe Final Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio se realizaron tres campañas de terreno para muestrear aguas. La primera, desarrollada durante el mes de mayo del 2008, se llevó a cabo en la Tercera Región de Atacama, en las cuencas de los salares de Pedernales y Maricunga. La segunda campaña, correspondiente al muestreo de aguas en la Primera Región de Tarapacá, específicamente en la cuenca del Salar del Huasco, fue ejecutada en Septiembre del 2008. Finalmente, la tercera campaña incluyó la recolección de muestras en 7 cuencas ubicadas en la franja altiplánica de la Segunda Región de Antofagasta.

Durante las campañas de terreno se muestreó un total de 76 puntos distribuidos en la zona de estudio. De estos, 21 corresponden a muestras de agua tomadas en la cuenca del Salar del Huasco, 23 corresponden a siete cuencas altiplánicas de la Segunda Región y las 32 restantes a muestras colectadas en las cuencas de Maricunga y Pedernales. A todas las muestras se les realizaron análisis químicos e isotópicos en laboratorio, además de análisis físicos y químicos en terreno. Adicionalmente se determinó el nivel estático y coordenadas en más de 25 pozos. La definición de los puntos a muestrear se basó en el estudio de los antecedentes previos existentes, en el sentido de privilegiar sectores con escasa información y de importancia para la comprensión de los sistemas. Además se escogieron puntos factibles de ser muestreados en los plazos disponibles. Durante las campañas de terreno no fue posible muestrear algunos sectores de importancia, que podrían contribuir con valiosa información. Entre estos se encuentran las zonas oeste y noroeste de la cuenca del Salar del Huasco y el sector sureste de la cuenca del Salar de Aguas Calientes 2. Se espera que los resultados obtenidos ayuden en la comprensión del funcionamiento de los sistemas subterráneos en las diferentes zonas estudiadas.

29. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2

Informe Final Parte VII Medición de la Evaporación mediante el Método del “Domo”. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II

Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Esta parte del estudio está orientada a la caracterización de la evaporación desde napas freáticas someras a través de los suelos. La información generada en terreno fue procesada y sintetizada con el fin de incrementar el escaso conocimiento relacionado con la evaporación desde salares del altiplano existente en la actualidad. En el presente informe se describe la realización de 3 campañas de terreno con el objetivo de caracterizar las tasas de evaporación y determinar su relación con la profundidad a la que se encuentra la napa subterránea. Durante el mes de diciembre de 2007 se trabajó en las cuencas altiplánicas de la Segunda Región (Laguna Tuyajto, Salar de El Laco y Salar de Aguas Calientes 2), mientras una segunda campaña se hizo durante el mes de marzo de 2008 en las cuencas de la III Región (Pedernales y Maricunga). Por último, durante el mes de abril de 2008 se llevó a cabo la campaña de terreno en la Primera Región, en la cuenca del Salar del Huasco. De estos trabajos se obtuvo estimaciones de evaporación desde aguas subterráneas someras en más de 45 puntos agrupados en 12 zonas representativas del área de estudio. Adicionalmente se realizaron análisis de laboratorio a los suelos de las zonas de medición y se determinó en terreno la tasa de evaporación desde superficies libres mediante la implementación de tanques evaporímetros estándar y otros construidos en terreno. La metodología empleada para determinar los flujos de evaporación desde napas freáticas fue la propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)¹, denominada metodología del Domo. Esta herramienta permite medir descargas desde el acuífero de forma directa sobre la superficie del terreno.

Se midieron tasas de evaporación diaria desde napas freáticas en 49 puntos en las cuencas del Salar del Huasco (16), Laguna Tuyajto (8), Salar de El Laco (4), Salar de Aguas Calientes 2 (4), Salar de Pedernales (8) y Salar de Maricunga (9), contribuyendo en forma considerable al aumento de la información existente en la zona. En 9 de las 12 zonas monitoreadas dentro de estas cuencas se cuantificaron también tasas de evaporación desde superficies de agua libre. Las mediciones se realizaron con tanques evaporímetros Clase A presentes en el lugar o a través de la construcción “in situ” de tanques plásticos, instalados dentro de lagunas y afloramientos. Adicionalmente, basados en la información histórica de más de 50 estaciones meteorológicas DGA, se ajustaron curvas de evaporación en función de la altura para las Regiones XV, I, II y III. Dicho análisis incluye información histórica comprendida entre 1960 y 2007. Se estimaron además ajustes para la franja altiplánica de las Regiones I y II. Se determinó la textura de los suelos en los puntos en que se cuantificó la evaporación, usando para esta clasificación los resultados de los análisis granulométricos practicados a las muestras. Por lo general los suelos presentaron un alto contenido de sales y una granulometría gruesa, con predominio de partículas de arena. Según las mediciones realizadas en terreno, las tasas de evaporación desde el suelo dependen principalmente de la demanda evaporativa de la atmósfera (condiciones climáticas) y de la composición litológica de la zona no saturada del perfil (textura). De acuerdo a los análisis efectuados, se concluye que el domo entrega valores para la evaporación desde napas freáticas someras comparables con los registros realizados mediante metodologías alternativas como lisímetros y microlisímetros. Por lo

tanto, el domo puede ser considerado como una herramienta confiable para realizar estimaciones puntuales de evaporación. En términos generales, la curva propuesta por Morel-Seytoux para el ajuste de la evaporación como función de la profundidad de la napa es la que presenta el mejor grado de ajuste con los datos normalizados de las mediciones en terreno. Las curvas de ajuste propuestas para las tres Regiones en que se trabajó pueden contribuir en la comprensión y determinación de los flujos de descarga por evaporación en las distintas zonas de estudio. Por su parte, la curva resumen de todas las mediciones realizadas en el norte del país puede ser utilizada como una primera aproximación al problema de las descargas en el largo plazo.

30. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2
Informe Final Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de la cuenca piloto de la I Región de Tarapacá, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de la(s) cuenca(s), además de los balances hídricos de recarga y descarga.

- 31. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2**
Informe Final Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Partes VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Antofagasta, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.

- 32. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2**
Informe Final Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio

de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Texas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Atacama, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de las cuencas e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o de los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.