



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RECARGA EN
LA CUENCA QUEBRADA DE TARAPACÁ (SECTOR DE CABECERAS)
I REGIÓN, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

ISABEL ANDREA CASANOVA ROJAS

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2012**



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RECARGA EN
LA CUENCA QUEBRADA DE TARAPACÁ (SECTOR DE CABECERAS)
I REGIÓN, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

ISABEL ANDREA CASANOVA ROJAS

**PROFESOR GUÍA:
CARLOS PARRAGUEZ DECKER**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CARLOS ESPINOZA CONTRERAS
SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA**

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2012**

RESUMEN

En este trabajo se modela la recarga promedio de la quebrada de Tarapacá en su sector de cabeceras. El propósito es brindar información sobre la disponibilidad del recurso hídrico de la zona.

El análisis parte con un estudio geológico de la zona, donde se realiza una caracterización hidrogeológica, basada en un mapeo geomorfológico del material no consolidado de la cuenca. Esta caracterización separa la cuenca en tres clases o categorías, que van desde alta a nula importancia hidrogeológica, de acuerdo a su potencial hidrogeológico. Los depósitos fluviales, aluviales y coluviales presentes se agrupan en la unidad de alta a moderada importancia hidrogeológica. La unidad de media a baja importancia hidrogeológica comprende depósitos piroclásticos parcialmente soldados. Mientras que el basamento rocoso corresponde a la unidad de baja a nula importancia hidrogeológica.

Con esta información se procede a realizar el análisis hidrológico mediante dos métodos: Método de la Curva Número y Modelo de simulación hidrológica (Nivopluvial). El método de la Curva Número entrega valores de escorrentía superficial, infiltración y recarga tomando datos de precipitaciones máximas en 48 horas para un periodo determinado de tiempo, en este caso 5 y 10 años, mientras que el modelo hidrológico Nivopluvial sintetiza una serie de datos de escorrentía total mensual a partir de diversas variables meteorológicas y parámetros propios del programa, obtenidos mediante iteraciones durante la calibración. La calibración de los modelos se realizó a partir de la estación fluviométrica de Quebrada de Tarapacá en Sibaya, representativa del régimen natural de escurrimiento, ya que no existen extracciones aguas arriba de este punto de aforo.

Los caudales medios anuales obtenidos por ambos métodos dan sustento hidrológico a la cuenca, dada su similitud con el caudal medio anual medido en la estación fluviométrica de Tarapacá en Sibaya. Mientras que, las recargas obtenidas corresponden a aproximadamente el 70% del caudal medio anual. Dada la demanda de agua en la zona, se concluye que no hay disponibilidad de recursos de tipo permanente, pero si recursos superficiales eventuales continuos.

Los antecedentes geológicos aquí utilizados son suficientes sólo para estructurar una caracterización hidrogeología preliminar, ya que se basan en estudios a escalas regionales, debido a la falta de estudios con un detalle mayor y se carece de antecedentes tan importantes como estratigrafías de sondajes y pruebas de bombeo para la definición de las constantes elásticas de los medios permeables existentes.

A mis padres,
Juan e Isabel.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1	MOTIVACIÓN.....	8
1.2	UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	8
1.3	OBJETIVOS.....	9
1.3.1	Objetivos Generales	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	METODOLOGÍA	9
1.4.1	Trabajo de Campo	9
1.4.2	Caracterización geológica de la zona	9
1.4.3	Caracterización hidrogeológica del área	9
1.4.4	Evaluación hidrológica orientada a determinar la recarga de los sistemas permeables	9
1.5	ESTUDIOS ANTERIORES	10
2	MARCO GEOGRÁFICO	11
2.1	GEOMORFOLOGÍA.....	11
2.2	CLIMA	11
2.3	SUELOS.....	13
2.4	VEGETACIÓN.....	13
3	MARCO GEOLÓGICO.....	15
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	15
3.2	GEOLOGÍA LOCAL	16
3.2.1	Rocas estratificadas	16
3.2.2	Rocas intrusivas.....	20
3.3	HIDROGEOLOGÍA	21
4	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	23
4.1	UNIDAD DE ALTA A MODERADA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA.....	23
4.2	UNIDAD DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA.....	26
4.3	UNIDAD DE BAJA A NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA.....	26
5	HIDROLOGÍA	30
5.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	30
5.1.1	Variables Meteorológicas	30
5.1.2	Variables Fluviométricas	33
5.2	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	34
5.2.1	Método Curva Número	35

5.2.2	Estimación de escorrentía y recargas en base a un modelo de simulación hidrológica (nivo pluvial).	44
5.2.3	Análisis de los datos fluviométricos estación Tarapacá en Sibaya.	54
6	DISCUSIONES	58
6.1	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
6.1.1	Análisis Método Curva Número	58
6.1.2	Análisis comparación de resultados de los distintos métodos	58
6.2	DEMANDAS DE AGUA Y BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL	59
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS	63
	ANEXO A: Recopilación de información	65
	ANEXO B: Análisis hidrológico	84
	ANEXO C: Extracto mapa hidrogeológico de Chile	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1.	Ubicación y Cota estaciones pluviométricas.	31
Tabla 5-2.	Ubicación y Cota estaciones Meteorológicas: Huara-Baquedano, Cerro Colorado y Coyacagua.	32
Tabla 5-3.	Ubicación y Cota estación Meteorológica El tatio.	33
Tabla 5-4.	Ubicación y Cota estación Fluviométrica Q. Tarapacá en Sibaya.	34
Tabla 5-5.	Precipitación Máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años, para cada estación.	36
Tabla 5-6.	Precipitación Máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años, para cada banda.	37
Tabla 5-7.	Evaporación media diaria (Potencial) y 48 hrs por estación.	38
Tabla 5-8.	Evaporación 48 hrs meses de verano potencial y corregida.	38
Tabla 5-9.	Valor CN. Estimado a partir del % de material No consolidado y pendiente promedio de cada banda.	40
Tabla 5-10.	Calculo Escorrentía superficial PR 5 años y PR 10 años, mediante método Curva Número.	42
Tabla 5-11.	Calculo Infiltración y Recarga PR 5 años y PR 10 años, mediante método Curva Número.	43
Tabla 5-12.	Valores en l/s de escorrentía, infiltración y recarga obtenidos con un periodo de retorno de 5 años. Método Curva Número.	43
Tabla 5-13.	Valores en l/s de escorrentía, infiltración y recarga obtenidos con un periodo de retorno de 10 años. Método Curva Número.	44
Tabla 5-14.	Parámetros óptimos calibración.	53
Tabla 5-15.	Valores para el Balance Hídrico generados.	53
Tabla 5-16.	Caudal medio mensual según mejor ajuste (m ³ /s).	57
Tabla 6-1.	Balance hídrico medio mensual Tarapaca en Sibaya (l/s)	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación y accesos del área de estudio.	8
Figura 2-1. Localización de los Andes Central y Sur en relación a Sudamérica, mayores elementos morfológicos de la cordillera de los Andes, y placas oceánicas frente al margen oeste de Sudamérica.	12
Figura 3-1. Geología de la zona.	17
Figura 3-2. Mapa de las provincias y sub-provincias hidrogeológicas de la zona norte de Chile. En rojo se observa la zona de estudio, perteneciente la Provincia 1: Altiplánica. Imagen tomada del Mapa Hidrogeológico de Chile 1:250000, año 1986..	21
Figura 4-1. Vista NE Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos fluviales.	24
Figura 4-2. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos aluviales.	25
Figura 4-3. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos coluviales.....	25
Figura 4-4. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En amarillo se observan depósitos piroclásticos.....	27
Figura 4-5. Muestra de mano Toba cristalina de biotita.	27
Figura 4-6. Caracterización hidrogeológica de la cuenca.....	28
Figura 4-7. Perfiles A a H generados para los depósitos fluviales en la Quebrada de Tarapacá.	29
Figura 5-1. Ubicación estaciones pluviométricas.	30
Figura 5-2. Ubicación estaciones meteorológicas Cerro Colorado, Huara-Baquedano y Coyacagua.	31
Figura 5-3. Ubicación estación meteorológica El Tatio.	32
Figura 5-4. Ubicación Estación fluviométrica Q. Tarapacá en Sibaya.....	34
Figura 5-5. Plano de cuenca separada en 14 bandas hipsométricas, cada 200 m cada una.	35
Figura 5-6. Precipitación máxima en 48 hrs con un periodo de retorno de 5 años v/s cota.	36
Figura 5-7. Precipitación máxima en 48 hrs con un periodo de retorno de 10 años v/s cota.	37
Figura 5-8. Evaporación 48 hrs potencial promedio en verano v/s Cota.	39
Figura 5-9. Caudal medio anual medido vs simulado.....	53
Figura 5-10. Distribución estacional del caudal medio mensual para distintas probabilidades de excedencia.....	57

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

La quebrada de Tarapacá corresponde a una cuenca hidrográfica que evacúa sus aguas en la denominada Pampa del Tamarugal. Su nacimiento ocurre en la alta cordillera, por sobre los 4500 m.s.n.m. siendo el cauce de mayor importancia que drena la zona. En su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o de escurrimiento eventual. El más importante por la ribera derecha es la quebrada de Chuzmiza, donde se encuentran los baños termales y se embotella agua de vertiente para el consumo humano. Por el lado izquierdo, el afluente principal es la quebrada de Coscaya, que tiene cabeceras hacia la zona de la alta cordillera, drenando la zona de Pampa Lirima.

Dada la falta de estudios hidrogeológicos presentes en la zona y la ubicación de la estación fluviométrica perteneciente a la Dirección General de Aguas denominada Tarapacá en Sibaya, se ha evaluado la subcuenca del sector de cabeceras, cerrada en dicha estación, de tal forma que será posible en base a los antecedentes de caudales medidos calibrar los cálculos y estimaciones de balance hídrico de la cuenca.

1.2 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio comprende la parte alta de la quebrada de Tarapacá, aproximadamente entre los 7820000N y 500000E, cubriendo una superficie de 548,3 km².

El acceso al sector es a través de la Ruta 5 Norte hasta el cruce de Huara, donde se toma el camino aledaño CH 15 (Figura 1-1).

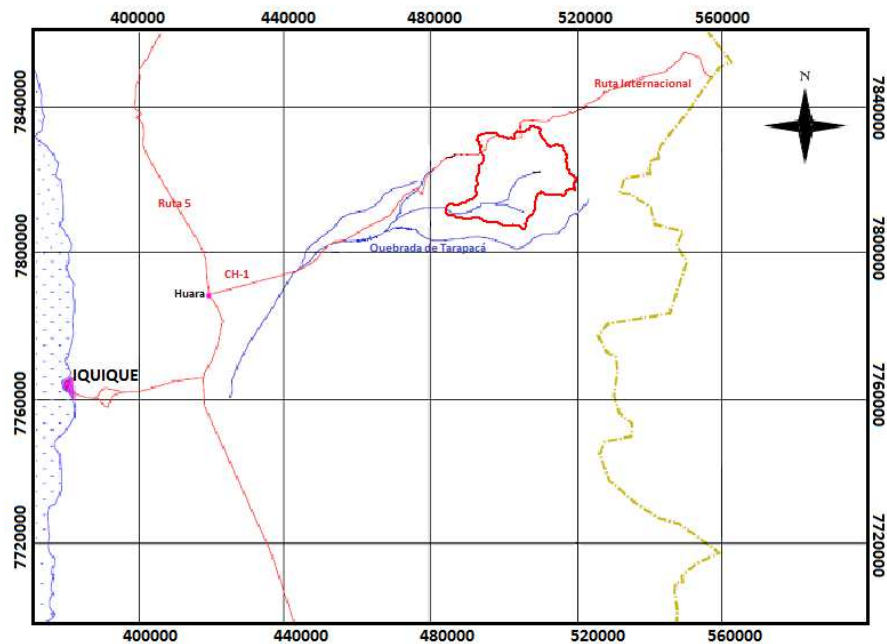


Figura 1-1. Ubicación y accesos del área de estudio. En rojo se observa cuenca a estudiar.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Generales

Estimar la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos y determinar la recarga del acuífero de la quebrada de Tarapacá en su sector de cabeceras.

1.3.2 Objetivos Específicos

Definir Unidades geológicas presentes basado en la información preexistente.

Definir el porcentaje de material no consolidado presente en la cuenca.

Determinar la disponibilidad y variabilidad en el tiempo del recurso superficial y caracterizar su relación con el recurso subterráneo.

Determinar los mecanismos de recargas del sistema subterráneo.

Realizar el balance hídrico identificando la recarga, descarga y volumen embalsado en el sistema hídrico subterráneo.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Trabajo de Campo

Entre los días 25 y 27 de julio del 2011, se efectuó una visita a terreno al área de estudio, con el objeto de realizar un reconocimiento de las unidades geológicas e hidrogeológicas presentes en el área.

1.4.2 Caracterización geológica de la zona

Dada la falta de información de más detalle en la zona, la caracterización geológica se basa en el Mapa Geológico de Chile 1:1000000 (Sernageomin, 2003), junto con trabajos anteriores cercanos a la zona de estudio.

1.4.3 Caracterización hidrogeológica del área

Para esto se ha realizado lo siguiente:

- Mapeo geomorfológico del material no consolidado de la cuenca mediante el programa Google Earth © 2011.
- Cálculo del porcentaje de relleno de la cuenca mediante el programa MapInfo Professional 10.0.

1.4.4 Evaluación hidrológica orientada a determinar la recarga de los sistemas permeables

Para esto se han seguido los siguientes pasos:

- Recopilación de antecedentes meteorológicos y pluviométricos.

- Análisis de precipitaciones.
- Correlación de las precipitaciones con la altura.
- Subdivisión de la cuenca en bandas hipsométricas cada 200 m, mediante el programa MapInfo Professional 10.0.
- Determinación de la infiltración y escorrentía mediante el método Curva-Número.
- Distribución areal de las precipitaciones de la cuenca.
- Implementación de un modelo de simulación hidrológica (Nivopluvial) para la determinación de la recarga.

1.5 ESTUDIOS ANTERIORES

Cade-Idepe consultores Ingeniería en diciembre del 2004, publican un diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad en la cuenca quebrada de Tarapacá.

El Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile en diciembre del 2008 realiza un 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.

GCF ingenieros Ltda. en diciembre del 2010 para la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, publica el informe final "Metodología para la estimación de recarga de cuencas altiplánicas y precordilleranas de vertiente pacífica en el norte de Chile, XV, I, II, III regiones" donde se plantea elaborar un procedimiento de cálculo aplicable a escala regional a cualquier cuenca ubicada entre las regiones XV, III, sobre la cota 1500 m.s.n.m.

2 MARCO GEOGRÁFICO

2.1 GEOMORFOLOGÍA

Chile se encuentra ubicado en un margen de subducción activo, donde la placa de Nazca subducta la placa sudamericana (Figura 2-1.a), lo cual ha producido el orógeno andino. Dentro de este orógeno, que es el elemento morfológico de primer orden en esta región, se diferencian otros dos tipos de rasgos: unidades morfoestructurales orientadas paralelas al margen de subducción, y los oroclinos, los cuales presentan el mayor cambio de orientación observado dentro de la morfología y estructuras (Figura 2-1.b). Estos oroclinos son: el boliviano, en el límite norte, y el patagónico en el límite sur de Chile.

Dentro del oroclino boliviano, las unidades Morfoestructurales definidas de Oeste a Este son: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Altiplano o Cordillera Occidental, Cordillera Oriental y Sierras Sub-andinas (Figura 2-1.c).

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Altiplano, que por sus dimensiones es el rasgo orográfico más destacado de los Andes Centrales. Corresponde a una inmensa altiplanicie que se encuentra en promedio a 3700 metros sobre el nivel del mar, con un ancho de aproximadamente 300 km y unos 1500 km de largo. Abarca desde la región de Ayacucho en Perú, hasta cerca de Copiapó en Chile. [Ref.5]

2.2 CLIMA

La cuenca de la Quebrada de Tarapacá, presenta tres tipos climáticos, estos son clima desértico interior, desértico marginal de altura y clima de estepa de altura.

La zona de estudio al encontrarse cercana a los 4000 metros, pertenece al clima de estepa de altura, y responde al clima altiplánico.

La presión atmosférica en el Altiplano, a 4000 m.s.n.m., es aproximadamente un 40% inferior al valor observado a nivel del mar. La densidad del aire también disminuye por efectos de la altura. La nubosidad, relativamente más abundante durante el verano austral (diciembre-marzo), determina que en la mayor parte del Altiplano la radiación global mensual a nivel de superficie alcance el máximo anual a fines de la primavera austral (noviembre) (Aceituno, 1993).

La temperatura media junto a la superficie es relativamente baja, lo que constituye un importante factor limitante en el desarrollo de la vegetación.

El activo desarrollo de nubosidad convectiva en la parte sur de la cuenca amazónica y sobre el altiplano, durante el verano, condiciona el establecimiento de una circulación anticiclónica en la tropósfera superior, alrededor de un centro de alta presión denominado alta de Bolivia (Gutman y Schwerdtfeger, 1965; Virgi, 1981) cuyo centro se localiza sobre el territorio altiplánico.

Las masas de aire que llegan a la región altiplánica tienen en general un contenido relativamente bajo de humedad, debido a su origen en niveles elevados. Por otra parte, el ambiente frío predominante, por efecto de la altura, implica una menor capacidad de retención de vapor de agua. La humedad absoluta es considerablemente menor

durante el invierno austral cuando predomina sobre el Altiplano un flujo del oeste desde el dominio del anticiclón del Pacífico suroriental. Durante la temporada de lluvias, en el verano austral, los niveles de humedad absoluta y relativa aumentan como resultado de la advección de masas de aire desde la cuenca amazónica. [Ref.3]

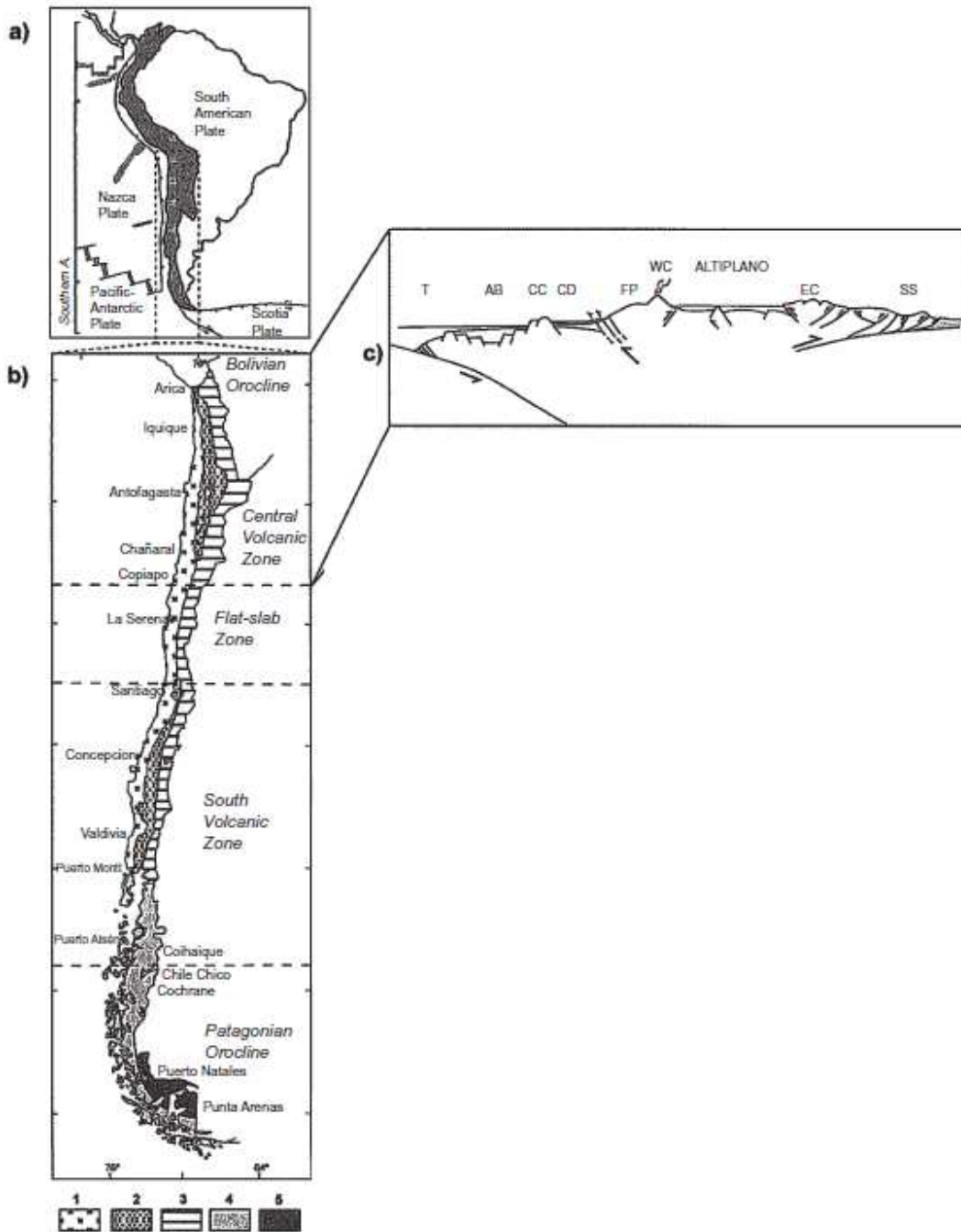


Figura 2-1. Localización de los Andes Central y Sur en relación a Sudamérica, mayores elementos morfológicos de la cordillera de los Andes, y placas oceánicas frente al margen oeste de Sudamérica. (a) Localización de la cordillera de los Andes en relación a Sudamérica, mayores subdivisiones a lo largo de ella, y mayores elementos tectónicos y morfológicos en las placas oceánicas frente al margen oeste de Sudamérica: Placa de Nazca y Pacífica-Antártica, separada por el Ridge de Chile. (b) Mayores rasgos

morfológicos del centro y sur de los Andes en Chile (17°45' to 56°S): Oroclino boliviano y patagónico, segmentación de los Andes y unidades Morfoestructurales: 1, Cordillera de la Costa (entre 27° y 33°S); 2, Depresión Central; 3, Antearco de la Precordillera y Cordillera oeste, entre 18° y 27°S, Andes Altos, entre 27° y 33°S (Segmento de subducción flat-slab), Cordillera principal, entre 33°S y 42°S, 4, Cordillera Patagónica, 5, Antearco andino en la Patagonia Sur. (c) Sección esquemática del segmento de subducción norte de alto ángulo (Zona volcánica centro) mostrando distribución de las unidades morfoestructurales. Imagen Tomada del Libro *Geología de Chile*. Capítulo 3 *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile* (R. Charrier *et al*).

2.3 SUELOS

En la quebrada de Tarapacá se encuentran presentes tres tipos de suelos: Histosoles, Molisoles y Entisoles.

Histosoles: Se encuentra mayormente alrededor de las quebradas, oasis y zonas húmedas. Generalmente se dan en la alta cordillera, sobre los 3.000 metros de altitud. Son suelos muy ricos en materia orgánica y poco descompuestos, por lo general son característicos de turberas, mallines y algunas terrazas fluviales. Por lo general son muy pantanosos, y de poco valor agrícola.

Molisoles: Son suelos sueltos y oscuros, ya que poseen una alta proporción de materia orgánica y con buen drenaje. Son los de mayor fertilidad y de mayor valor económico del país. Aquí se incluyen la mayor parte de los suelos llamados Chernozem, Brunizem, de pradera, castaños y pardos. Son característicos de zonas sub-húmedas o semiáridas.

Entisoles: Son suelos de formación incipiente, con materiales que fueron acumulados por el agua, el viento o la fuerza de gravedad. Estos suelos débilmente desarrollados, están localizados en muchas áreas de nuestro país, y a lo largo de valles fluviales. Aunque el accionar del hombre consiga mejorarlos, estos poseen baja fertilidad, por lo que son poco favorables para los cultivos. [Ref.9]

2.4 VEGETACIÓN

Para el total de la cuenca de la quebrada de Tarapacá se han identificado tres formaciones vegetales:

Estepa Altoandina subdesértica: Formación vegetacional heterogénea, que se encuentra ubicada inmediatamente al sur del Altiplano, con la cual comparte muchos de sus elementos florísticos y parcialmente su geomorfología de extensas mesetas, aunque aquí son frecuentes las formas montañosas. Las asociaciones más características son: Llaretila – ojo de agua (*Pycnophyllum molle* – *oxalis exigua*); Tola – Lampayo (*Baccharis incarum* – *Lampaya medicinalis*); Paja iro – Pata de pizaca (*Festuca Chrysophylla*- *Fabiana bryoides*).

Estepa arbustiva pre-altiplánica: Formación vegetacional que se ubica en los sectores montañosos de la pre-cordillera, también denominada Cordillera Central, la cual a pesar de ocupar una posición intermedia respecto al eje longitudinal del país, en ciertos lugares alcanza altitudes de más de 5.000 m s.n.m. Constituye un medio ambiente esencialmente montañoso con gran diversidad de condiciones de hábitat, lo que se refleja en una fisionomía vegetal muy variada. Predominan en el paisaje los arbustos bajos (tolares), pero también se encuentran interpenetrados elementos

altiplánicos y desérticos posible causa de su diversidad florística, donde son abundantes las especies endémicas. Las asociaciones más características son: Queñoa – Checal (*Polylepis besseri* – *Fabiana densa*) y Checal – Suico (*Fabiana densa*- *Tagetes multiflora*).

Matorral desértico con suculentas columnares: Es la continuación de una formación vegetal que presenta un mayor desarrollo y riqueza florística en situaciones ecológicas correspondientes a regiones más nortinas, en especial el sur del Perú. La comunidad más típica para la cual se encuentran referencias es la siguiente: Candelabro (*Browningia candelaris*); verbena (*verbena gynobasis*) y Añahuilla – Pupuña (*Adesmia spinosissima* – *Balbisia stichkinii*). [Ref.7]

3 MARCO GEOLÓGICO

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Las edades de las rocas conocidas en esta zona corresponden al Pre-cámbrico, Mesozoico y Cenozoico. Los Esquistos o Complejo Metamórfico de Belén (Montecinos, 1969) son las rocas más antiguas de esta región, corresponden a esquistos y gneises de bajo grado con edades de 1000 Ma (Pacci et al., 1980) y afloran en el borde occidental del Altiplano entre Socoroma y Ticnamar cabalgando a rocas más jóvenes, a través de un sistema de fallas inversas de alto ángulo y vergencia occidental (Muñoz y Charrier, 1996).

A lo largo de la actual Cordillera de la Costa se generó un arco volcánico durante el Triásico Superior y Jurásico Inferior, conocido como la Fm. La Negra, el que junto con los depósitos de la cuenca marina de trasarco de Perú-Chile engranaron hacia el Este (Muñoz et al, 1988, 1989; Harambour, 1990). La regresión marina comenzó en el Jurásico Superior (Kimmeridgiano). La sedimentación continuó en algunos sectores de la cuenca durante el Neocomiano Inferior, acumulándose gruesos espesores de sedimentos clásticos arenosos con niveles que contienen especies de Trigonias del Cretácico Inferior (Fm. Livicar; MUÑOZ et al, 1988, 1989) y conglomerádicos (Fm.Chusmiza; HARAMBOUR, 1990). La regresión definitiva del mar coincidió con la deriva hacia el Este de América del Sur al separarse Gondwana. La inversión de la cuenca ocurrió en el Neocomiano Superior, la cual desarrolló una extensa faja plegada y corrida con vergencia oriental en la cuenca de trasarco (Muñoz y Charrier, 1996).

Recubriendo discordantemente los depósitos del Jurásico Superior de la cuenca de trasarco (Fm. Quebrada Honda) se encuentra la Fm. Panjuacha (Pachica, Quebrada de Tarapacá) que corresponde a rocas volcánicas de edad cretácica superior, intruidas por cuerpos datados en 80 Ma (Harambour, 1990). Esto indica un corrimiento del arco volcánico hacia el Este.

Una abundante cuenca fluvio lacustre se desarrolló a fines del terciario inferior. En el Mioceno se desarrollaron mantos ignimbríticos asociados a una actividad volcánica explosiva, que recubrieron a los depósitos anteriores (Fm Oxaya, en el Altiplano de Arica, Salas et al., 1966; Fm Altos de Pica en el Altiplano de Iquique, Galli 1957, 1968; Galli y Dingman, 1962). Sobre la Formación Oxaya se depositó la Fm. Lupica a lo largo de la Franja Socorama, Zapahuira, Chapiquiña, Belén, Lupica, Ticnamar.

En el Mioceno Medio-Superior el bloque altiplánico cabalgó hacia el Oeste debido a un sistema de fallas inversas (Muñoz y Sepúlveda, 1992; Muñoz y Charrier, 1996).

Sobre la superficie del Altiplano, sobre la Fm Oxaya, se desarrolló actividad volcánica que dio origen a los campos geotérmicos de Jurase, Surire, Puchuldiza y El Tatio, entre otros (Lahsen, 1976), a importantes depósitos de Azufre y a los yacimientos de Cobre y metales preciosos, junto con sedimentos plio-pleistocenos de la Fm. Lauca y los depósitos evaporíticos acumulados en los salares.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio se encuentra ubicada al Noreste de la ciudad de Iquique, en la parte Alta de la quebrada de Tarapacá, aproximadamente entre los 7820000N y 500000E (Figura 3-1).

Dada la falta de información presente en esta área, el marco geológico local se ha basado en el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000, versión digital N°4 (Sernageomin, 2003) y su correlación con trabajos cercanos a la zona. De tal manera se obtendrán las Formaciones acá descritas.

Las unidades geológicas presentes en esta zona contemplan edades que van desde el Jurásico Superior hasta el Cuaternario.

3.2.1 Rocas estratificadas

a) Secuencias Mesozoicas

JK1 Jurásico Superior-Cretácico Inferior

Secuencias sedimentarias transicionales: areniscas, lutitas, calizas, conglomerados.

- **Formación Quebrada Coscaya** (Harambour, 1990): Fue definida como una serie de más de 1000 m de espesor de rocas sedimentarias volcanoclásticas asignadas al Sinemuriano –Oxfordiano y separadas en dos miembros entre los cuales existe un contacto transicional. El Miembro Inferior corresponde a aglomerados y conglomerados arenosos y localmente calcáreos.

El Miembro Superior se compone de areniscas, fangolitas, calizas y conglomerados subordinados (Harambour, 1990). Agrupa a una serie de unidades que habían sido designadas por otros nombres en estudios anteriores al de Harambour (1990): Cauquima, Guaviña, Estratos de Paguanta y Luja por Sayés (1978); Gualchagua y parte de Cerro Empexa por Thomas (1967).

Aflora ampliamente en la parte oriental de la zona de estudio.

Ks1c Cretácico Superior

Secuencias sedimentarias continentales aluviales y lacustres: conglomerados, brechas, areniscas y limolitas rojas con intercalación de tobas riolíticas y lavas andesíticas.

- **Formación Chusmiza** (Harambour, 1990): Agrupa una serie estratos de areniscas, conglomerados y tobas de colores pardos y verdosos que afloran en el sector oriental del área de estudio y que fueron asignados al Jurásico Superior – Cretácico Inferior. Sobreyace en discordancia de erosión y en concordancia transicional al miembro superior de la Formación Quebrada Coscaya, en discordancia de erosión a la Formación Noasa y en discordancia angular a los estratos de Chullucane. En la región de Aroma está cubierta en

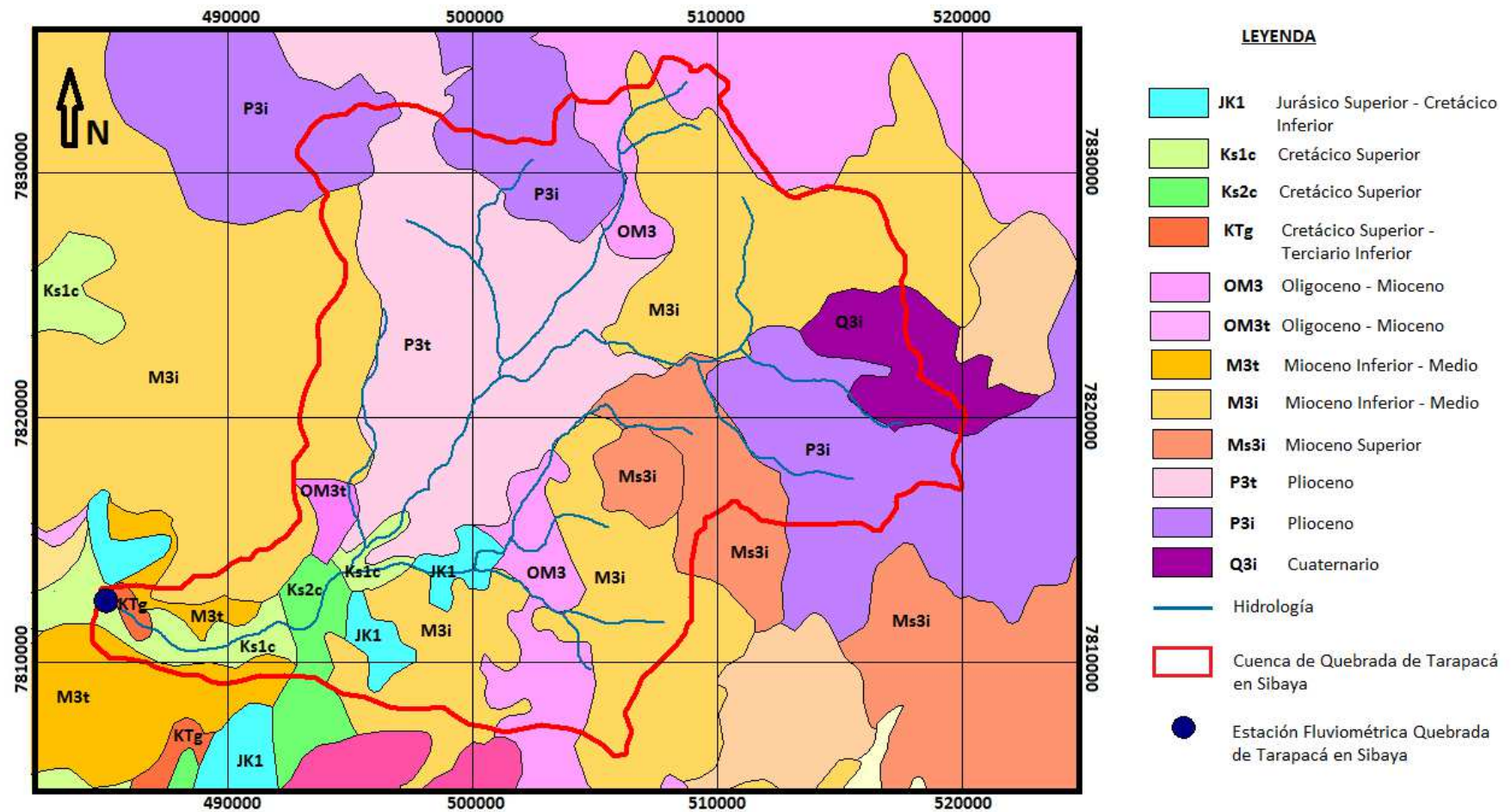


Figura 3-1. Geología de la zona. En rojo se observa la cuenca a estudiar. Figura basada en “Mapa Geológico de Chile: Versión Digital” 1:100000. (Sernageomin, 2003).

discordancia angular por lavas cenozoicas del volcán Tatajachura (Harambour, 1990).

Ks2c Cretácico Superior

Secuencias volcanosedimentarias continentales: rocas epiclásticas y piroclásticas riolíticas, lavas andesíticas y traquíticas.

- **Formación Noasa** (Harambour, 1990): Esta unidad ha sido acotada al Jurásico Inferior. Es el equivalente al Miembro Inferior de la Formación Chacarilla, definida por Thomas (1967): Corresponde a una secuencia de areniscas cuarcíferas medias a gruesas. En la base de la secuencia se intercalan areniscas finas y fangolitas silíceas, y hacia el techo, calizas negras. El espesor expuesto es inferior a 350 m. Aflora en una franja longitudinal en la parte oriental de la zona de estudio. Su base no está expuesta. Subyace concordantemente a la Formación Quebrada Coscaya y en discordancia a la Formación Chusmiza, con la cual también se encuentra en contacto por falla inversa (Harambour, 1990).

b) Secuencias Cenozoicas

Om3 Oligoceno-Mioceno

Secuencias y centros volcánicos intermedios a ácidos: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesíticos a riolíticos.

Om3t Oligoceno-Mioceno

Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso.

M3t Mioceno Inferior-Medio

Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso.

- **Formación Altos de Pica** (Galli, 1957; Galli y Dingman, 1962): Corresponde a una secuencia de sedimentos continentales intercalados por niveles de tobas. La localidad tipo se ubica en los Altos de Pica, una meseta homoclinal de hasta 4.500 m s.n.m, ubicada a los 20°30'S, cuya topografía, aplanada por numerosos flujos de ignimbrita, se distingue dentro del relieve longitudinal de la Precordillera (Fig. 1.1 A).

En dicha localidad, la secuencia fue subdividida en 5 miembros (Galli, 1957; Galli y Dingman, 1962, Victor, 2000; Victor et al, 2004). Comprende unidades sedimentarias, constituidas por materiales clásticos gruesos de piedemonte en ambiente de oxidación, y volcánicas, las que corresponden a rocas piroclásticas riolíticas (tobas soldadas).

- **Miembro 1 (322 m):** se compone de conglomerados pardo amarillento de grano medio, polimíctico; areniscas pardo amarillentas medias a gruesas, con estratificación cruzada; tobas y tufitas.

- Miembro 2 (17 m): corresponde a una toba soldada riolítica, rosado-anarajada o gris oscura, que en sus niveles basales pasa a tobas poco consolidadas.
- Miembro 3 (173 m): areniscas amarillentas medias a gruesas, uniforme, con estatificación cruzada y conglomerados polimícticos.
- Miembro 4 (23 m): toba riolítica rosado-anaranjado gris a blanca y porosa.
- Miembro 5 (200 m): arena gris oscura a gris verdosa, media a fina con estratificación cruzada (Galli y Dingman, 1962).

Esta formación se encuentra en discordancia angular con rocas paleozoicas y mesozoicas. Además se observan discordancias dentro de la secuencia y entre los miembros. Su disposición en la región de Pica es levemente inclinada hacia el oeste y su espesor es variable, aumentando hacia el norte, llegando a los 1000 m de potencia en las cercanías de la zona de estudio.

Se definió como una unidad de probable edad Terciaria Superior a Pleistocena. Antecedentes publicados con posterioridad han permitido asignarle una edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, en base a dataciones de los flujos de ignimbritas intercalados en la secuencia (Baker, 1977; Lahsen, 1982; Naranjo y Paskoff, 1985; Victor et al., 2004), entre las cuales, las más antiguas corresponden a una ignimbrita del Miembro 2 (24,33 + 0,26; Victor et al, 2004) y a una lava riolítica que sobreyace a los depósitos clásticos del Miembro 1 (26 + 0,4; Farías et al., 2005).

Extrapolando la tasa de sedimentación estimada para el Miembro 3 (0,008 mm/año), Victor et al. (2004) le asignó al Miembro 1 una edad máxima de 27 a 29 Ma. Esta edad es coherente con la edad máxima estimada por García (2002) para la Formación Azapa, lo que concuerda a su vez con la edad propuesta por Haschke y Günter (2003) para la inconformidad de la base de las Gravas de Atacama (29 Ma), que sobreyacen al mismo tipo de substrato hacia el sur de la región de Altos de Pica (Victor et al, 2004).

Por otra parte, los miembros 2-4 se correlacionan con la Formación Oxaya (e.g. Naranjo y Paskoff, 1985; Perez, 1972; Victor, 2000; Victor et al, 2004), mostrando el desarrollo de una secuencia con mayor contenido de aportes clásticos que la que se describe hacia el norte.

El techo de esta formación, de acuerdo a las correlaciones planteadas por Farías (2003) y Farías et al. (2005), corresponde al Miembro 4 de la definición de Galli y Dingman (1962), mientras que el Miembro 5 correspondería a la Formación El Diablo. La edad mínima que se ha obtenido para el Miembro 4, es de 16,2 Ma (Victor et al, 2004), que puede correlacionarse con la edad de la Ignimbrita Nama de la Formación Latagualla.

M3i Mioceno Inferior-Medio

Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas.

- **Ignimbrita Huasco:** ignimbritas riolíticas y dacíticas de color gris y rosado. Vitrófiros basales negros.

Ms3i Mioceno Superior

Centros y secuencias volcánicas: lavas, domos y depósitos piroclásticos, andesíticos a dacíticos, con intercalaciones aluviales, asociados a depósitos epitermales de Au-Ag.

P3t Plioceno

Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados que afloran en los sectores topográficamente altos de las cabeceras de la Quebrada de Tarapacá.

Su descripción en muestra de mano indica una toba cristalina de biotita, compuesta por 80% de matriz tamaño ceniza de fina a gruesa; 10% de líticos sub-angulosos grisáceos, desde 1 mm a 2 cm; 12% de cristales compuestos en su mayoría por Biotita (color pardo oscuro a claro, brillo micáceo, tamaño menor a 3 mm) y cuarzo (traslúcido, brillo vítreo, sub-redondeado, tamaño menor a 4 mm)(Figura 4-5).

Su espesor oscila entre 20 y 100 m.

P3i Plioceno

Centros volcánicos: lavas, domos y depósitos piroclásticos andesíticos a dacíticos, conos de piroclastos y lavas basálticas a andesítico-basálticas

Q3i Cuaternario

Estratovolcanes y complejos volcánicos: lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos andesítico-basálticos a dacíticos; principalmente calcoalcalinos; adakíticos al sur de los 47°S.

3.2.2 Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas presentes en la zona de estudio, según las edades K-Ar disponibles y las relaciones de contacto, van desde el Cretácico Superior al Eoceno (Pérez, 1972; Harambour, 1990).

Se componen de dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos de grano grueso que intruyen a la secuencia paleozoica y mesozoica, así como también a rocas intrusivas hipabisales que afloran en las quebradas de Choja, Munujna y Tarapacá.

Estos cuerpos plutónicos tienen geometría tabular y afloran en franjas longitudinales que se desarrollan principalmente hacia el sur de la Quebrada de Tarapacá.

KTg Cretácico Superior-Terciario Inferior

Granodioritas, dioritas y pórfidos graníticos.

3.3 HIDROGEOLOGÍA

A lo largo de Chile nos encontramos con tres provincias Hidrogeológicas: La Provincia Altiplánica; la Provincia Andina Vertiente Pacífico, que se divide en cinco sub-provincias: Norte Grande, Valles Transversales, Zona Centro-Sur, Zona de los Canales y Pampa Magallánica; y la Provincia Cuencas Costeras, dividida en dos sub-provincias: Costeras Arreicas y Costeras Exorreicas.

La zona de estudio se encuentra dentro de la Provincia Altiplánica (Figura 3-2). La potencialidad hidrogeológica en el sector chileno de esta provincia está esencialmente ligada al clima y a la litología de la zona. El hecho de existir precipitaciones (estivales), junto a una cubierta terciario-cuaternaria volcánica con permeabilidad secundaria debida al fracturamiento, permite la infiltración del recurso y su transmisión hacia sectores más bajos. Estos sectores, generalmente provistos de un relleno cuaternario no consolidado, volcanoclástico, de tipo fluvial o aluvial, almacenan el recurso y permiten el acceso a él a través de pozos. Según la información obtenida en tales pozos, el espesor del relleno puede ser de 100 o más metros; la productividad es en general elevada ($> 10 \text{ m}^3/\text{h/m}$) y la calidad del agua por lo general buena [aprox. 500 mg/l TSD], mientras el flujo no alcanza las zonas terminales del escurrimiento, que

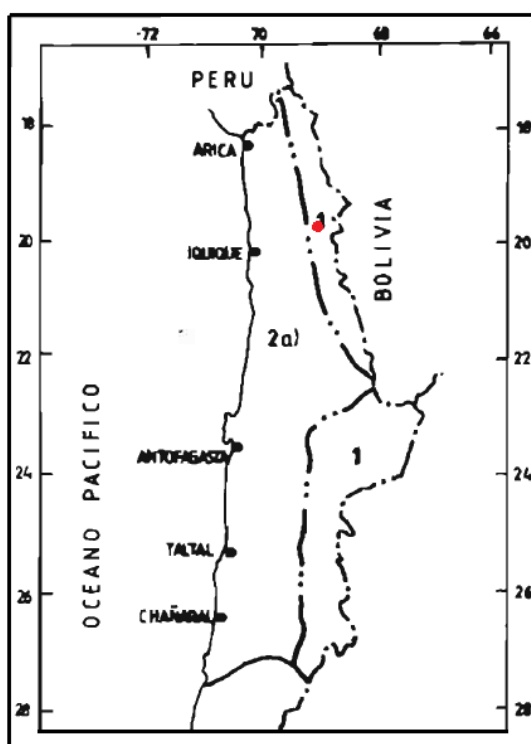


Figura 3-2. Mapa de las provincias y sub-provincias hidrogeológicas de la zona norte de Chile. En rojo se observa la zona de estudio, perteneciente a la Provincia 1: Altiplánica. Imagen tomada del Mapa Hidrogeológico de Chile 1:250000, año 1986.

suelen estar constituidas por salares. Frecuentemente se detecta la presencia de elementos como el arsénico (aparentemente ligado a la actividad volcánica) y el boro, en las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Actualmente existen suposiciones fundadas de que los sistemas de escurrimiento superficiales, estarían interconectados subterráneamente a través del escurrimiento en ciertas rocas volcánicas fracturadas. Se estima que el recurso renovable de estos sistemas cerrados de la provincia altiplánica estaría limitado a las descargas naturales que se producen por evaporación desde los salares. Las necesidades de agua de la escasísima población altiplánica, en general la suple el recurso superficial. Sólo ocasionalmente se destina el agua subterránea al uso doméstico. El principal interés por el recurso subterráneo altiplánico proviene, por un lado, del sector minero y, por otro lado, del sector industrial, que aprovecha los compuestos químicos contenidos en las salmueras de los salares. [Ref.10]

Para más detalles del Mapa Hidrogeológico de Chile, ver Anexo C, Figura C 1 a Figura C 4.

4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Para caracterizar hidrogeológicamente la zona se ha realizado un mapeo geomorfológico mediante el programa Google Earth © 2011. Las unidades hidrogeológicas encontradas en el área se han agrupado según clases o categorías, que van desde Alta a Nula importancia hidrogeológica, de acuerdo a su potencial hidrogeológico (Figura 4-6).

El mapeo entrega un total de 40,82 km² pertenecientes a la Unidad de Alta a moderada importancia hidrogeológica, 128,91 km² pertenecientes a la Unidad de Media a Baja importancia hidrogeológica y 383,66 km² pertenecientes a la Unidad de Baja A Nula importancia hidrogeológica; equivalente a un 7,38%, 23,29% y 69,33% respectivamente de un total de 553,40 km² que posee la cuenca.

4.1 UNIDAD DE ALTA A MODERADA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

Esta unidad se separa en tres tipos de depósitos: fluviales, coluviales y aluviales. A pesar de todos estos depósitos ser permeables, el acuífero se alberga en los depósitos fluviales, siendo los depósitos coluviales y aluviales facilitadores de la infiltración y acceso del agua al acuífero. Es por esto que se separa en el mapeo, los depósitos fluviales del resto, obteniendo estos 8,57 km², correspondientes a un 20,98% de la unidad de alta a moderada importancia hidrogeológica y un 1,55% del total de la cuenca.

La descripción de cada depósito es:

- **Depósitos Fluviales**

Estos sedimentos corresponden al material transportado por los ríos y conforman el relleno en torno al curso de la quebrada de Tarapacá, que posee un escurrimiento permanente. Tienen su origen en las variaciones del caudal superficial, cambios en el curso de las escorrentías y crecidas eventuales.

Litológicamente, está conformada por gravas monomícticas gruesas sin estratificación, en una matriz de arenas y limos. Sus clastos presentan buen redondeamiento, esfericidad regular y están formados por fragmentos de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias. Presenta una baja compactación y cementación. Ocupan el lecho del cauce de la Quebrada Tarapacá y para estimar su espesor, se han realizado ocho perfiles a lo largo de la cuenca (Figura 4-6, Figura 4-7), que entregan como resultado un promedio de 17 m de espesor.

Estos depósitos conforman el principal acuífero del valle de la Quebrada de Tarapacá en la zona de estudio. Esta formación acuífera presenta características freáticas y condiciones granulométricas que presumen conductividades hidráulicas moderadas a altas (Figura 4-1).



Figura 4-1. Vista NE Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos fluviales.

- **Depósitos Aluviales**

Estos depósitos corresponden a una unidad sedimentaria no consolidada producida por acumulaciones generadas por la acción de agua más gravedad. El tipo de depósito aluvial depende del material disponible, la cuenca de drenaje y la capacidad de transporte de granos. Se reconoce en el fondo de las quebradas que tributan a la Quebrada de Tarapacá. Litológicamente consisten en conglomerados gruesos con bolones poco cementados, e intercalaciones de lentes arenosos. Presenta escaso grado de compactación y se presentan parcialmente saturados. Su potencia también es escasa, razón por la cual a tiene una importancia hidrogeológica moderada (Figura 4-2).

- **Depósitos Coluviales**

Corresponden a acumulaciones gravitacionales provenientes de rocas o fragmentos de rocas que se desprenden desde los macizos rocosos en zonas de alta pendiente por efectos gravitatorios y eventualmente por flujos aluviales. Forman escombros de falda, coluvios y algunos conos de deyección.

Litológicamente están formados por clastos de grava gruesa y bloques con escasa matriz de arena media a fina con limos y arcillas. Son en general clasto-soportados, con detritos angulosos de mala esfericidad, y con una mala selección.

Esta unidad es permeable, pese a ello carece de interés hidrogeológico alto y sólo posee un interés hidrogeológico medio, puesto que se encuentra generalmente drenada (seca). Sin embargo, juegan un papel importante en facilitar la infiltración de las aguas lluvia y por lo tanto operan como vías de tránsito sub-superficial del agua hacia los rellenos fluviales y aluviales recientes que se encuentran bajo ellos (Figura 4-3).



Figura 4-2. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos aluviales.



Figura 4-3. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En verde se observan depósitos coluviales

4.2 UNIDAD DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

- **Depósitos piroclásticos parcialmente soldados**

Estos depósitos responden a la unidad P3t definida en el capítulo 3.2. Por lo que consiste en potentes depósitos de ignimbrita riolítica que afloran en los sectores topográficamente altos de las cabeceras de la Quebrada de Tarapacá. Presentan una permeabilidad primaria y en parte secundaria por enfriamiento.

Esta unidad se encuentra conectada vertical y lateralmente con la unidad hidrogeológica desarrollada en los sedimentos fluviales y aluviales, en las nacientes de la quebrada de Tarapacá. En esta zona se reconoce además la presencia de sectores de vegas.

Su espesor oscila entre 20 y 100 m (Figura 4-4 y Figura 4-6).

4.3 UNIDAD DE BAJA A NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

- **Basamento rocoso**

Las unidades de roca, que en general no presentan un interés hidrogeológico mayor, habitualmente conforman el límite inferior y lateral de los acuíferos albergados en los rellenos no consolidados que los sobreyacen. Debido a los eventos tectónicos que la roca ha experimentado, se puede observar fracturamiento de la misma. Esta condición le otorga características hidráulicas de baja importancia, mas no nulas.

Las unidades presentes en el basamento rocoso van desde el Jurásico Superior al Cuaternario y corresponden a rocas estratificadas e intrusivas.

Las rocas estratificadas se definen como secuencias sedimentarias continentales a transicionales donde se encuentran conglomerados, brechas, areniscas, limolitas, areniscas, lutitas y calizas; y secuencias volcánicas y volcanosedimentarias donde se encuentran lavas, brechas, domos, rocas piroclásticas y epiclásticas andesíticas a riolíticas y andesítico basálticas a dacíticas.

Por otro lado las rocas intrusivas se componen de dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos de grano grueso que intruyen a la secuencia paleozoica y mesozoica.

Cabe destacar que este basamento posee casi en su totalidad una cobertura de material no consolidado de espesor variable, que va desde 1 metro aproximadamente en adelante.



Figura 4-4. Vista NW Quebrada de Tarapacá. En amarillo se observan depósitos piroclásticos.



Figura 4-5. Muestra de mano Toba cristalina de biotita.

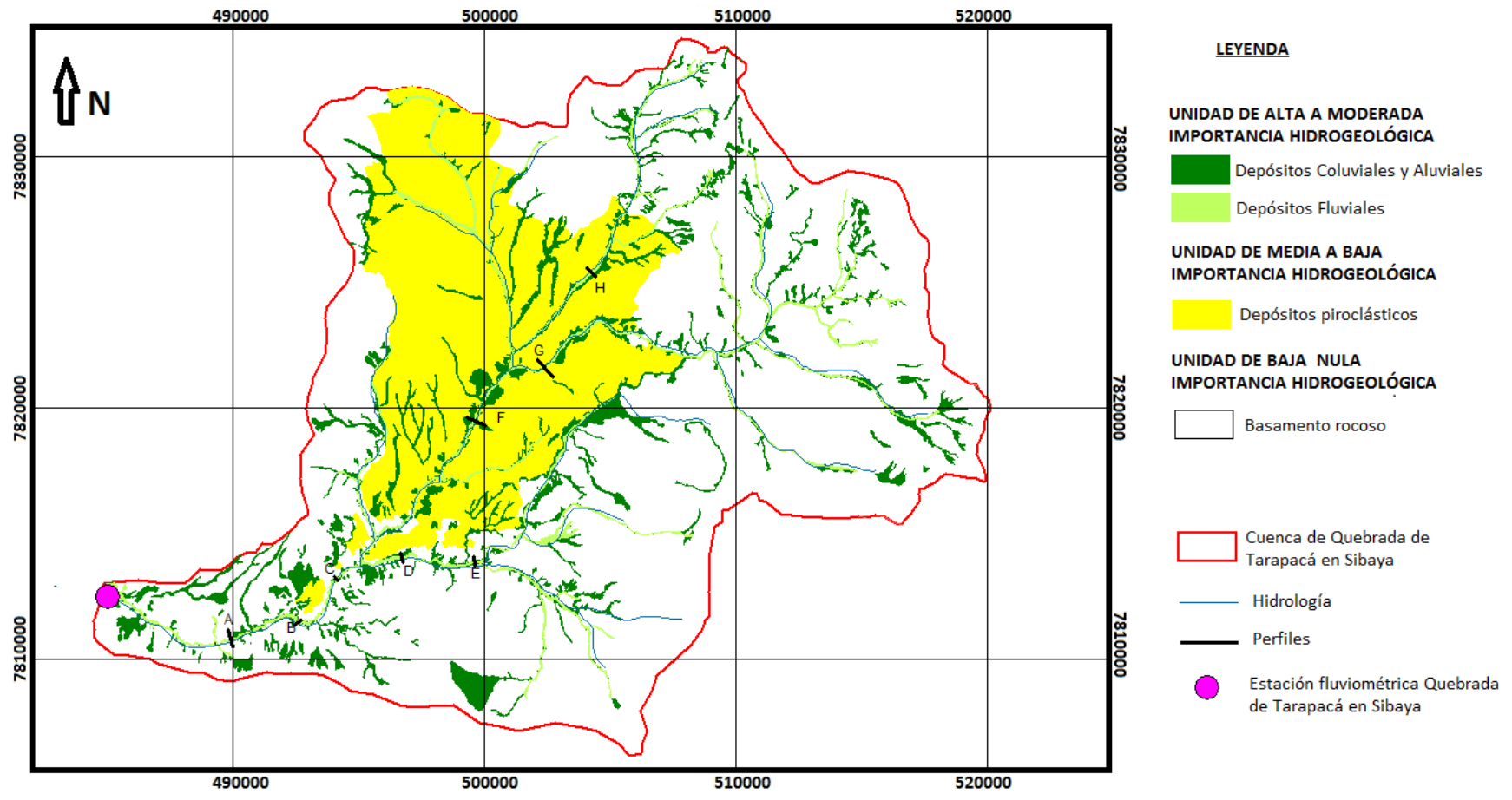


Figura 4-6. Caracterización hidrogeológica de la cuenca En rojo se observa la cuenca en estudio.

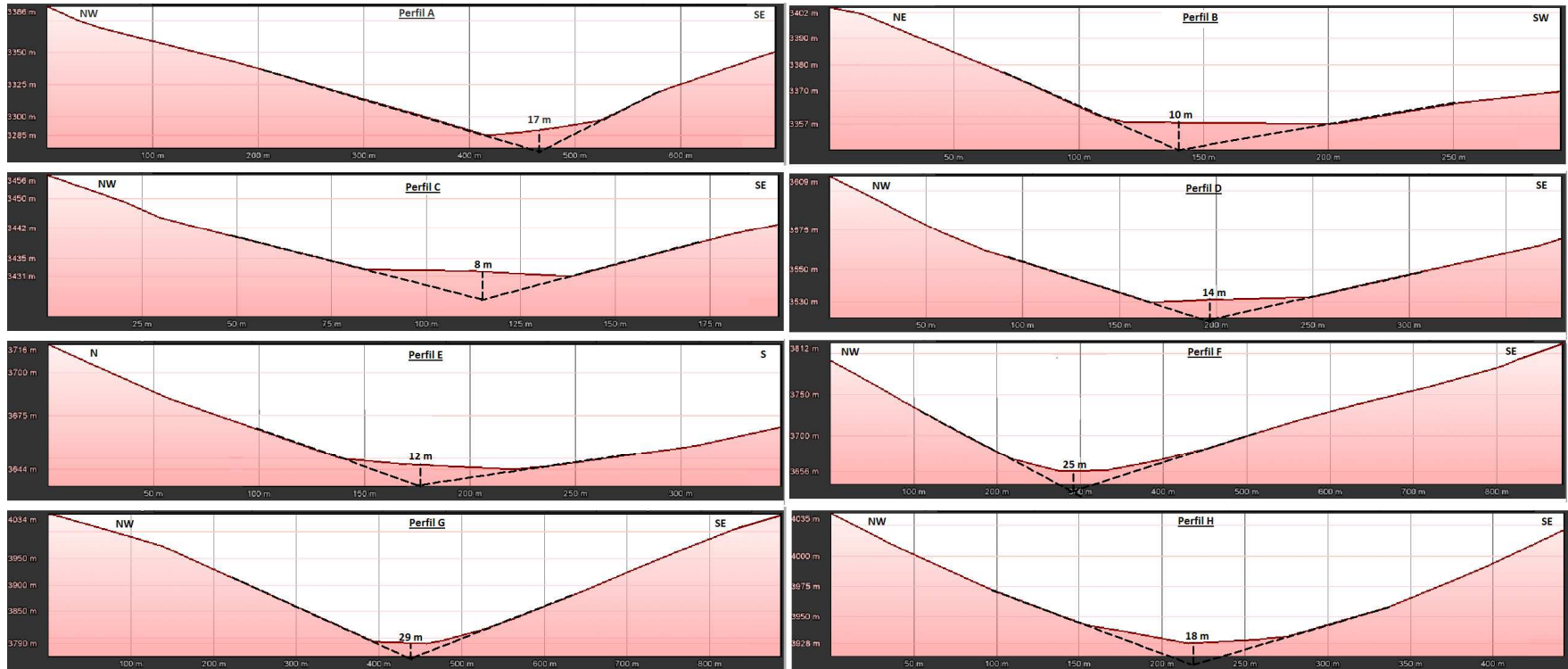


Figura 4-7. Perfiles A a H generados para los depósitos fluviales en la Quebrada de Tarapacá.

5 HIDROLOGÍA

5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

5.1.1 Variables Meteorológicas

a) Precipitaciones

Las precipitaciones en la zona del proyecto se presentan como información proveniente de varias estaciones pluviométricas vigentes, todas ellas controladas por la Dirección General de Aguas.

Estas estaciones, pese a no estar dentro de la cuenca a estudiar, se encuentran lo suficientemente cerca como para asumir un comportamiento correlacionable a la zona en cuestión.

Las estaciones indicadas en la Tabla 5-1 corresponden a una fracción de la totalidad de las estaciones disponibles. Estas han sido seleccionadas, ya que poseen información de intensidad de precipitaciones y un período de registro que permiten realizar inferencia estadística. La ubicación de estas estaciones se presenta en la Figura 5-1.

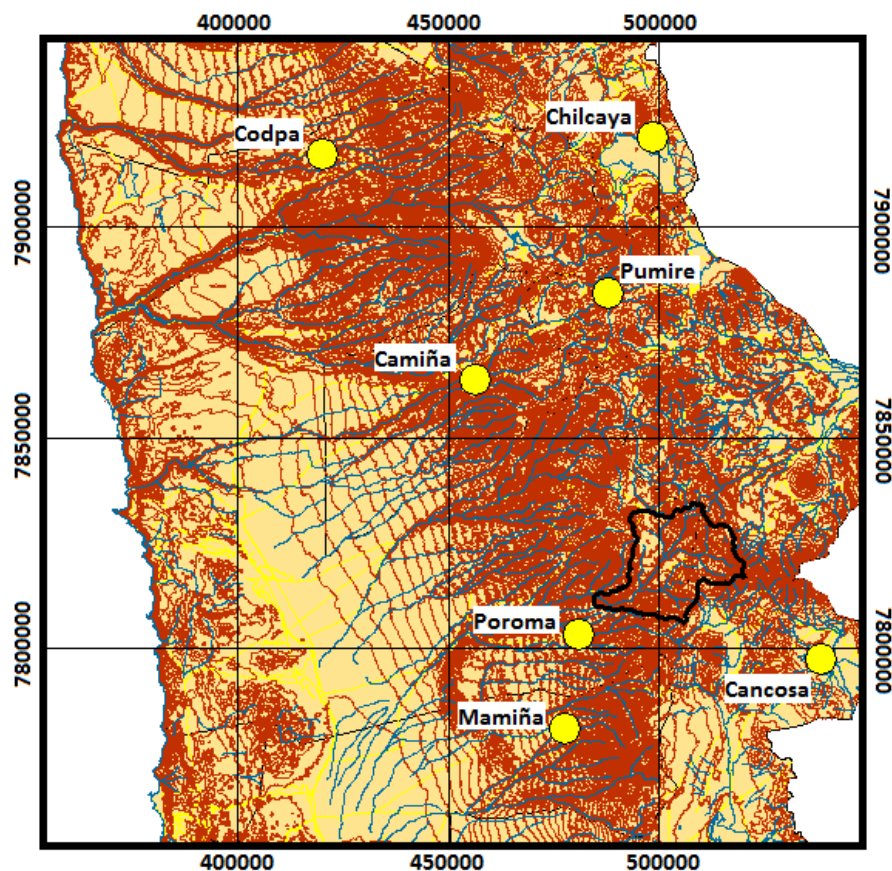


Figura 5-1. Ubicación estaciones pluviométricas. En negro se observa la cuenca a estudiar y en amarillo las estaciones utilizadas. Fuente DGA-BNA

Tabla 5-1. Ubicación y Cota estaciones pluviométricas. Obs: Coordenadas UTM en Datum Psad 1956. Fuente DGA-BNA.

	Cota(msnm)	Coord N (UTM)	Coord E (UTM)
Pumire	4200	7884389	487730
Chilcaya	4190	7921276	498243
Cancosa	3800	7797670	538377
Poroma	2880	7803325	480805
Mamiña	2730	7781098	477344
Camíña	2380	7864054	456227
Codpa	1800	7917420	420079

En el Anexo A, desde la Tabla A 1 a la Tabla A 15, se entregan los valores mensuales, anuales, y máximos en 24, 48 y 72 hrs para cada una de las estaciones.

b) Evaporación

La evaporación en la zona es registrada por estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas, que al igual que las estaciones pluviométricas, no se encuentran dentro de la cuenca, sino que en sus alrededores.

La ubicación de estas estaciones se presenta en la Figura 5-2 y en la Tabla 5-2.

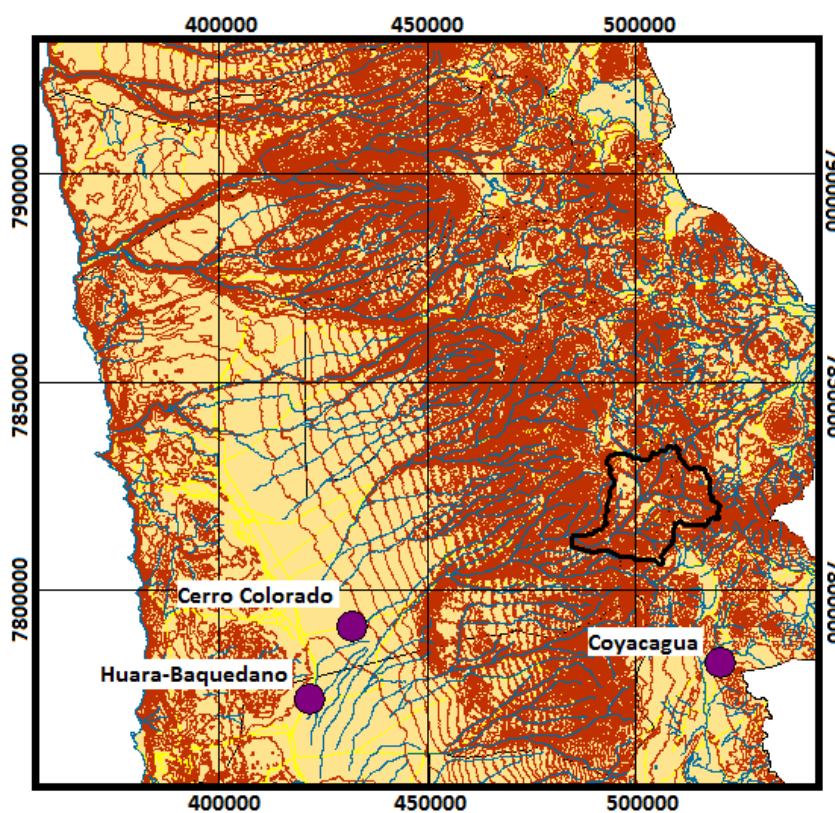


Figura 5-2. Ubicación estaciones meteorológicas Cerro Colorado, Huara-Baquedano y Coyacagua. En negro se observa la cuenca a estudiar y en morado las estaciones meteorológicas utilizadas. Fuente DGA-BNA

Tabla 5-2. Ubicación y Cota estaciones Meteorológicas: Huara-Baquedano, Cerro Colorado y Coyacagua. Obs: Coordenadas UTM en Datum Psad 1956. Fuente DGA-BNA.

	Cota (msnm)	Coord N (UTM)	Coord E (UTM)
Huara-Baquedano	1062	7773836	421635
Cerro Colorado	2525	7791275	431737
Coyacagua	4025	7782608	520130

En el Anexo A, Tabla A 16, se entregan los valores mensuales de evaporación en las estaciones.

c) Temperaturas Medias

Las temperaturas medias son medidas en la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas Coyacagua. Ver Figura 5-2 y Tabla 5-2.

En el Anexo A, Tabla A 17 se entregan los valores medios mensuales medidos en la estación.

d) Velocidad del viento

La velocidad del viento es medida en la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas El Tatio.

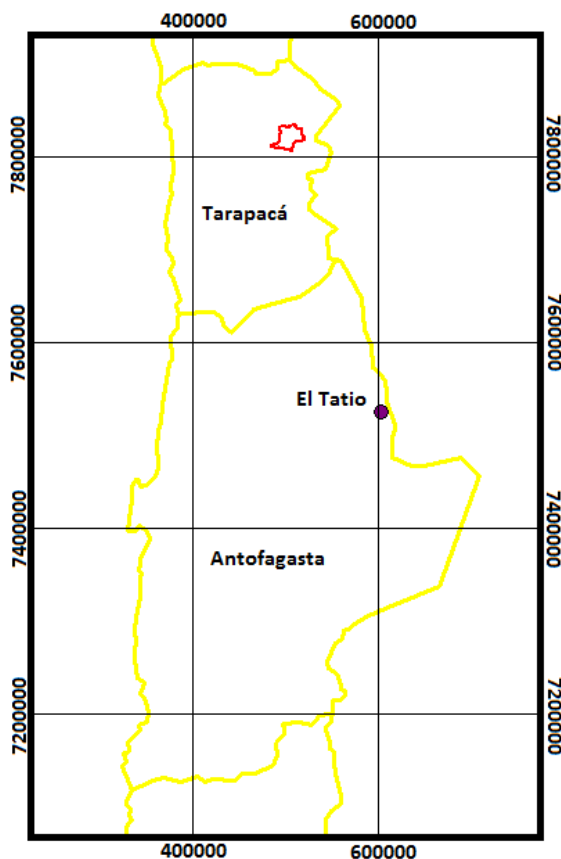


Figura 5-3. Ubicación estación meteorológica El Tatio. En rojo se observa la cuenca a estudiar y en morado la estación meteorológica utilizada. Fuente DGA-BNA

Tabla 5-3. Ubicación y Cota estación Meteorológica El tatio. Obs: Coordenadas UTM en Datum Psad 1956. Fuente DGA-BNA.

	Cota (msnm)	Coord N (UTM)	Coord E (UTM)
El tatio	4370	7525730	601585

Esta estación se encuentra en la 2° región, sin embargo dada la falta de otras estaciones con esta información en lugares más cercanos a la zona de estudio, y la similitud con la altura y el clima en estas dos regiones, la hace ser la más acertada para los propósitos de este estudio.

En el Anexo A, Tabla 18 se entregan los valores medios anuales medidos en la estación. La ubicación de ésta se presenta en la Figura 5-3 siguiente y en la Tabla 5-3.

e) Nubosidad

La nubosidad es medida en la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas El Tatio. Esta es un variable adimensional, donde dependiendo del número de días despejados del mes, se asigna un valor entre 0 y 1.

La ubicación de esta estación se presenta en la Figura 5-3 siguiente y en la Tabla 5-3. En el Anexo A, Tabla A 19 se entregan los valores medios anuales medidos en la estación.

f) Humedad Relativa

La humedad relativa es medida en la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas Coyacagua. Ver Figura 5-2 y Tabla 5-2.

En el Anexo A, Tabla A 20 se entregan los valores medios mensuales medidos en la estación.

g) Horas de luz

Las horas de Luz se calculan de acuerdo a la latitud sur de la cuenca, a partir de la tabla meteorológica tomada de Allen et al (1988) (Anexo A, Tabla A 21).

En este caso se tomo la Latitud 20°S, y se transformo al parámetro necesitado, dividiendo el valor entregado por 12. Ver Anexo A, Tabla A 22.

5.1.2 Variables Fluviométricas

a) Caudales

Los caudales son medidos en la estación fluviométrica que cierra la cuenca, perteneciente a la Dirección General de Aguas denominada Quebrada de Tarapacá en Sibaya. Esta estación presenta medición de caudales desde 1994 a la fecha, no obstante hay meses sin datos y otros recientes que aún no han sido ingresados al Banco Nacional de Aguas, vale decir que no se encuentran disponibles para su consulta.

La ubicación de esta estación se presenta en la Figura 5-4 siguiente y en la Tabla 5-4.

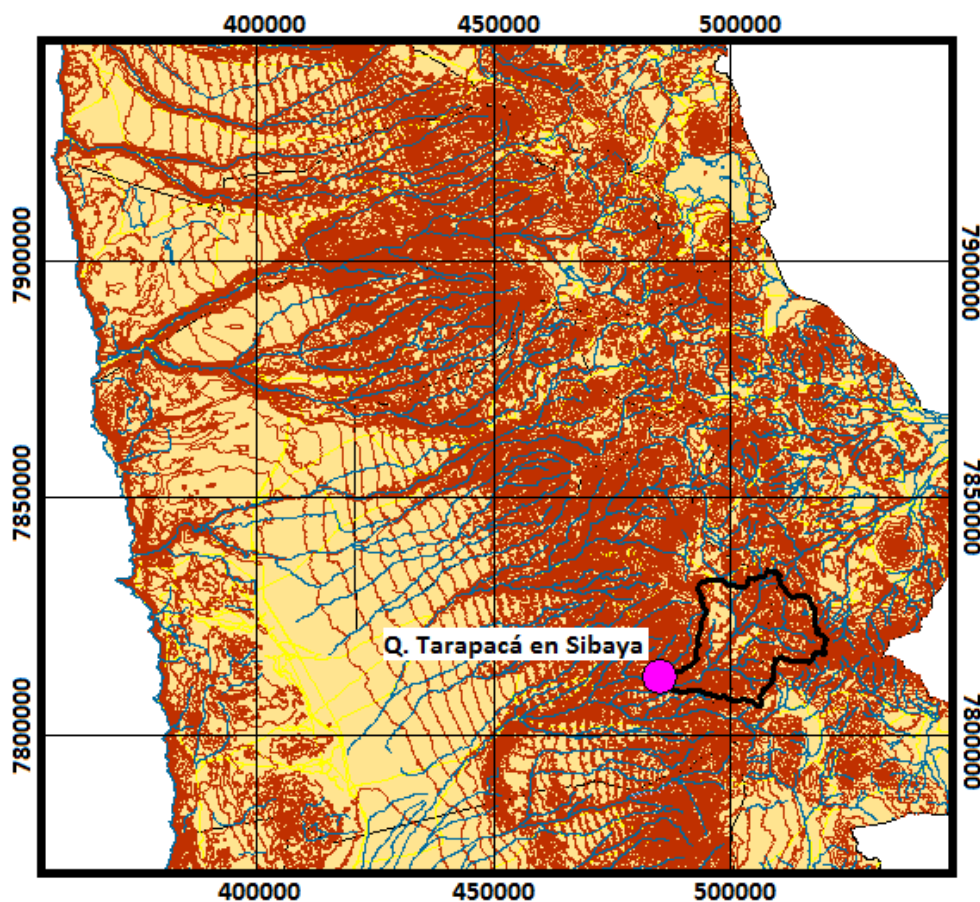


Figura 5-4. Ubicación Estación fluviométrica Q. Tarapacá en Sibaya. En negro se observa la cuenca a estudiar y en rosado la estación fluviométrica utilizada. Fuente DGA-BNA

Tabla 5-4. Ubicación y Cota estación Fluviométrica Q. Tarapacá en Sibaya. Obs: Coordenadas UTM en Datum Psad 1956. Fuente DGA-BNA.

	Cota (msnm)	Coord N (UTM)	Coord E (UTM)
Q. Tarapacá en Sibaya	2830	7812491	484985

En el Anexo A, desde la Tabla A 23 a la Tabla A 25, se entregan los valores medios mensuales e instantáneos máximos mensuales y anuales, de los caudales medidos en la estación.

5.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la estimación de las recargas a la napa subterránea y generación de escorrentía tanto superficial como subterránea, se han utilizado dos métodos relativamente independientes. Uno de ellos es el denominado Método de la Curva Número, que permite evaluar la precipitación efectiva y por ende, el déficit de escorrentía de tormentas individuales conocida la precipitación total de la tormenta y las condiciones de infiltración en la cuenca. El segundo método es un modelo de simulación hidrológica que sintetiza escorrentía y recarga a partir de la serie total de precipitaciones anuales.

Considerando la variabilidad espacial de las variables hidrometeorológicas, especialmente de la precipitación, temperatura y evaporación en función de la altitud,

para ambos análisis, la modelación se efectúa subdividiendo la superficie de la cuenca en bandas hipsométricas, dentro de las cuales se postula homogeneidad de las variables meteorológicas (Figura 5-5)

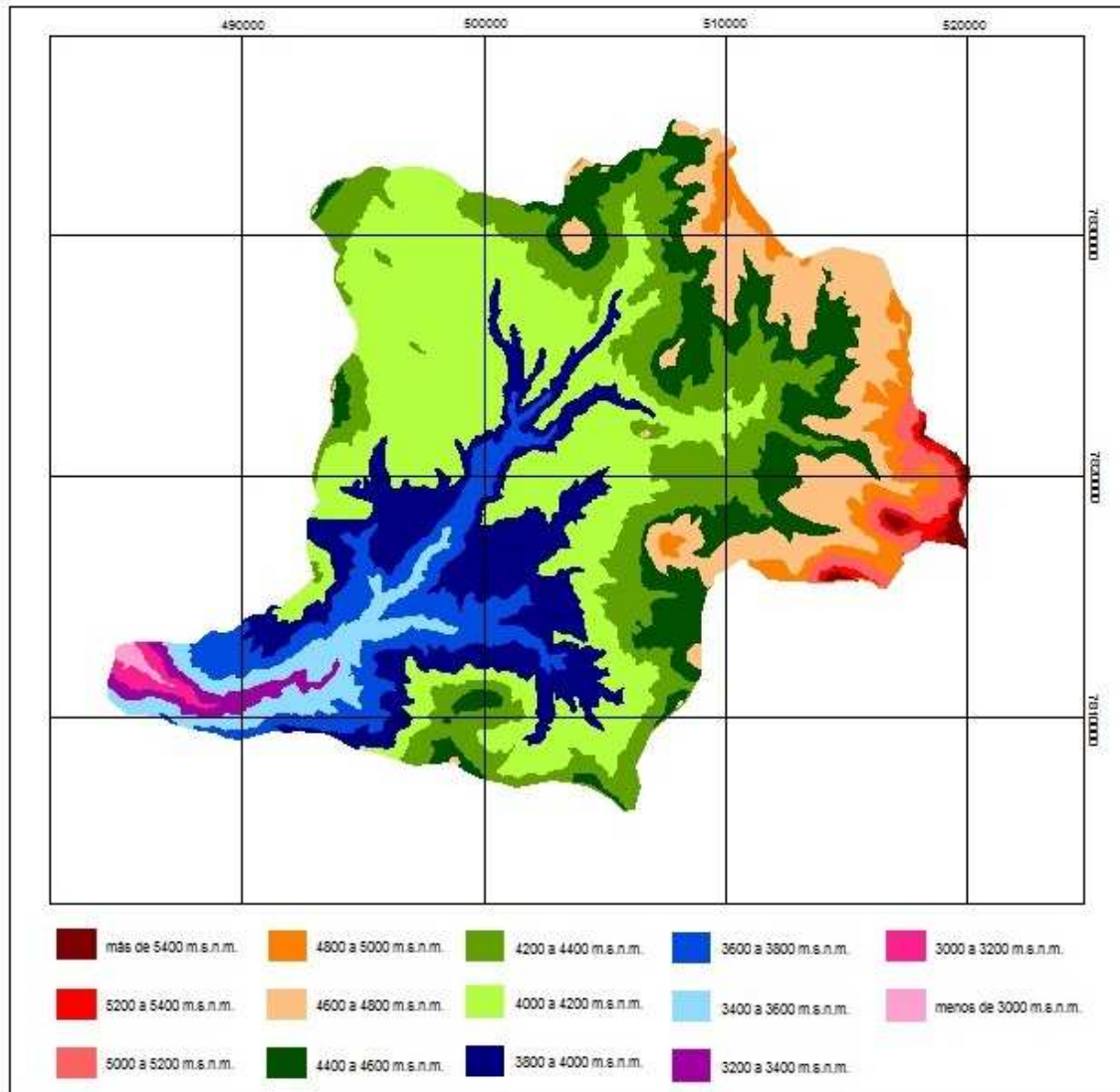


Figura 5-5. Plano de cuenca separada en 14 bandas hipsométricas, cada 200 m cada una.

5.2.1 Método Curva Número

Con el propósito de establecer un criterio para definir las condiciones de infiltración y por ende, de recarga de la napa en las cuencas en estudio, se adoptó el Método de la Curva Número propuesto por el Soil Conservation Service de los EE.UU. Este se caracteriza por ser un método de creciente y exitosa aplicación en Chile.

a) Variables de entrada

Las variables de entrada del modelo se determinan para cada banda hipsométrica, y corresponden a: Precipitación, evaporación y parámetro curva número (CN).

Para este modelo se utilizarán las precipitaciones máximas en 48 hrs con un periodo de retorno de 5 y 10 años por banda. Se toman las precipitaciones máximas en 48 horas dado que en esa cantidad de tiempo se alcanza a medir el evento meteorológico completo. El modelo evalúa con 2 periodos de retorno, para ver con cual de ellos se obtienen resultados más similares a la realidad.

Para obtener este valor primero se ha calculado la precipitación máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años por estación (Tabla 5-5). Para el detalle de cálculo por estación ver Anexo B, Tabla B 1 a B 7, Figura B 1 a B 7. Relacionando linealmente estos valores con la altura de cada estación se obtiene:

$$y = 0,0139x - 16,322 \quad (5-1)$$

donde y es la precipitación máxima en 48 hrs para un determinado periodo de retorno, y x corresponde a la altura (Figura 5-6 y 5-7).

Tabla 5-5. Precipitación Máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años, para cada estación.

	Pp Máx 48 hrs (mm)		Cota(msnm)
	PR 5 años	PR 10 años	
Pumire	44,66	60,12	4200
Chilcaya	42,00	55,00	4190
Cancosa	35,58	44,38	3800
Poroma	23,02	30,70	2880
Mamiña	20,02	27,84	2730
Camiña	15,11	29,99	2380
Codpa	11,77	16,97	1800

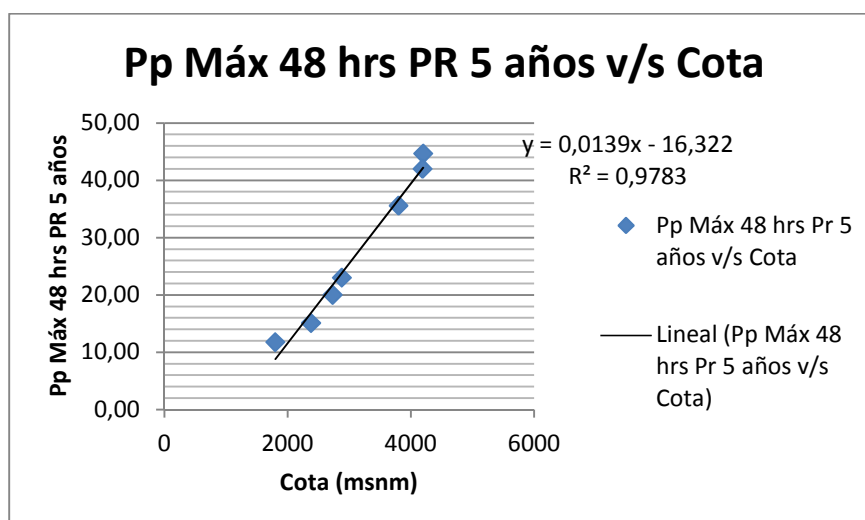


Figura 5-6. Precipitación máxima en 48 hrs con un periodo de retorno de 5 años v/s cota.

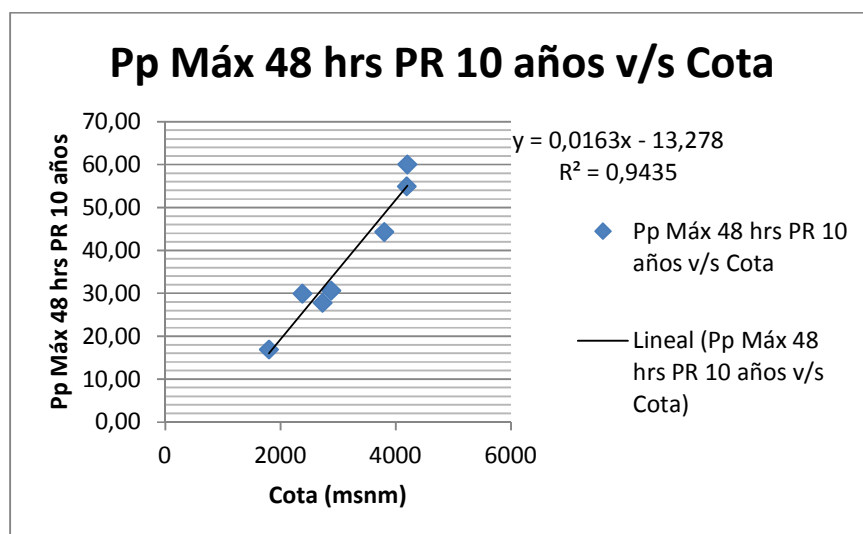


Figura 5-7. Precipitación máxima en 48 hrs con un periodo de retorno de 10 años v/s cota.

A partir de la ecuación 5-1, se obtiene la precipitación máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años por banda hipsométrica (Tabla 5-6).

Tabla 5-6. Precipitación Máxima en 48 hrs para un periodo de retorno de 5 y 10 años, para cada banda.

Banda	Altura	Pp Máx 48 hrs (mm)	
		PR 5 años	PR 10 años
1	2900	23,988	33,992
2	3100	26,768	37,252
3	3300	29,548	40,512
4	3500	32,328	43,772
5	3700	35,108	47,032
6	3900	37,888	50,292
7	4100	40,668	53,552
8	4300	43,448	56,812
9	4500	46,228	60,072
10	4700	49,008	63,332
11	4900	51,788	66,592
12	5100	54,568	69,852
13	5300	57,348	73,112
14	5500	60,128	76,372

La evaporación a utilizar corresponde a un promedio diario de las medidas en los meses de verano (se toman como meses de verano: noviembre a abril), dado que en ellos es cuando ocurren las precipitaciones máximas en 48 hrs.

Considerando que la cuenca en estudio posee una cantidad de vegetación despreciable, el fenómeno de traspiración vegetal, causante principal de las pérdidas evapotranspirativas, se considera para estos efectos nulo. De este modo la evaporación

queda reducida a la evaporación directa desde el suelo húmedo, que sólo cobra relevancia luego de acaecida una precipitación. El proceso actúa sobre el agua retenida en el horizonte o estrato superior del suelo.

Para caracterizar la evaporación de cada banda se emplea la relación logarítmica entre la altura y el índice evaporación determinada con los registros de las estaciones disponibles:

$$y = -4,981 \ln(x) + 52,991 \quad (5-2)$$

donde y corresponde a la evaporación potencial en 48 hrs y x a la altura (m.s.n.m.). Tabla 5-7 y 5-9, Figura 5-8.

La evaporación medida por la DGA corresponde a la evaporación potencial, o sea lo que se evaporaría de una superficie de agua libre, por ejemplo una piscina. Naturalmente, la evaporación desde el suelo es menor, por lo que para tener valores consistentes se emplea un factor de corrección igual a 0,75, utilizado comunmente para este tipo de suelo. Tabla 5-8.

Tabla 5-7. Evaporación media diaria (Potencial) y 48 hrs por estación.

	Cota	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Media diaria	48 hrs
Huara-Baquedano	1062	297,00	255,90	288,20	264,30	303,40	276,50	9,31	18,62
cerro colorado	2525	245,00	251,50	184,70	157,30	167,70	171,40	6,51	13,01
Coyacagua	4025	221,50	219,60	171,30	154,70	179,70	164,00	6,14	12,27

Tabla 5-8. Evaporación 48 hrs meses de verano potencial y corregida.

Banda	Altura	Evap 48 hrs Potencial	Evap 48 hrs Corregida
1	2900	13,28	9,96
2	3100	12,95	9,71
3	3300	12,64	9,48
4	3500	12,34	9,26
5	3700	12,07	9,05
6	3900	11,80	8,85
7	4100	11,56	8,67
8	4300	11,32	8,49
9	4500	11,09	8,32
10	4700	10,88	8,16
11	4900	10,67	8,00
12	5100	10,47	7,85
13	5300	10,28	7,71
14	5500	10,09	7,57

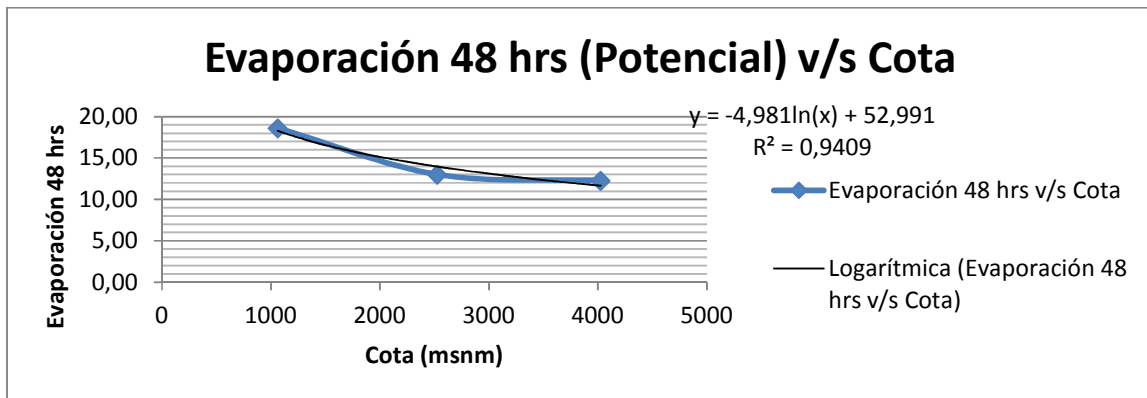


Figura 5-8. Evaporación 48 hrs potencial promedio en verano v/s Cota.

El valor del parámetro Curva Número, se asigna de acuerdo a las características del suelo que recibe la precipitación. El rango de asignación tiene una escala de 0 a 100, donde los extremos representan medios de permeabilidad infinita (0) y nula (100).

Para estimar de la mejor manera posible este valor, se utilizó el mapeo geomorfológico realizado en la Figura 4-1. Se separó por banda el material no consolidado mapeado, perteneciente a la unidad de alta a moderada (A-M) importancia hidrogeológica; y el material piroclástico perteneciente a la unidad de media a baja (M-B) importancia hidrogeológica; y además se midió la pendiente promedio de cada banda. Entre mayor sea la cantidad de material no consolidado presente en la banda más permeable será el terreno, lo que implica que su valor CN será más cercano a 0. Por otro lado, entre mayor sea la pendiente, el agua escurrirá con mayor facilidad, lo que hará más impermeable el terreno y su valor CN será más cercano a 100. Para ejemplos de valores de CN, ver Anexo B, Tabla B 18, B 19, B 20.

Con esto se obtiene el valor CN, resultando lo siguiente:

Tabla 5-9. Valor CN. Estimado a partir del % de material No consolidado y pendiente promedio de cada banda.

	Grados	% pendiente	Área Total sq km	Área A-M		Área M-B sq km	% Área A-M		% Área M-B	CN
				Área Dep Fluviales sq km	Área Dep Coluviales y aluviales sq km		% Área Dep Fluviales	% Área Dep Coluviales y aluviales		
Banda 1	5,79	12,87	1,55	0,32	0,13	0,00	20,36	8,10	0,00	60
Banda 2	12,97	28,82	3,34	0,07	0,60	0,00	2,03	17,84	0,00	65
Banda 3	16,12	35,82	7,28	0,37	0,68	0,00	5,04	9,34	0,00	70
Banda 4	16,55	36,77	19,10	0,63	2,25	1,80	3,30	11,77	9,42	70
Banda 5	12,62	28,03	39,06	0,88	5,55	9,25	2,25	14,20	23,69	65
Banda 6	7,73	17,17	72,40	2,08	6,68	27,08	2,87	9,23	37,40	70
Banda 7	7,36	16,35	157,90	2,18	7,35	83,15	1,38	4,66	52,66	72
Banda 8	8,35	18,55	91,56	1,00	4,01	7,58	1,09	4,38	8,28	75
Banda 9	8,74	19,43	73,65	0,84	2,10	0,00	1,14	2,85	0,00	85
Banda 10	9,26	20,57	55,13	0,20	1,62	0,05	0,36	2,95	0,09	85
Banda 11	14,52	32,26	18,21	0,01	0,96	0,00	0,07	5,25	0,00	90
Banda 12	20,21	44,92	7,80	0,00	0,27	0,00	0,00	3,44	0,00	92
Banda 13	28,63	63,63	4,71	0,00	0,07	0,00	0,00	1,57	0,00	93
Banda 14	28,57	63,48	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95

b) Base conceptual del modelo

El método entrega la escorrentía superficial (E_s) en pulgadas mediante la siguiente expresión:

$$E_s = \begin{cases} \frac{(Pp - 0.2 * S)^2}{(Pp + 0.8 * S)}, & Pp > 0,2 * S \\ 0, & Pp \leq 0,2 * S \end{cases} \quad (5-3)$$

donde las magnitudes de precipitación (Pp) entran en pulgadas, y S es la retención máxima potencial de la cuenca que se relaciona con la el parámetro curva número a través de la relación:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (5-4)$$

Para obtener la infiltración (Inf) y recarga, se siguen la siguientes expresiones:

$$Inf = Pp - E_s \quad (5-5)$$

$$Recarga = Inf - Evap \quad (5-6)$$

donde $Evap$ corresponde a la evaporación en 48 hrs corregida.

Para expresar los valores de escorrentía superficial, infiltración y recarga calculados dentro de un periodo retorno de cinco años ($PR5$) de escorrentía superficial, en unidades de caudal se debe seguir la siguiente relación:

$$l/S \text{ (medio constante)} = \text{área (km}^2\text{)} * mm(PR5) * \frac{1000000}{(5*365*86400)} \quad (5-7)$$

c) Resultados del modelo

En base a la ecuación 5-3 y 5-4, se ha calculado la escorrentía superficial para un período de retorno de 5 y 10 años:

Tabla 5-10. Calculo Escorrentía superficial PR 5 años y PR 10 años, mediante método Curva Número.

Banda	Altura	Pp Máx 48 hrs(mm)		Pp Máx 48 hrs(pulg)		CN	S	S*0,2	Es Máx 48 hrs(pulg)		Es Máx 48 hrs(mm)	
		PR 5	PR 10	PR 5	PR 10				PR 5	PR 10	PR 5	PR 10
1	2900	23,99	33,99	0,94	1,34	60	6,67	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3100	26,77	37,25	1,05	1,47	65	5,38	1,08	0,00	0,03	0,00	0,67
3	3300	29,55	40,51	1,16	1,59	70	4,29	0,86	0,02	0,11	0,52	2,75
4	3500	32,33	43,77	1,27	1,72	70	4,29	0,86	0,04	0,15	0,93	3,70
5	3700	35,11	47,03	1,38	1,85	65	5,38	1,08	0,02	0,10	0,42	2,48
6	3900	37,89	50,29	1,49	1,98	70	4,29	0,86	0,08	0,23	2,08	5,92
7	4100	40,67	53,55	1,60	2,11	72	3,89	0,78	0,14	0,34	3,65	8,62
8	4300	43,45	56,81	1,71	2,24	75	3,33	0,67	0,25	0,50	6,32	12,77
9	4500	46,23	60,07	1,82	2,37	85	1,76	0,35	0,67	1,07	16,92	27,23
10	4700	49,01	63,33	1,93	2,49	85	1,76	0,35	0,74	1,17	18,89	29,80
11	4900	51,79	66,59	2,04	2,62	90	1,11	0,22	1,13	1,64	28,63	41,66
12	5100	54,57	69,85	2,15	2,75	92	0,87	0,17	1,37	1,93	34,82	48,92
13	5300	57,35	73,11	2,26	2,88	93	0,75	0,15	1,55	2,14	39,44	54,30
14	5500	60,13	76,37	2,37	3,01	95	0,53	0,11	1,84	2,46	46,61	62,38
Total=		588,81	772,55	23,18	30,42				7,84	11,86	199,23	301,19

En base a la ecuación 5-5 y 5-6, se ha calculado la infiltración y la recarga:

Tabla 5-11. Calculo Infiltración y Recarga PR 5 años y PR 10 años, mediante método Curva Número.

Banda	Altura	Pp máx 48 hrs (mm)		Es máx 48 hrs (mm)		Infiltración (mm)		Recarga (mm)	
		PR 5	PR 10	PR 5	PR 10	PR 5	PR 10	PR 5	PR 10
1	2900	23,99	33,99	0,00	0,00	23,99	33,99	14,03	24,03
2	3100	26,77	37,25	0,00	0,67	26,77	36,58	17,06	26,87
3	3300	29,55	40,51	0,52	2,75	29,03	37,76	19,55	28,28
4	3500	32,33	43,77	0,93	3,70	31,39	40,07	22,14	30,82
5	3700	35,11	47,03	0,42	2,48	34,69	44,56	25,64	35,51
6	3900	37,89	50,29	2,08	5,92	35,81	44,37	26,96	35,52
7	4100	40,67	53,55	3,65	8,62	37,01	44,94	28,35	36,27
8	4300	43,45	56,81	6,32	12,77	37,12	44,04	28,64	35,55
9	4500	46,23	60,07	16,92	27,23	29,31	32,84	20,99	24,53
10	4700	49,01	63,33	18,89	29,80	30,11	33,53	21,96	25,38
11	4900	51,79	66,59	28,63	41,66	23,16	24,93	15,16	16,93
12	5100	54,57	69,85	34,82	48,92	19,75	20,93	11,90	13,08
13	5300	57,35	73,11	39,44	54,30	17,91	18,81	10,20	11,10
14	5500	60,13	76,37	46,61	62,38	13,52	13,99	5,95	6,42
	Total=	588,81	772,55	199,23	301,19	389,58	471,36	268,52	350,29

Para obtener los valores medios constantes en l/s, se ha utilizado la ecuación 5-7:

Tabla 5-12. Valores en l/s de escorrentía, infiltración y recarga obtenidos con un periodo de retorno de 5 años. Método Curva Número.

Banda	Área sq km	Escorrentía (l/s)	Infiltración (l/s)	Recarga (l/s)
1	1,55	0,00	0,24	0,14
2	3,34	0,00	0,57	0,36
3	7,28	0,02	1,34	0,90
4	19,10	0,11	3,80	2,68
5	39,06	0,10	8,59	6,35
6	72,40	0,95	16,44	12,38
7	157,90	3,66	37,07	28,39
8	91,56	3,67	21,56	16,63
9	73,65	7,90	13,69	9,81
10	55,13	6,61	10,53	7,68
11	18,21	3,31	2,67	1,75
12	7,80	1,72	0,98	0,59
13	4,71	1,18	0,54	0,30
14	2,11	0,62	0,18	0,08
	Total=	29,86	118,19	88,03

Tabla 5-13. Valores en l/s de escorrentía, infiltración y recarga obtenidos con un periodo de retorno de 10 años. Método Curva Número.

Banda	Área sq km	Escorrentía (l/s)	Infiltración (l/s)	Recarga (l/s)
1	1,547	0,00	0,17	0,12
2	3,34	0,01	0,39	0,28
3	7,278	0,06	0,87	0,65
4	19,1	0,22	2,43	1,87
5	39,06	0,31	5,52	4,40
6	72,4	1,36	10,19	8,15
7	157,9	4,31	22,50	18,16
8	91,56	3,71	12,79	10,32
9	73,65	6,36	7,67	5,73
10	55,13	5,21	5,86	4,44
11	18,21	2,41	1,44	0,98
12	7,797	1,21	0,52	0,32
13	4,713	0,81	0,28	0,17
14	2,106	0,42	0,09	0,04
	Total=	26,39	70,71	55,63

Para obtener la escorrentía total se utiliza la expresión:

Escorrentía total = escorrentía superficial + escorrentía subterránea (recarga) (5-8)

Con esto se obtiene:

Escorrentía total_(PR5) = 29,86 l/s + 88,03 l/s = 117,89 l/s

Escorrentía total_(PR10) = 26,39 l/s + 55,63 l/s = 82,02 l/s

5.2.2 Estimación de escorrentía y recargas en base a un modelo de simulación hidrológica (nivo pluvial).

a) Base conceptual del modelo.

El modelo utilizado se basa conceptualmente en un modelo que fuera desarrollado en su versión original por CICA Ing. Consultores, en un estudio para la Comisión Nacional de Riego.

Las variables físicas y meteorológicas, tanto de entrada como internas del modelo se determinan para cada banda, ya sea sobre la base de información cartográfica y meteorológica distribuida, o bien, utilizándose gradientes paramétricos para considerar la variabilidad climática con la altitud.

La escala de tiempo del modelo es mensual, por lo que el derretimiento en cada banda se calcula mes a mes, mediante la aplicación de una función de derretimiento y una modelación del ciclo de escorrentía subsecuente, basada fundamentalmente en la ecuación de balance hídrico.

Los valores correspondientes, obtenidos para cada banda, se ponderan de acuerdo al porcentaje de superficie de cada una de ellas con respecto al total de la cuenca, obteniéndose así finalmente los valores integrados a nivel de cuenca.

Para cada una de las bandas definidas, el modelo opera en base a la aplicación de la ecuación del balance hídrico sobre un área unitaria de la superficie de la cuenca. Para la aplicación de esta ecuación de balance, previamente se define para cada banda dos períodos estacionales : Un período invernal en que la precipitación cae en forma sólida sin provocar escorrentía y en el cual la evapotranspiración potencial corresponde a la evaposublimación desde la superficie de la nieve, y un período estival, en que la precipitación ocurre en forma líquida, escurriendo un porcentaje en forma directa y en la cual la evapotranspiración potencial corresponde a la evaporación desde agua líquida. Durante el período estival las fuentes que satisfacen la evaporación son la precipitación y la humedad del suelo.

La decisión respecto a la ocurrencia de precipitación en forma líquida o en forma sólida la adopta el modelo para cada banda y para cada mes en función de la temperatura media mensual a la cota media de cada banda, por comparación con un índice térmico umbral que se consideró parámetro del modelo.

i) Balance Superficial

Cada banda se comporta en forma mixta, una parte de ella se encuentra con un manto de nieve, la cual acumula o derrite parte de la precipitación y ocurren en ésta los procesos de ablación y de evaposublimación.

Para considerar la variación espacial de la cobertura de nieve en la banda, se supone una distribución de la acumulación de nieve de tipo piramidal o cónica, introduciendo un parámetro HNTOT definido como la altura de nieve media sobre la cuenca, por sobre la cual la cobertura de nieve es total.

Geoméricamente se demuestra que la razón entre el área cubierta de nieve y el área total se puede expresar en términos de las alturas de nieve medias, mediante la relación.

$$COBER = \left(\frac{HN}{HNTOT} \right)^{2/3} \quad \text{para } HN < HNTOT \quad (5-9)$$

$$COBER = 1 \quad \text{para } HN \geq HNTOT \quad (5-10)$$

donde

COBER : es el porcentaje de la banda que se encuentra con nieve
 HN : altura de nieve en la banda
 HNTOT : parámetro del modelo

El manto de nieve se incrementa o reduce de acuerdo a la siguiente expresión:

$$HNF = HNI + PR * COBER - ERN \quad (5-11)$$

donde

$$ERN = \text{MÍN}(EVSB * COBER, HNI + PR * COBER) \quad (5-12)$$

donde ERN es la evaposublimación real ocurrida en la fracción de la banda con manto nival. A su vez, existe un derretimiento que tiende a disminuir el espesor del manto:

$$HNF = HNF - DRT \quad (5-13)$$

$$DRT = \text{MÍN}(HNI + PR * COBER - ERN, DPT) \quad (5-14)$$

donde DRT es el derretimiento real del mes que corresponde al mínimo entre el derretimiento potencial calculado para la banda DPT y la cantidad de nieve disponible $HNI+PR*COBER-ERN$.

El resto de la banda se encuentra sin manto nival, y en ella un porcentaje de la precipitación líquida PR escurre en forma inmediata, de acuerdo a la relación:

$$ESCLLU = CEP * PR * (1 - COBER) \quad \text{Época Estival} \quad (5-15)$$

$$ESCLLU = 0.0 \quad \text{Época Invernal} \quad (5-16)$$

donde el coeficiente CEP es un parámetro del modelo, quedando el resto de la precipitación disponible para infiltrarse en el suelo, calculándose como:

$$HSF = HSI + DRT * (1 - CEN) + (1 - COBER) * PR - ESCLLU \quad (5-17)$$

Limitándose la humedad HSF a una humedad máxima HMAX, sobre la cual la humedad, pasa a recargar el acuífero subterráneo:

$$\text{si } HSF > HMAX \quad HSF = HMAX \text{ y } AS = HSF - HMAX \quad (5-18)$$

$$\text{si } HSF < HMAX \quad HSF = HSF \text{ y } AS = 0.0 \quad (5-19)$$

Finalmente dicha humedad se encuentra disponible para evapotranspiración o evaposublimación dependiendo si la época es estival o invernal respectivamente:

$$ERP = \text{MÍN}(EPS * (1 - COBER), HS) \quad \text{Época estival} \quad (5-20)$$

$$ERP = \text{MÍN}(EVSB * (1 - COBER), HS) \quad \text{Época invernal} \quad (5-21)$$

donde

EPS : es la evaporación potencial.
 EVSB : es la evaposublimación potencial
 HS : es la humedad del suelo.

siendo la escorrentía inmediata del mes en la respectiva banda, la suma de las escorrentías de lluvia y de derretimiento:

$$EI = ES_{CLU} + DRT * CEN \quad (5-22)$$

y la evaporación real en la banda, la suma de la evaposublimación ocurrida en el manto de nieve y la evaporación ocurrida en el terreno sin cubierta de nieve:

$$ER = ERN + ERP \quad (5-23)$$

ii) Cálculo de la Escorrentía Superficial

A fin de considerar el retardo que puede presentar la escorrentía inmediata en manifestarse como escorrentía directa en la sección de salida de la cuenca, el modelo considera la existencia de un elemento de almacenamiento que regula la escorrentía inmediata y que se comporta como un embalse superficial lineal, el cual se recarga con la escorrentía inmediata EI y descarga una escorrentía superficial ES proporcional al volumen almacenado V, de acuerdo a un coeficiente de embalse paramétrico CKS.

Aplicando la ecuación de continuidad, se tiene,

$$EL - ES = dV/dt \quad (5-24)$$

como la descarga ES vale

$$ES = CKS * V \quad (5-25)$$

resulta

$$EL - ES = 1/CKS * dES/dt \quad (5-26)$$

Separando variables e integrando entre 0 y t resulta

$$ES(t) = EL + (ES_0 - EL) * e^{-CKS * t} \quad (5-27)$$

expresión que representa la escorrentía superficial en un instante "t", dada la escorrentía inmediata EI y la escorrentía superficial inicial ES₀.

Integrando entre t=0 y t=1 (1 mes), se obtiene la escorrentía superficial media mensual, que resulta

$$ES = EL + 1/CKS * (ES_0 - EL) * (1 - e^{-CKS}) \quad (5-28)$$

La escorrentía superficial final ES_f e inicial del mes siguiente, vale entonces

$$ES_f = EL + (ES_0 - EL) * e^{-CKS} \quad (5-29)$$

iii) Balance de Aguas Subterráneas

A diferencia de los procesos anteriores que se efectúan para cada una de las bandas, el balance de agua subterránea se efectúa en forma concentrada para toda la cuenca.

Para evaluar la escorrentía subterránea, se supone la existencia de un embalse subterráneo lineal con recarga constante durante el mes e igual a la percolación profunda estimada PERC, y una descarga EZ proporcional al volumen V embalsado en el embalse subterráneo, de acuerdo a un coeficiente paramétrico CK.

El desarrollo matemático es idéntico al del embalse superficial, en consecuencia, la escorrentía subterránea se evalúa mediante la relación

$$EZ = PERC + 1/CK * (QZI - PERC) * (1 - EXP(-1/CK)) \quad (5-30)$$

donde PERC es la percolación profunda total de la cuenca, calculada como la suma ponderada por las respectivas áreas, de la percolación de cada banda, CK es la constante de tiempo del embalse subterráneo lineal, parámetro del modelo, y QZI es el caudal subterráneo inicial, evaluado recursivamente como:

$$QZI = PERC + (QZI - PERC) * (EXP(-1/CK)) \quad (5-31)$$

iv) Escorrentía Total

La escorrentía total de la cuenca se calcula como la suma de la escorrentía subterránea más la suma ponderada de las escorrentías superficiales de cada una de las bandas.

$$ETOT = EZ + \sum_1^{NB} (AREA(J) * ES(J)) \quad (5-32)$$

v) Cálculo del Derretimiento Potencial

Para el cálculo del derretimiento potencial se utiliza una adaptación de la fórmula empírica propuesta por el U.S. Corps of Engineers, 1956.

$$DPF = 3,871 * FKP * HINS * (1 - ALB) + (1 - NUB) * (29,078 * (TA - TN) - 640,08) + NUB * 39,78 * (TC - TN) + 7,16 * FK * V * (0,22 * (TA - TN) + 0,78(TR - TN) + PR * TA/80 \quad (\text{mm/mes}) \quad (5-33)$$

donde:

DPF	:	derretimiento potencial (mm/mes).
FKP	:	factor paramétrico de exposición a la radiación.
HINS	:	radiación solar total (Ly/mes).
ALB	:	albedo de la nieve.
NUB	:	fracción del cielo cubierto de nubes.
TA	:	temperatura del aire (°C).
TN	:	temperatura de la nieve (°C).
TC	:	temperatura de las nubes (°C), supuesta igual a la temperatura de rocío.
FK	:	factor paramétrico de exposición al viento.
V	:	velocidad del viento (km/hr).
TR	:	temperatura de punto de rocío (°C).
PR	:	precipitación (mm).

Con el objeto de lograr un mejor ajuste a los propósitos del modelo, la fórmula empírica del cálculo del derretimiento se generaliza a la forma,

$$DPT = COFDRT * DPF + DRMIN \quad (5-34)$$

donde

- DPT : derretimiento potencial adoptado en el modelo.
 DPF : derretimiento dado por la fórmula (se adopta un valor nulo si resulta negativo).
 COFDRT : parámetro del modelo.
 DRMIN : parámetro del modelo.

Para el cálculo de la radiación solar, se emplea una fórmula empírica, desarrollada en el laboratorio de Nieves de la Universidad de Chile en la Parva, Farellones, basada en información astronómica y datos sobre humedad del aire y nubosidad.

$$HINS = 1211,7 * \cos(Z) * PL * EXP[-\sec(Z_0) * (0,0173 * h + CLOUDK * NUB)] \quad (5-35)$$

donde

- HINS : radiación solar en [ly/mes],
 Z : ángulo cenital medio del sol,
 Z₀ : ángulo cenital al medio día,
 PL : cociente del número de horas de luz respecto a 12 horas,
 h : presión de vapor del aire (Hpa),
 NUB : fracción del cielo cubierta de nubes, y
 CLOUDK : es un coeficiente paramétrico del tipo de nubes.

Para el cálculo del albedo, se emplean curvas de albedo en función de la edad de la nieve y época del año, propuestas por Amorocho y Espíldora.

La temperatura del aire se evalúa adoptando un gradiente térmico paramétrico en la atmósfera a partir de información medida en una estación meteorológica base.

$$TZ = TB - GRT * (Z - ZB) \quad (5-36)$$

donde:

- TZ : temperatura a la cota Z.
 TB : temperatura en la estación base.
 GRT : gradiente térmico de la atmósfera, parámetro del modelo.
 ZB : cota de la estación de medición de la temperatura.

La temperatura de la nieve se supone igual a la del aire para temperatura negativa de ésta y de 0 °C para temperatura positiva del aire.

La temperatura de punto de rocío se evalúa a través de la fórmula de Clausius - Clapeyron en base a información de humedad relativa y temperatura del aire, a partir de las siguientes expresiones:

$$h = e(T)/es(T) * 100 \quad (5-37)$$

$$\ln(es(T)/es(T_0)) = Mv * L/R * \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right) \quad (5-38)$$

donde

- h : Humedad relativa del aire (%)

- e(T) : Presión de vapor del aire (Hpa)
 es(T) : Presión de vapor saturado a una temperatura T (°K)
 es(T₀) : Presión de vapor a una temperatura de referencia T₀ (Punto triple del agua), e igual a 6.11(Hpa)
 Mv : Peso molecular del vapor de agua, 18 gr/mol
 L : Calor latente de vaporización, 590 cal/gr
 R : Constante Universal de los gases, 1.987(cal/mol/°K)

vi) Cálculo del Derretimiento Real para Cobertura de Nieve Parcial en la Banda

El derretimiento dado por la fórmula del Corps of Engineers en unidades de mm/mes corresponde al derretimiento de una superficie unitaria de nieve, por esta razón, debe afectarse por un factor que corresponda a la fracción de la banda que esté efectivamente cubierta por nieve, a fin de hacerlo representativo del derretimiento medio por unidad de área de la banda.

$$\frac{A}{AT} = (HN/HNTOT)^{(2/3)} \quad \text{para } HN < HNTOT \quad (5-39)$$

donde :

- A : área cubierta de nieve.
 AT : área total de la banda.

A partir de esta relación, resulta que el derretimiento medio de la cuenca, cuando la cobertura de nieve no es total (HNI < HNTOT) queda dado por:

$$DPT = HNI - (HNI(1/3) - DP/3 * HNTOT(2/3))^3 \quad (5-40)$$

Lo anterior, sujeto a que el total derretido no resulte mayor que el total de nieve disponible.

vii) Datos de Entrada al Modelo

(1) Requerimientos de Información

La información requerida para operar el modelo corresponde a información astronómica, geográfica, geomorfológica y meteorológica, a saber:

- Latitud media de la cuenca.
- Coeficientes mensuales de horas de luz correspondientes a la latitud media.
- Superficie total de la cuenca (Km²)
- Cota media y porcentaje de área de cada banda.
- Estadísticas a nivel mensual de las siguientes variables meteorológicas:
 - o Precipitación en una o más estaciones bases.
 - o Número de días de lluvia.

- Evapotranspiración potencial.
- Evaposublimación potencial de nieves.
- Temperatura media del aire en una estación base.
- Humedad media mensual del aire.
- Nubosidad media mensual.
- Velocidad media del viento.

Las variables nubosidad, humedad y número de días de lluvia son utilizadas en forma directa en el modelo.

Los factores considerados corresponden al parámetro FK, de corrección por exposición al viento, descrito en la fórmula que evalúa el derretimiento.

Las variables temperatura, precipitación y evapotranspiración se distribuyen en las distintas bandas, de acuerdo a un gradiente térmico paramétrico, en el caso de las temperaturas, dos parámetros correspondientes a los coeficientes de una relación lineal precipitación-altura en el caso de las precipitaciones. Finalmente el modelo posee dos parámetros B y BB que multiplican las estimaciones de evapotranspiración y evaposublimación, impuestas en este caso por el usuario.

(2) Resumen de Parámetros.

En resumen, el modelo cuenta con un mínimo de 15 parámetros, a saber:

1	CEN	Coeficiente de escorrentía de nieve estacional.
2	BB	Coeficiente de evaposublimación de nieve.
3	B	Coeficiente de evapotranspiración potencial.
4	HNTOT	Equivalente en agua medio de la nieve a partir del cual la banda se cubre totalmente de ella (mm).
5	CEP	Coeficiente de escorrentía de lluvia.
6	CKS	Constante de tiempo de embalses superficiales.
7	CK	Constante de tiempo del embalse subterráneo.
8	FKP	Coeficiente de exposición a la radiación.
9	FK	Coeficiente de exposición al viento.
10	GRT	Gradiente térmico de la atmósfera. (°C/Km)
11	CLOUDK	Coeficiente del tipo de nubes.
12	DRMIN	Tasa de derretimiento mínimo o constante de la fórmula de derretimiento. (mm/mes)
13	DRMIN	Tasa de derretimiento mínimo o constante de la fórmula de
14	HMAX	Humedad máxima sobre la cual el exceso percola al embalse subterráneo
15	TU	Temperatura media mensual umbral que distingue entre precipitación líquida y precipitación sólida. (°C).

b) **Calibración del Modelo**

Como datos de entrada al modelo, se ha utilizado lo siguiente:

-Precipitación:	Poroma
-Evaporación:	Coyacagua

-Distribución Mensual Evaporación:	Coyacagua
-Días de Lluvia:	Poroma
-Temperaturas medias:	Coyacagua
-Velocidad del Viento:	El Tatio
-Nubosidad:	El Tatio
-Humedad Relativa:	Coyacagua
-Horas de Luz:	Tabla Meteorológica (Según Latitud)
-Caudales afluentes:	Quebrada de Tarapacá en Sibaya

Para la precipitación y los días de lluvia se escoge de entre las estaciones pluviométricas utilizadas en este estudio, la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas Poroma, por su cercanía con la cuenca estudiada y por tener uno de los registros más largos y continuos durante los años trabajados.

Para la evaporación, distribución mensual de la evaporación, temperaturas medias y humedad relativa, se escoge la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas Coyacagua, por ser la estación más cercana a la cuenca de las utilizadas en este estudio, que entregue estos parámetros.

Para la velocidad del viento y nubosidad se escoge la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas El Tatio, debido a ser la única utilizada en este estudio que entregue estos parámetros.

Las Horas de luz se obtienen mediante la tabla meteorológica de Allen et al (1988) dependiendo de la latitud, en este caso 20° latitud sur.

Para los valores de estas estaciones ver Anexo A Tablas A 2, A 16, A 17, A 18, A 19, A 20, A 21, A 22, A 23.

La calibración del modelo se realiza en torno a la estación de caudales afluentes a utilizar. Esta estación tiene un registro de 16 años, partiendo en 1995, sin embargo, al comparar estos valores con los de las precipitaciones ocurridas en ese periodo, vemos que existen ciertas inconsistencias en los años, 1999, 2000, 2002, 2003, y 2004, en donde la cantidad de precipitación es mucha para tan poco caudal, o viceversa, lo que indica que una de las dos variables posee errores en su medición; dado que es más probable sufrir percances con las estaciones de caudales (por ejemplo ser arrastradas en grandes crecidas), es que se decide confiar en la fidelidad de la medición de precipitaciones, y retirar de los datos de caudales para la calibración, los años antes mencionados.

Los resultados de la calibración se presentan de la Figura 5-9, donde se comparan los caudales medios anuales medidos con los simulados.

Mediante esta calibración se obtienen los parámetros óptimos de calibración, a través de 30 iteraciones realizadas por el programa, al que se le entregan los intervalos entre los que estos parámetros pueden fluctuar.

En la Tabla 5-14 se presentan los parámetros óptimos de calibración.

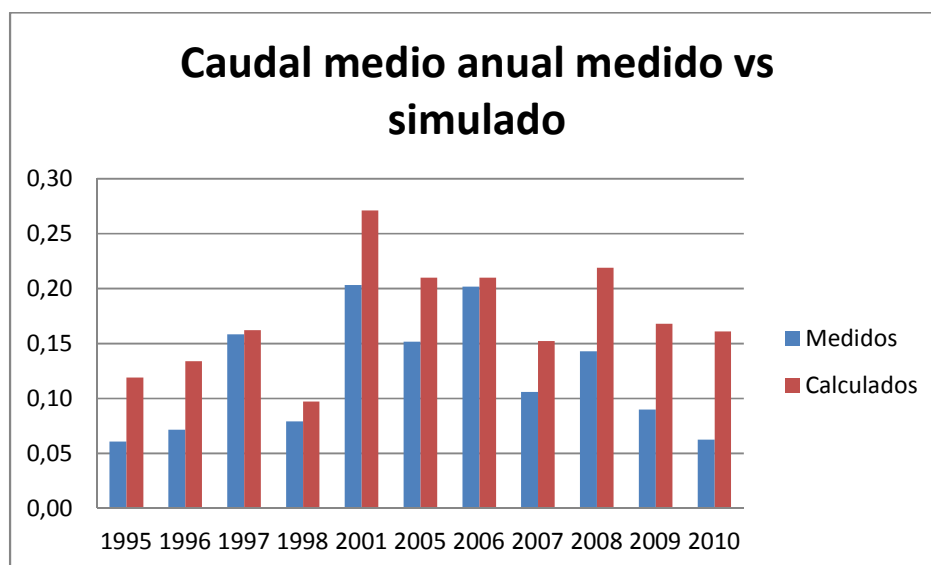


Figura 5-9. Caudal medio anual medido vs simulado.

Tabla 5-14. Parámetros óptimos calibración.

CEN	0,345
BB	0,200
B	0,800
HNTOT	16,840
CEP	0,008
CKS	2,960
CK	200,00
FKP	0,200
FK	1,000
GRT	10,000
CLOUDK	0,500
DRMIN	10,000
COFDRT	0,000
HMAX	115,00
TU	3,000

Además se obtiene:

Tabla 5-15. Valores para el Balance Hídrico generados.

Precipitación Media	(mm)	120867,000
Evaporación Media	(mm)	110998,000
Escorrentía Media Generada	(mm)	9860,000
Caudal Subterráneo Inicial	(mm)	0,509
Caudal Subterráneo Final	(mm)	0,509

Con los que el balance hídrico es aproximadamente 0.

Balance hídrico = Precipitación media – (Evaporación media + Escorrentía media generada) (5-41)

Una vez realizada la calibración, se procede a utilizar estos parámetros con el registro total de años de precipitaciones (33 años), para así tener más años con generación de caudales y obtener un promedio más representativo.

Con esto se obtiene una escorrentía total promedio de 123 l/s, escorrentía subterránea promedio (recarga) de 74 l/s y escorrentía superficial promedio de 49 l/s. Para detalle anual de escorrentía Ver Anexo B Tabla B 15 a Tabla B 17.

5.2.3 Análisis de los datos fluviométricos estación Tarapacá en Sibaya

La serie de caudales medios mensuales se trabajaron con la finalidad de establecer su distribución de frecuencias. El análisis de frecuencia se realizó utilizando el software FrecWIN de la Dirección General de Aguas de Chile.

Éste es una herramienta diseñada para ajustar una distribución de probabilidad teórica a datos independientes. Se realiza el ajuste de las distribuciones Normal, Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gamma, Gamma de 3 parámetros y Gumbel a la serie de datos medida a través de la función de densidad de probabilidad Weibull.

A continuación se presenta la forma matemática de las distribuciones utilizadas en el cálculo de los caudales de crecidas. Los ajustes probabilísticos fueron verificados mediante el test de Chi cuadrado.

Las expresiones que permiten los distintos ajustes de probabilidades utilizados son los siguientes:

a) Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad para la distribución Normal es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (5-42)$$

donde:

x : caudal
μ : media de x
σ : varianza de x

Las hipótesis para que se cumpla la distribución normal de una muestra son las siguientes:

1. La variable es continua;
2. Valores consecutivos son independientes;
3. Las probabilidades son estables.

La predicción para cualquier valor de una distribución normal se puede encontrar a partir de la expresión:

$$y = \mu + K\sigma \quad (5-43)$$

donde K (factor de frecuencia) es la desviación normal estándar.

b) Distribución Log-Normal de 2 parámetros

La función de densidad de probabilidad para la distribución Log-Normal de 2 parámetros es:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (5-44)$$

donde:

- y : logaritmo natural del caudal = ln (x)
- x : caudal
- μ_y : media de y
- σ_y : varianza de y

c) Distribución Log-Normal de 3 parámetros

La función de densidad de probabilidad para la distribución Log-Normal de 3 parámetros es:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (5-45)$$

$$a = \frac{x_1 \cdot x_n - x^{-2}}{x_1 + x_n - 2 \cdot x^{-2}} \quad (5-46)$$

donde:

- y : logaritmo natural del caudal $y = \ln(x-a)$
- x : caudal
- μ_y : media de y
- σ_y : varianza de y
- a : parámetro

d) Distribución Gumbel

La función de densidad de probabilidad para la distribución Gumbel es:

$$f(x) = \exp(\exp(-b)) \quad (5-47)$$

$$b = \frac{x - \mu}{\alpha} \quad (5-48)$$

$$\mu = \bar{x} - 0.5772\alpha \quad (5-49)$$

$$\alpha = \frac{s_x}{1.2825} \quad (5-50)$$

donde:

x : caudal
 μ : media aritmética de la muestra
 S_x : desviación típica de la muestra

e) Distribución Gamma

La distribución Gamma se define a partir de los parámetros de forma (α) y de escala (β). Estos parámetros se pueden estimar mediante la aproximación de Thom (1958), de la siguiente forma.

$$f(x|\alpha, \beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x > 0 \quad (5-51)$$

donde α y β son mayores que cero y x es el caudal.

f) Distribución Gamma de 3 parámetros

La función de densidad de la distribución Gamma de 3 parámetros es:

$$f(x|\alpha, \beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (5-52)$$

donde,

$x_0 \leq x < \beta$ para $\beta > 0$
 $\beta < x \leq x_0$ para $\beta < 0$

α y β son los parámetros de forma y escala, respectivamente, y x_0 es el parámetro de localización.

g) Resultado Análisis

Los datos de entrada, al igual que en el modelo anterior, son los caudales desde 1995, hasta 2010, menos los años, 1999, 2000, 2002, 2003 y 2004, por ser poco confiables.

El caudal medio mensual (m^3/s), según el mejor ajuste para cada mes se observa en la Tabla 5-16 y Figura 5-10.

El detalle de los resultados de la modelación de frecuencias se encuentra en el Anexo B Tabla B 8 a Tabla B 14

Tabla 5-16. Caudal medio mensual según mejor ajuste (m^3/s).

P. EXCED	P. RETOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,1	1000,00	0,89	1,31	0,82	0,34	0,24	0,34	0,27	0,27	0,27	0,32	0,25	0,19
0,2	500,00	0,85	1,19	0,78	0,32	0,23	0,32	0,26	0,26	0,26	0,29	0,24	0,18
0,5	200,00	0,73	1,04	0,66	0,28	0,21	0,28	0,23	0,23	0,24	0,25	0,21	0,16
1	100,00	0,66	0,93	0,59	0,26	0,2	0,25	0,21	0,21	0,23	0,22	0,2	0,15
2	50,00	0,6	0,81	0,52	0,24	0,19	0,23	0,19	0,2	0,21	0,19	0,18	0,14
5	20,00	0,5	0,66	0,42	0,2	0,17	0,19	0,17	0,17	0,19	0,16	0,16	0,13
10	10,00	0,42	0,54	0,34	0,17	0,16	0,16	0,14	0,15	0,17	0,13	0,14	0,11
20	5,00	0,34	0,42	0,26	0,14	0,14	0,13	0,12	0,13	0,15	0,11	0,12	0,1
30	3,33	0,29	0,34	0,21	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,13	0,09	0,1	0,09
40	2,50	0,25	0,28	0,17	0,1	0,11	0,09	0,1	0,1	0,12	0,08	0,09	0,08
50	2,00	0,21	0,23	0,14	0,09	0,1	0,08	0,09	0,09	0,1	0,07	0,08	0,07
60	1,67	0,18	0,18	0,12	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,09	0,06	0,08	0,07
70	1,43	0,15	0,14	0,09	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,08	0,05	0,07	0,06
80	1,25	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05
85	1,18	0,11	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05
90	1,11	0,09	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
95	1,05	0,07	0	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04

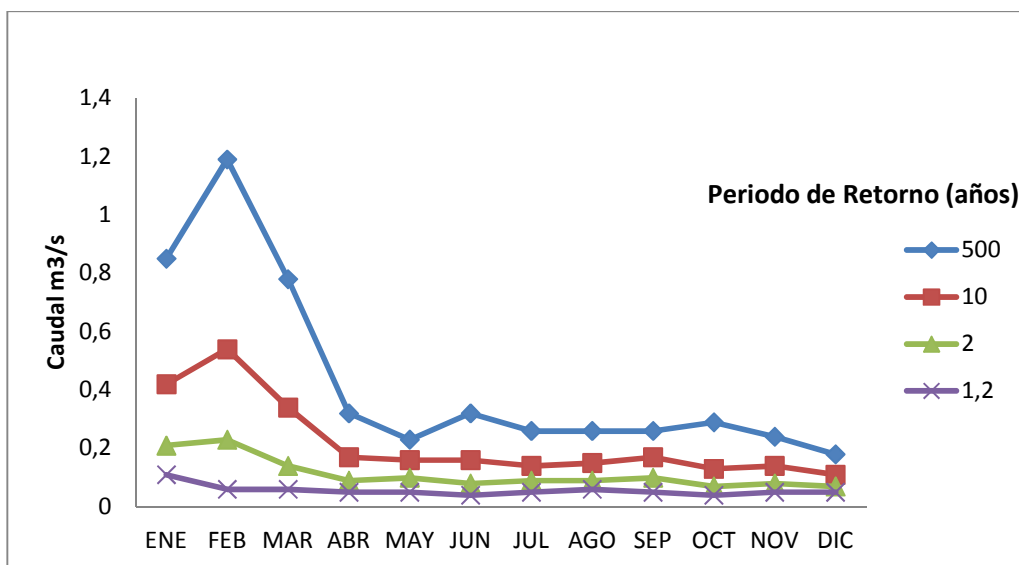


Figura 5-10. Distribución estacional del caudal medio mensual para distintas probabilidades de excedencia.

6 DISCUSIONES

6.1 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores a comparar corresponden al caudal medio anual y la recarga calculada mediante el método Curva Número, un modelo de simulación hidrológica (nivopluvial) y el análisis de los datos fluviométricos de la estación Tarapacá en Sibaya.

6.1.1 Análisis Método Curva Número

El método Curva Número se evaluó para 2 casos: precipitaciones máximas en 48 horas para un periodo de retorno de 5 años y precipitaciones máximas en 48 horas para un periodo de retorno de 10 años, entregando caudales anuales de 117,89 l/s y 82,02 l/s respectivamente. Al comparar estos caudales con el obtenido a través del software Nivopluvial de 123 l/s y con el medido en Sibaya, considerando que la distribución de frecuencias de 50% de Probabilidad de Excedencia representa la media, es del orden de 112,5 l/s, se observa que el que más se acerca es el valor obtenido con un periodo de retorno de 5 años.

Para este tipo de estudio, donde se desea modelar el comportamiento promedio continuo de una cuenca, es lógico que se obtenga un valor más cercano a la realidad con un periodo de retorno menor, dado que se entrega sólo un evento máximo en el periodo, y no se consideran todos los eventos menores que pueden haber ocurrido. Distinto es el caso de querer modelar una represa, donde se sabe que tolera bien las lluvias cotidianas, pero quizás un evento de tormenta extraordinario pueda rebalsarla, en ese caso se debería tomar un periodo de retorno mayor, por ejemplo de 50 años.

Dado esto sólo se analizará el Método de la Curva Número para una precipitación máxima en 48 hrs con un periodo de retorno de 5 años.

6.1.2 Análisis comparación de resultados de los distintos métodos

El método Curva Número entrega un caudal medio anual de 117,89 l/s, menor que el entregado por el software Nivopluvial, que corresponde a 123 l/s. Esta situación parece lógica, ya que en este último, se incorporan al análisis todos los eventos pluviométricos del período, y no solamente la lluvia máxima en 5 años.

Por otra parte, el valor de caudal medio anual medido en Sibaya de 112,5 l/s, sería sustentado por los dos métodos implementados previamente, con discrepancias de 4% (menor que Curva Número) y 9% (menor que Nivopluvial).

El caudal obtenido con la distribución de frecuencias es menor que los simulados. Esta pequeña discrepancia puede deberse a que la serie de datos estudiados es relativamente corta (11 años), que algunos eventos de mayor magnitud que no habrían sido registrados, o bien al hecho de que a pesar que las estaciones de aforo se ubican sobre roca, esta podría no ser totalmente impermeable y parte del agua no estaría aflorando, contrariamente a su objetivo.

Las recargas calculadas corresponden 88,03 l/s para el método de la curva número y 74 l/s para el software Nivopluvial, las cuales son aproximadamente un 70% del

caudal total, o sea sólo un 30% corresponde a escorrentía superficial. Estos porcentajes tienen mucho sentido en zonas áridas, donde para que pueda haber escorrentía superficial, primero se tiene que saturar el suelo de agua, produciéndose una gran recarga.

6.2 DEMANDAS DE AGUA Y BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

La demanda de agua en la zona, ocurre fundamentalmente aguas abajo de donde se ubica la estación fluviométrica de Tarapaca en Sibaya, así se ha entendido que esta estación mide los recursos a repartir entre los regantes a partir de tal ubicación.

Según la información obtenida, aguas abajo existen cuatro zonas de riego, siendo estas las zonas de Huaviña, Mocha, Laonzana y Pachica. Con un universo de 35 canales, 653 usuarios y una superficie regada de 125,64 hectáreas.

A lo anterior se debe agregar que la demanda de consumo humano, para una población del orden de las 1.500 personas, con demanda individual de 100 l/persona por día, entrega un caudal de 1,7 l/s (ecuación 7-1):

$$Caudal (l/s) = N * ln_{día} / (24 * 60 * 60) \quad (7-1)$$

donde N igual al número de personas y $ln_{día}$ corresponde a los litros por persona diarios.

Dadas las técnicas de riego, el ordenamiento en el riego y pese a que no hay ninguna asociación de regantes formalmente registrada, se puede asumir una tasa de riego del orden de 0,7 l/s há, lo que equivale a una demanda de agua de 88 l/s.

La demanda total es 89,7 l/s valor que para estos efectos se aproxima a 90 l/s.

La disponibilidad permanente, corresponde al caudal medio anual con 85% de probabilidad de excedencia menos el caudal ecológico menos la demanda (ecuación 7-2). Mientras que la disponibilidad eventual corresponde al caudal medio anual con 5% de probabilidad de excedencia menos el caudal ecológico menos la demanda (ecuación 7-3). Se utilizara en este caso el caudal medio anual, como el calculado mediante el análisis fluviométrico de la estación Tarapacá en Sibaya.

$$Dp = Q_{85\%PE} - Q_{Ecológico} - demanda \quad (7-2)$$

$$De = Q_{5\%PE} - Q_{Ecológico} - demanda \quad (7-3)$$

donde Dp corresponde a la disponibilidad permanente y De a la disponibilidad eventual.

Según la ley 20017 el Caudal ecológico mínimo no podrá ser superior al 20% del caudal medio anual; así se tomará en este caso, donde:

$$Q_{Ecológico} = 0,2 * caudal medio anual = 0,2 * 112,5 = 22,5 \quad (7-4)$$

Tabla 6-1. Balance hídrico medio mensual Tarapaca en Sibaya (l/s)

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5 % PE	500	660	420	200	170	190	170	170	190	160	160	130
85% PE	110	60	60	50	50	40	50	60	50	40	50	50
Q ecológico	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
Demanda	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Disp. permanente	-2,5	-52,5	-52,5	-62,5	-62,5	-72,5	-62,5	-52,5	-62,5	-72,5	-62,5	-62,5
Disp. Eventual	387,5	547,5	307,5	87,5	57,5	77,5	57,5	57,5	77,5	47,5	47,5	17,5

En rigor, no habría disponibilidad de agua del tipo permanente y continua. En consecuencia, solamente habría recursos superficiales eventuales continuos. Este análisis se ha realizado en acuíferos detríticos, no obstante existe la posibilidad de encontrar agua en roca, debido a que las formaciones rocosas presentes en esta zona se originaron durante el ciclo andino pasando periodos de extensión y compresión, lo cual las fracturas, y convierte en posibles acuíferos rocosos.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio realizado es posible extraer las conclusiones relevantes que se indican a continuación:

1. En este trabajo se modela la recarga promedio de la quebrada de Tarapacá en el sector de Cabeceras. El análisis parte con un estudio geológico de la zona, donde se realiza una caracterización hidrogeológica que permite conocer el tipo de terreno presente y la estimación de la variable curva número, y continúa con el análisis hidrológico.
2. La caracterización hidrogeológica, se basa en un mapeo geomorfológico del material no consolidado de la cuenca. Esta caracterización separa la cuenca en tres clases o categorías, que van desde alta a nula importancia hidrogeológica, de acuerdo a su potencial hidrogeológico. Los depósitos fluviales, aluviales y coluviales presentes se agrupan en la unidad de alta a moderada importancia hidrogeológica. La unidad de media a baja importancia hidrogeológica comprende depósitos piroclásticos parcialmente soldados. Mientras que el basamento rocoso corresponde a la unidad de baja a nula importancia hidrogeológica.
3. La estimación de la recarga y el caudal medio anual se realiza mediante dos métodos: Curva Número y Modelo de simulación hidrológica (Nivo pluvial).
4. El método de la Curva Número toma datos de precipitaciones máximas en 48 hrs para un período determinado de tiempo, en este caso se evaluó con cinco y diez años; y la variable curva número, obtenida mediante la caracterización hidrogeológica.
5. El modelo hidrogeológico Nivopluvial, sintetiza una serie de datos de escorrentía total mensual a partir de diversas variables meteorológicas y parámetros.
6. La calibración de los modelos se realizó a partir de la estación fluviométrica de Quebrada de Tarapacá en Sibaya.
7. La estadística de la estación de Tarapacá en Sibaya es representativa del régimen natural de escurrimiento, ya que no existen extracciones aguas arriba de este punto de aforo. Sin embargo, de su registro de 16 años desde 1995, se han eliminado para la calibración los años: 1999, 2000, 2002, 2003 y 2004, por no responder de forma adecuado a la cantidad de precipitaciones ocurridas en esos años.
8. Las precipitaciones de la cuenca fueron determinadas a partir de relaciones entre este parámetro y la altitud, las cuales se definieron utilizando diversas estaciones pluviométricas localizadas en la 1° región.
9. Una vez obtenido el resultado de caudal medio anual para los distintos periodos de retorno con el método de la curva número, se decide analizar sólo el valor correspondiente al periodo de retorno de 5 años, debido a su similitud con los resultados obtenidos por los otros métodos, y por representar mejor la cantidad de precipitaciones.
10. Los caudales medio anuales obtenidos son de 117,89 l/s para el método de la curva número y 123 l/s para el software Nivopluvial. Ambos valores dan sustento hidrológico a la cuenca, dado que el caudal medio anual medido en la estación fluviométrica de Tarapacá en Sibaya es de 112,5 l/s

11. Las recargas obtenidas son de 88,03 l/s para el método curva número y 74 l/s para el software Nivopluvial, lo cual corresponde a aproximadamente el 70% del caudal medio anual.
12. Dada la demanda de agua en la zona, se resuelve que no hay disponibilidad de recursos de tipo permanente, pero si recursos superficiales eventuales continuos. Sin embargo, este análisis se ha realizado en acuíferos detríticos, no obstante existe la posibilidad de encontrar agua en roca, debido a que las formaciones rocosas presentes en esta zona se originaron durante el ciclo andino pasando periodos de extensión y compresión, lo cual las fracturas, y convierte en posibles acuíferos rocosos.
13. Los antecedentes geológicos aquí utilizados son suficientes sólo para estructurar una caracterización hidrogeología preliminar, ya que se carece de antecedentes tan importantes como estratigrafías de sondajes y pruebas de bombeo para la definición de las constantes elásticas de los medios permeables existentes.

Recomendaciones:

1. Realizar carta geológica con un mayor detalle, ya que actualmente sólo se cuenta con el mapa geológico de Chile escala 1:1000000 (Sernageomin, 1993).
2. Tal como se indicara anteriormente, existe carencia de antecedentes geológicos de subsuperficie e hidrogeológicos en todas las zonas estudiadas, de manera que de forma general es recomendable el levantamiento de perfiles geofísicos complementarios y la construcción de pozos de exploración, que permitan una adecuada calibración de las lecturas geofísicas, para luego proceder a la construcción de sondajes de bombeo que permitan definir las constantes elásticas de los acuíferos existentes.

REFERENCIAS

- [1] Aceituno, P. 1993. "Aspectos generales del clima en el altiplano sudamericano". Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos: El Altiplano: Ciencia y Conciencia en los Andes: 19 al 21 de Octubre de 1993. pp. 63-69.
- [2] Allen et al. "Mean daylight hours (N) for different latitudes for the 15th of the month". [en línea] <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex%20.%20meteorologic%20tables>> [consulta: 10 Enero 2012].
- [3] Apicultura.cl [en línea] <<http://www.apicultura.cl/>> [consulta: 28 Noviembre 2011].
- [4] Cadepe Idepe Consultores Ingeniería. 2004. "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca quebrada de Tarapacá". DGA-MOP.
- [5] Charrier, R., Muñoz, N. 1993. "Geología y tectónica del Altiplano Chileno." Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos: El Altiplano: Ciencia y Conciencia en los Andes: 19 al 21 de Octubre de 1993. pp. 23-29.
- [6] Charrier, R., Pinto, L., y Rodríguez, M.P. 2007. "Tectono-stratigraphic evolution of the andean orogen in Chile". Geología de Chile. Cap. 3.
- [7] Gajardo, R. 1994. "La vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica". CONAF. Editorial Universitaria.
- [8] GCF Ingenieros Ltda. 2010. "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-MOP.
- [9] IGM, Instituto Geográfico Militar. 1984. "Geografía de Chile. Tomo V: Geografía de los Suelos".
- [10] Ministerio de Obras Públicas (Dirección General de Aguas). 1986. "Mapa hidrogeológico de Chile 1:2500000".
- [11] Ministerio de Obras Públicas (Dirección General de Aguas). 1987. "Balance Hídrico de Chile".
- [12] Ministerio de Justicia. "Fija Texto del Código de Aguas". Decreto con Fuerza de Ley 1122. Artículo 129 bis 1. Modificado de acuerdo a Ley N°20017. Art. 1 N°16. D.O. 16.06.2005.
- [13] Oasification "Tablas de número de curvas" [En línea] <<http://www.oasification.com/tablasden.htm>>[consulta: 15 Marzo 2012]

- [14] Rebolledo, S. 2011. "Apuntes de del curso de Geología Aplicada: Clase meteorización". Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- [15] REG Ingenieros Ltda. 1991. "Estudio de Síntesis de Catastro de Usuarios de Agua e Infraestructura de Aprovechamiento". DGA-MOP.
- [16] SIG y Cartografía, Dirección de Vialidad - MOP. "Servicio de Mapas Web". [en línea] <<http://www.mapas.mop.cl/>> [consulta: 27 Febrero 2012].
- [17] 4C Consultores en Ingeniería Civil LTDA. 2000. "Modelación del sistema de recarga: Cuenca salar de Elvira". Proyecto Gaby. II región. Codelco.

ANEXO A: Recopilación de información

Tabla A 1. Precipitaciones Anuales Estaciones Pluviométricas (mm).

	Pumire	Chilcaya	Cancosa	Poroma	Mamiña	Camuña	Codpa
1961							0,00
1962	35,00						0,00
1963	370,30						0,00
1964	230,90						
1965	119,50						0,00
1966	66,50						0,00
1967	234,60						0,00
1968	326,10			43,00			0,00
1969	263,30			59,00			8,60
1970	312,70						4,50
1971	400,50	44,30				12,80	10,50
1972	588,40	237,00		0,00		42,90	35,00
1973	486,50	138,50					27,00
1974	490,40					169,10	38,30
1975	671,10	132,00		65,40		3,00	23,00
1976	529,50	266,50	19,00	51,50		35,00	24,50
1977	530,00	507,20	275,00	8,00		0,00	23,50
1978	154,50	233,60	15,00	18,50		0,00	1,50
1979	186,50	295,00	157,00	0,00		0,00	4,50
1980	26,00	163,00	17,00	0,00		8,00	6,00
1981	78,50	431,00	314,00	32,50		7,00	3,00
1982	62,00	122,50	165,00	1,00		2,00	2,00
1983	4,50	69,00	12,20	28,50		9,00	5,50
1984	234,50	442,50	477,00	102,00		123,90	33,50
1985	57,80	747,40	368,90	24,10		5,80	1,50
1986	83,50	584,00	185,00	34,00	3,00		21,20
1987	125,00	338,00	266,00	44,50	53,00		9,50
1988	27,60		38,70	49,50	0,00	0,00	9,00
1989	0,00		29,00	47,90	19,10	18,10	12,10
1990	44,00			41,00	8,50	122,50	8,00
1991	46,50		159,50	20,00	0,00	9,00	3,00
1992			102,80	24,50	22,70	11,00	5,00
1993			108,00	31,40	39,20	2,50	17,00
1994			149,50	23,00	5,10	0,50	15,00
1995			52,00	19,00	14,00	10,00	6,00
1996			80,60	22,20	34,90	22,00	2,50
1997			59,50	48,10	65,80	62,00	29,50
1998			104,50	15,00	45,10	0,00	6,70
1999		525,10	345,60	59,50	77,30	51,00	21,00
2000		207,90	121,70	28,10	24,10	26,20	52,50
2001		472,60	345,80	102,40	72,60	138,50	30,00
2002		262,60	134,60	37,40	22,60	30,30	25,00
2003		174,60	32,80	2,50	3,00	11,00	17,00
2004		196,30	167,30	33,50	10,20	20,00	45,10
2005		219,30	205,00	76,90	53,30	16,00	2,00
2006		240,70	171,50	81,00	24,50	17,50	9,50
2007		208,50	68,50	35,00	9,50	7,00	11,50
2008		153,50	77,50	79,00	43,00	67,40	23,00
2009		96,90	72,00	28,20	11,00	0,00	1,50
2010		111,10	57,00	22,00	2,70	3,00	3,50
2011		159,80	173,00	127,00	40,60	94,00	46,00
Pp media	226,20	268,29	146,50	39,15	27,10	30,47	13,69

**Tabla A 2. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Poroma.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	18,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	10,50	0,00	0,00	0,00
1984	66,00	27,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	3,00	8,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,10
1986	11,00	15,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	1,50
1987	33,50	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
1988	5,00	0,00	42,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	2,00	0,00	0,00
1989	0,00	36,90	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1990	0,00	27,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00
1991	17,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,50
1993	4,20	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,50	4,70	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
1995	5,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	4,10	4,70	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	12,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1999	0,00	46,70	12,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	19,70	62,40	20,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002	2,10	16,00	0,30	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
2004	5,50	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	30,90	25,50	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	3,50
2006	25,50	55,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	62,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	15,00	11,20	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	12,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	11,05	16,04	5,46	0,07	0,33	0,07	0,63	1,33	0,48	0,13	0,05	1,73

**Tabla A 3. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Cancosa.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1977	52,00	152,00	62,00	1,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	137,00	0,00	18,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	36,00	225,00	35,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	217,00	210,00	39,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00
1985	121,00	167,00	31,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,30	36,60
1986	38,50	29,00	53,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	27,00
1987	145,50	47,50	0,00	0,00	0,00	28,00	22,00	0,00	0,00	22,00	1,00	0,00
1988	4,80	0,00	2,40	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00
1991	65,50	33,50	58,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	55,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00
1994	40,50	25,00	10,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00
1995	10,00	0,00	42,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	19,20	16,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	2,00	0,00	0,00	0,00
1999	36,60	155,30	125,10	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,10
2000	60,70	47,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	201,10	121,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,80
2002	38,70	48,60	31,30	4,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	7,00	24,80	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	61,00	80,80	14,50	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	74,00	114,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00
2006	120,00	36,00	15,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	27,50	19,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	51,50	3,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00
2009	18,00	31,00	13,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	6,00	26,00	2,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Pp media	62,97	61,34	25,47	3,52	0,35	1,15	1,31	1,27	0,08	0,85	2,28	9,67

**Tabla A 4. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Mamiña.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1986	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1987	33,60	0,00	17,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
1988	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1989	0,00	19,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,70
1994	2,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
1995	6,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,90	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	33,80	0,00	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1998	45,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,00	17,10	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	10,80	28,80	33,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002	0,00	9,00	1,00	0,10	0,00	0,00	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	3,50	6,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	10,80	22,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00
2006	6,50	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	5,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	43,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	10,66	6,27	4,92	0,49	0,00	0,00	0,63	1,25	0,85	0,08	0,00	1,29

**Tabla A 5. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Codpa.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1969	8,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1970	2,50	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1971	5,50	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
1972	2,00	32,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
1973	0,50	24,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1974	32,20	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1975	5,00	8,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1976	17,50	3,50	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1977	5,00	18,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1978	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	4,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,50	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
1982	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
1983	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00
1984	29,00	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,00	0,00
1985	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1986	2,80	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40
1987	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	2,50	0,00	3,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
1989	0,00	12,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1990	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
1991	2,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
1993	3,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	10,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1995	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	27,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1998	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50
1999	0,00	18,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	29,50	11,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	3,00	20,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002	0,00	15,50	2,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	2,90	42,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	0,00	1,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	4,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	9,50	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	22,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	5,62	5,99	1,72	0,15	0,02	0,03	0,20	0,40	0,10	0,06	0,02	0,53

**Tabla A 6. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Pumire.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,50	9,50
1963	107,20	130,00	82,20	2,00	0,00	2,00	0,00	0,00	32,20	0,00	0,50	14,20
1964	31,40	65,20	27,40	31,80	0,00	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	66,60
1965	24,50	32,10	15,70	0,00	0,00	0,00	0,50	1,50	38,20	0,00	0,00	7,00
1966	0,00	37,20	3,50	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,70	21,40
1967	26,50	114,00	52,80	6,40	0,00	8,50	1,00	0,00	0,00	0,00	2,40	23,00
1968	127,00	102,50	80,40	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	9,00	0,00
1969	115,30	77,30	36,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	28,50
1970	129,10	98,20	30,70	6,50	28,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	16,20
1971	116,80	173,70	0,00	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	70,50
1972	226,60	155,60	84,80	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	36,00	0,00	0,00	61,40
1973	212,00	165,00	91,00	10,50	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1974	228,10	213,30	0,00	49,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1975	182,60	319,00	129,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,50
1976	65,00	191,00	135,00	16,50	0,00	14,00	0,00	8,00	42,00	0,00	0,00	58,00
1977	3,50	437,50	43,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	1,00	41,00
1979	123,00	8,50	38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00
1980	0,00	6,50	19,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	40,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50
1984	103,50	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	18,00	0,00	0,00
1985	0,00	56,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80
1986	33,60	22,50	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,40
1987	125,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	27,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	81,93	100,60	35,46	6,21	1,60	1,13	1,02	1,72	6,04	1,22	1,92	19,66

**Tabla A 7. Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Camiña.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	2,10	8,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
1974	32,00	53,10	84,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	5,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	63,00	25,00	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	4,50	0,00	0,00
1985	0,20	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
1989	0,00	18,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1990	0,00	115,00	5,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
1991	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1995	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	43,50	11,50	5,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1999	0,00	43,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,00	26,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	25,00	62,00	0,00	51,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002	9,80	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	13,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	4,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	4,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	66,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	10,96	15,85	5,92	2,21	0,00	0,15	0,65	0,69	0,00	0,17	0,00	0,33

**Tabla A 8. . Precipitaciones Mensuales (mm).
Estación Chilcaya.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1972	115,20	61,50	60,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1975	0,00	4,00	92,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00
1976	90,00	76,00	16,50	0,00	2,00	5,00	3,00	9,50	28,00	0,00	0,00	36,50
1977	85,50	269,90	53,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	8,50	10,00	77,30
1978	140,00	12,00	18,50	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,10	16,00
1979	117,00	24,00	62,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,00
1980	21,00	2,00	113,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	0,00	0,00
1981	151,00	137,00	35,00	21,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	4,00	70,00
1982	63,00	28,00	0,00	5,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	10,00	10,00	4,00
1983	5,00	16,00	12,00	5,00	0,00	0,00	0,00	3,00	17,00	0,00	0,00	11,00
1984	117,00	160,00	100,50	2,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	5,00	42,00	0,00
1985	99,50	328,90	167,00	35,00	8,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	103,00
1986	158,00	84,00	149,00	51,00	0,00	0,00	3,00	16,00	0,00	0,00	15,00	108,00
1999	65,00	239,00	193,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,10
2000	148,30	0,00	15,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,60
2001	149,90	142,60	144,10	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002	29,20	117,40	36,00	9,00	0,00	6,00	24,00	0,00	0,00	2,00	15,00	24,00
2003	39,00	20,00	87,50	6,60	8,00	0,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	82,50	65,00	7,90	0,00	0,00	0,00	21,00	6,90	0,00	0,00	0,00	13,00
2005	78,00	91,90	17,40	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00
2006	120,00	35,70	58,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	2,00	20,50
2007	99,50	57,00	37,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	3,00
2008	125,70	3,00	13,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	8,60
2009	4,00	52,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	26,90
2010	44,70	41,90	24,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pp media	85,92	82,77	60,62	9,46	0,72	1,18	2,58	2,06	2,16	2,26	6,16	28,10

Tabla A 9. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Pumire.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1962	10,0	10,0	15,0
1963	27,7	35,4	40,2
1964	18,4	30,9	36,7
1965	19,5	19,5	19,5
1966	10,5	20,1	25,6
1967	19,4	36,1	50,5
1968	24,0	42,0	51,0
1969	24,0	40,0	54,0
1970	27,0	41,7	57,0
1971	24,5	35,0	45,0
1972	29,5	38,5	50,5
1973	33,5	42,5	50,0
1974	48,0	60,4	80,5
1975	41,0	65,5	87,5
1976	28,5	52,5	59,5
1977	46,0	88,0	127,5
1978	15,0	25,0	38,0
1979	16,0	27,0	37,5
1980	4,0	7,5	8,5
1981	8,0	12,0	14,0
1982	19,0	19,0	20,0
1983	4,5	4,5	4,5
1984	25,0	28,0	38,0
1985	10,0	15,0	18,0
1986	16,0	26,0	30,0
1987	15,0	25,0	33,5
1988	12,0	12,0	12,0
1989	0,0	0,0	0,0
1990	10,0	18,0	24,0
1991	10,0	18,5	24,5

Tabla A 10. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Chilcaya.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1971	15,0	15,0	15,0
1972	20,0	25,5	31,0
1973	19,0	29,5	38,0
1975	12,0	22,0	28,0
1976	26,0	32,0	39,0
1977	25,0	42,0	60,0
1978	20,0	31,0	41,0
1979	18,0	35,0	50,0
1980	20,0	35,0	45,0
1981	17,0	25,0	35,0
1982	12,0	15,0	21,0
1983	10,0	17,0	17,0
1984	24,5	44,0	50,0
1985	45,0	79,1	87,1
1986	31,0	35,0	37,0
1987	32,0	55,0	72,0
1999	77,0	87,0	92,0
2000	37,0	42,0	46,8
2001	37,0	42,0	46,8
2002	32,0	33,0	39,5
2003	23,0	36,0	47,0
2004	12,0	22,0	25,0
2005	23,0	36,0	41,0
2006	21,0	34,0	40,5
2007	26,0	34,0	43,0
2008	23,0	36,5	53,5
2009	16,0	19,0	19,0
2010	13,9	20,9	27,9
2011	18,0	29,0	33,3

Tabla A 11. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Cancosa.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1976	18,0	18,0	18,0
1977	22,0	32,0	45,0
1978	11,0	11,0	11,0
1979	29,0	31,0	46,0
1980	17,0	17,0	17,0
1981	29,0	39,0	67,0
1982	23,0	39,0	45,0
1983	4,0	5,0	5,0
1984	32,0	54,0	74,0
1985	31,0	43,0	52,0
1986	22,5	31,0	31,0
1987	30,0	39,0	47,0
1988	25,0	25,0	25,0
1989	25,0	25,0	25,0
1991	22,0	43,0	43,0
1992	20,0	30,0	40,0
1993	17,0	30,0	36,0
1994	20,0	26,0	33,0
1995	10,0	15,0	22,0
1996	13,0	20,0	20,0
1997	12,0	16,0	22,0
1998	15,0	26,0	29,5
1999	19,2	30,4	36,0
2000	18,0	23,0	26,0
2001	22,0	40,5	44,3
2002	12,5	17,5	19,1
2003	11,0	16,8	18,8
2004	17,5	25,7	35,1
2005	30,0	44,0	51,0
2006	23,0	41,0	50,0
2007	10,0	18,0	19,0
2008	8,0	15,0	16,5
2009	5,0	9,0	10,0
2010	15,0	19,0	19,0
2011	22,0	38,0	50,0

Tabla A 12. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Poroma.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1968	15,0	27,0	27,0
1969	35,0	43,0	53,0
1972	0,0	0,0	0,0
1975	35,0	35,0	35,0
1976	9,0	17,0	23,0
1977	6,0	8,0	8,0
1978	7,5	10,5	10,5
1979	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0
1981	12,0	20,0	20,0
1982	1,0	1,0	1,0
1983	11,0	11,0	11,0
1984	16,0	24,0	31,0
1985	5,1	5,1	5,1
1986	5,0	10,0	13,0
1987	8,0	15,0	16,0
1988	21,5	23,5	27,5
1989	9,0	10,0	14,4
1990	16,0	25,0	27,0
1991	9,0	10,0	10,0
1992	12,5	12,5	13,5
1993	13,0	19,0	19,0
1994	17,0	17,5	17,5
1995	8,0	14,0	14,0
1996	12,0	12,8	12,8
1997	16,0	16,0	16,0
1998	5,0	9,0	12,0
1999	23,0	23,0	23,0
2000	12,0	12,4	12,4
2001	24,0	24,4	36,4
2002	19,0	19,0	19,0
2003	1,0	2,0	2,0
2004	16,5	20,5	20,5
2005	11,0	13,5	16,5
2006	16,0	16,0	21,5
2007	9,0	17,0	24,0
2008	14,0	24,0	24,0
2009	8,0	15,0	15,0
2010	5,0	8,0	10,0
2011	25,0	40,0	53,0

Tabla A 13. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Mamiña.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1986	3,0	3,0	3,0
1987	17,9	20,9	26,5
1988	0,0	0,0	0,0
1989	6,7	10,4	13,4
1990	4,5	8,0	8,0
1991	0,0	0,0	0,0
1992	7,5	9,0	11,0
1993	25,0	36,0	36,0
1994	3,0	3,0	3,0
1995	5,0	8,0	8,0
1996	24,9	24,9	24,9
1997	17,0	25,3	32,0
1998	22,0	22,0	22,0
1999	18,0	26,0	26,0
2000	7,0	7,0	7,0
2001	14,5	18,1	19,9
2002	12,5	12,5	12,5
2003	3,0	3,0	3,0
2004	3,2	3,5	3,5
2005	10,0	17,0	17,0
2006	5,0	8,5	10,5
2007	4,0	5,0	5,0
2008	17,0	25,0	25,8
2009	5,0	9,5	9,5
2010	2,6	2,7	2,7
2011	9,3	15,8	22,3

Tabla A 14. Precipitaciones máximas en 24 48 y 72 hrs (mm). Estación Camiña.

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1971	4,0	4,0	6,0
1972	8,5	12,0	13,4
1974	42,1	53,1	53,1
1975	3,0	3,0	3,0
1976	35,0	35,0	35,0
1977	0,0	0,0	0,0
1978	0,0	0,0	0,0
1979	0,0	0,0	0,0
1980	5,0	5,0	8,0
1981	2,0	4,0	4,0
1982	2,0	2,0	2,0
1983	4,0	6,0	6,0
1984	26,0	31,0	31,0
1985	3,0	5,0	5,0
1988	0,0	0,0	0,0
1989	6,7	10,4	13,4
1990	95,5	115,0	115,0
1991	4,0	5,0	5,0
1992	5,5	8,5	10,5
1993	1,5	2,5	2,5
1994	0,5	0,5	0,5
1995	4,0	8,0	10,0
1996	16,0	17,5	17,5
1997	18,5	24,0	29,4
1998	0,0	0,0	0,0
1999	15,0	15,0	22,0
2000	7,0	10,0	10,0
2001	10,0	15,0	19,5
2002	15,0	17,0	17,0
2003	5,0	8,0	11,0
2004	7,0	13,0	13,0
2005	5,0	5,0	7,0
2006	4,0	7,0	10,0
2007	4,0	4,0	4,0
2008	9,0	16,5	25,0
2009	0,0	0,0	0,0
2010	2,0	2,0	2,0
2011	18,5	35,5	49,0

**Tabla A 15. Precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 hrs (mm).
Estación Codpa.**

Año	Máx 24 hrs	Máx 48 hrs	Máx 72 hrs
1961	0,0	0,0	0,0
1962	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	0,0	0,0
1965	0,0	0,0	0,0
1966	0,0	0,0	0,0
1967	0,0	0,0	0,0
1968	0,0	0,0	0,0
1969	8,0	8,0	8,0
1970	2,0	2,5	2,5
1971	3,0	5,0	5,0
1972	11,5	14,5	18,0
1973	9,0	11,0	18,5
1974	11,8	11,8	12,0
1975	8,0	8,0	8,5
1976	5,5	9,0	11,0
1977	7,5	10,0	11,5
1978	1,0	1,0	1,0
1979	2,5	2,5	2,5
1980	3,5	6,0	6,0
1981	1,0	1,0	1,0
1982	1,5	1,5	1,5
1983	2,0	2,5	2,5
1984	12,5	23,0	23,0
1985	0,5	0,5	0,5
1986	8,0	13,0	16,0
1987	6,1	6,5	7,1
1988	3,0	3,0	3,0
1989	4,0	7,6	8,6
1990	3,0	3,0	3,0
1991	1,5	2,0	2,0
1992	3,5	3,5	3,5
1993	8,5	13,0	13,0
1994	4,5	7,5	8,5
1995	4,0	5,5	6,0
1996	2,5	2,5	2,5
1997	15,1	16,3	16,3
1998	5,0	6,5	6,5
1999	5,0	5,0	5,5
2000	10,5	11,0	13,5
2001	9,5	14,0	14,0
2002	11,5	12,0	12,0
2003	7,6	14,4	17,0
2004	27,5	35,0	39,0
2005	1,5	1,5	1,5
2006	4,0	4,5	4,5
2007	8,0	9,5	9,5
2008	6,0	11,5	13,0
2009	1,0	1,0	1,0
2010	2,0	3,5	3,5
2011	10,0	15,0	23,0

Tabla A 16. Datos de evaporación en estaciones de la zona (mm/mes).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Huara-Baquedano	288,2	264,3	303,4	276,5	246,6	234,3	238,9	221,9	243,0	282,6	297,0	255,9	3152,6
Cerro Colorado	184,7	157,3	167,7	171,4	172,6	169,2	179,4	216,9	227,7	253,2	245,0	251,5	2396,6
Coyacagua	171,3	154,7	179,7	164,0	128,2	119,1	130,1	128,6	151,4	210,2	221,5	219,6	1978,4
Total	644,2	576,3	650,8	611,9	547,4	522,6	548,4	567,4	622,1	746,0	763,5	727,0	7527,6
Evap Media	214,7	192,1	216,9	203,9	182,4	174,2	182,8	189,1	207,3	248,6	254,5	242,3	2509,2
Distribución Mensual	0,086	0,077	0,086	0,081	0,073	0,069	0,073	0,075	0,083	0,099	0,101	0,097	1,00

**Tabla A 17. Temperaturas medias mensuales (°C).
Estación Coyacagua.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom anual
1996	6,86	9,10	6,54	5,90	2,27	0,64	0,22	1,39	2,86	4,36	6,29	7,29	4,48
1997	9,36	8,49	6,57	5,18	2,77	0,43	2,31	2,69	5,42	4,25	6,50	7,24	5,10
1998	11,17	9,03	8,02	4,63	3,16	1,87	1,21	1,32	1,97	3,93	5,32	7,36	4,92
1999	6,84	9,38	8,25	5,56	2,97	0,42	0,79	1,58	1,80	4,50	2,86	6,77	4,31
2000	9,61	8,93	8,13	5,35	3,75	0,82	-0,53	1,06	2,83	4,58	3,78	6,58	4,57
2001	8,16	9,50	8,17	6,17	2,42	1,07	-0,57	2,11	2,76	4,54	6,22	6,10	4,72
2002	7,32	9,07	8,24	5,14	3,41	0,65	-0,03	1,55	2,61	4,87	5,60	5,92	4,53
2003	8,03	8,33	7,86	4,45	2,86	0,02	-0,73	-0,86	1,71	2,32	3,30	4,96	3,52
2004	7,57	6,49	4,69	2,47	-3,01	-3,51	-0,24	-0,53	0,32	-0,56	0,39	3,34	1,45
2005	5,91	5,40	4,70	3,49	2,07	1,78	1,77	2,73	2,31	3,32	5,23	8,77	3,96
2006	8,22	8,99	8,98	6,95	3,68	2,46	2,63	2,77	4,36	6,02	8,17	6,43	5,81
2007	9,23	8,80	9,40	7,12	3,34	3,88	2,23	3,89	4,69	6,52	6,65	8,02	6,15
2008	10,08	8,37	8,41	4,57	2,44	2,23	2,88	1,96	3,36	5,63	6,81	8,38	5,43
2009	8,33	9,01	8,04	6,74	4,12	1,97	1,90	2,62	2,85	6,93	10,81	9,40	6,06
2010	9,80	10,81	9,96	7,24	4,26	4,01	1,33	3,88	5,04	4,29	5,34	8,92	6,24
2011	8,43	8,73	8,45	6,16	4,33	1,25	1,65	2,48	2,99	4,37	5,55	7,03	5,12
PROMEDIO	8,43	8,65	7,78	5,45	2,80	1,25	1,05	1,92	2,99	4,37	5,55	7,03	4,77

**Tabla A 18. Velocidad de Viento media anual (km/hr).
Estación El Tatio**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Prom anual	3,9	4,6	3,8	2,9	3,1	3	3,1	3,9	4,2	4,3	4	4,4

**Tabla A 19. Variable adimensional de nubosidad media anual.
Estación El Tatio.**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Prom anual	0,26	0,28	0,26	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,11	0,14	0,22

**Tabla A 20. Humedad relativa media mensual (%).
Estación Coyacagua**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom Anual
1986	51,00	50,00	49,00	36,00	30,00	22,00	20,00	20,00	20,00	22,00	31,00	44,00	32,92
1987	57,00	45,00	52,00	34,00	37,00	38,00	46,00	35,00	27,00	27,00	26,00	33,00	38,08
1988	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1989	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1990	45,00	42,00	38,00	34,00	38,00	40,00	20,00	23,00	22,00	17,00	23,00	44,00	32,17
1991	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1992	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1993	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1994	36,00	42,00	30,00	18,00	22,00	19,00	16,00	14,00	12,00	12,00	13,00	46,00	23,33
1995	49,00	28,00	51,00	22,00	20,00	20,00	20,00	28,00	39,00	32,00	34,00	36,00	31,58
1996	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
1997	54,00	50,00	40,00	26,00	21,00	26,00	17,00	25,00	41,00	35,00	35,00	41,00	34,25
1998	53,00	50,00	32,00	28,00	32,00	24,00	25,00	35,00	26,00	14,00	30,00	23,00	31,00
1999	30,00	58,00	60,00	40,00	23,00	21,00	32,00	16,00	13,00	33,00	28,00	35,00	32,42
2000	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
2001	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
2002	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97
PROMEDIO	46,88	45,63	44,00	29,75	27,88	26,25	24,50	24,50	25,00	24,00	27,50	37,75	31,97

Tabla A 21. Horas de Luz en un día, dependiendo de la Latitud. Tabla tomada de Allen et al (1988).

HEMISFERIO NORTE												Latitud	HEMISFERIO SUR											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Grados	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
2,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	18,4	14,3
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	1,8	11,8	12,8	13,7	14,1
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	1,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
																								...

...

10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,4	13,8
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,9	12,2	11,3	10,6	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

Tabla A 22. Valores y Parámetros a utilizar para 20° latitud sur de horas de Luz diarias.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Valor Tabla	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13	13,2
Parámetro a utilizar	1,09	1,06	1,01	0,96	0,93	0,90	0,91	0,94	0,99	1,04	1,08	1,10

Tabla A 23. Caudales medios mensuales en estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom Anual
1995	0,18	0,03	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,09	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
1996	0,09	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,11	0,05	0,05	0,06	0,07
1997	0,21	0,44	0,52	0,18	0,1	0,07	0,06	0,08	0,08	0,05	0,06	0,05	0,16
1998	0,39		0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08
1999	0,06					0,1	0,12	0,08	0,08	0,06	0,03	0,06	0,07
2000	0,9	1,03	0,58	0,2	0,19	0,2	0,15	0,13	0,11	0,06	0,04	0,04	0,30
2001	0,54							0,05	0,19	0,13	0,15	0,16	0,83
2002	0,13	0,26	0,35	0,27	0,26	0,25	0,23	0,18	0,19	0,14	0,14	0,14	0,21
2003	0,22	0,25	0,24	0,15	0,16	0,13	0,14	0,13	0,17	0,11	0,09	0,2	0,17
2004		0,89	0,34	0,2	0,11	0,13	0,14	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,22
2005	0,23	0,35	0,24	0,12	0,12	0,14	0,14	0,11	0,12	0,09	0,08	0,08	0,15
2006	0,37	0,75	0,18	0,15	0,16	0,17	0,13	0,13	0,12	0,09	0,09	0,08	0,20
2007	0,11	0,13	0,12	0,14	0,16	0,11	0,09	0,1	0,08	0,07	0,1	0,06	0,11
2008	0,17	0,14	0,15	0,07	0,08		0,16	0,2	0,19	0,17	0,16	0,08	0,14
2009	0,09												0,09
2010							0,08	0,07	0,06	0,04			0,06
PROMEDIO	0,26	0,74	0,24	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,19
DESV.	0,23	1,25	0,18	0,07	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	
COEF.VAR.	0,86	1,68	0,74	0,53	0,5	0,57	0,46	0,4	0,44	0,49	0,48	0,55	
COEF.ASIM	1,96	3,06	0,81	0,19	0,64	0,51	0,36	0,63	0,27	0,72	0,4	1,33	
N.CEROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla A 24. Caudales instantáneos máximos mensuales en Estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	0,38	0,07	0,23	0,16	0,13	0,04	0,06	0,12	0,06	0,07	0,07	0,08
1996	0,20	0,16	0,09	0,14	0,09	0,16	0,13	0,25	0,31	0,06	0,09	0,13
1997	0,94	5,97	9,92	0,34	0,14	0,12	0,09	0,06	0,25	0,08	0,15	0,15
1998	11,53		0,10	0,14	0,06	0,06	0,07	0,08	0,12	0,09	0,08	0,06
1999	0,77					0,17	0,24	0,14	0,10	0,10	0,05	0,14
2000	9,82	9,52	3,76	0,36	0,34	0,54	0,35	0,24	0,26	0,11	0,06	0,07
2001	3,28	26,27						0,21	0,26	0,16	0,19	0,25
2002	0,15	0,84	0,94	0,29	0,30	0,33	0,45	0,25	0,27	0,17	0,25	0,18
2003	0,34	0,31	3,49	0,20	0,23	0,16	0,18	0,18	0,22	0,23	0,20	0,25
2004		47,82	0,87	0,35	0,23	0,16	0,19	0,19	0,15	0,13	0,13	0,13
2005	3,00	8,58	0,48	0,18	0,16	0,24	0,20	0,13	0,18	0,14	0,13	0,12
2006	17,35	8,16	4,14	5,97	0,25	0,22	0,25	0,17	0,16	0,11	0,17	0,14
2007	1,03	0,34	0,27	0,19	0,22	0,15	0,15	0,15	0,11	0,12	0,20	0,09
2008	1,10	0,21	0,23	0,12	0,12	0,19		0,23	0,21	0,17	0,17	0,10
2009	0,11											
2010						0,12		0,15	0,11	0,09		

Tabla A 25. Caudales instantáneos máximos anuales en Estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

Año	m3/s
1995	0,38
1996	0,31
1997	9,92
1998	11,53
1999	0,77
2000	9,82
2001	26,27
2002	0,94
2003	3,49
2004	47,82
2005	8,58
2006	17,35
2007	1,03
2008	1,10
2009	0,11
2010	0,15

ANEXO B: Análisis hidrológico

Tabla B 1. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Pumire.

Año	Máx 48 hrs	N° orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1962	10,0	1	88,0	0,03	31,00
1963	35,4	2	65,5	0,06	15,50
1964	30,9	3	60,4	0,10	10,33
1965	19,5	4	52,5	0,13	7,75
1966	20,1	5	42,5	0,16	6,20
1967	36,1	6	42,0	0,19	5,17
1968	42,0	7	41,7	0,23	4,43
1969	40,0	8	40,0	0,26	3,88
1970	41,7	9	38,5	0,29	3,44
1971	35,0	10	36,1	0,32	3,10
1972	38,5	11	35,4	0,35	2,82
1973	42,5	12	35,0	0,39	2,58
1974	60,4	13	30,9	0,42	2,38
1975	65,5	14	28,0	0,45	2,21
1976	52,5	15	27,0	0,48	2,07
1977	88,0	16	26,0	0,52	1,94
1978	25,0	17	25,0	0,55	1,82
1979	27,0	18	25,0	0,58	1,72
1980	7,5	19	20,1	0,61	1,63
1981	12,0	20	19,5	0,65	1,55
1982	19,0	21	19,0	0,68	1,48
1983	4,5	22	18,5	0,71	1,41
1984	28,0	23	18,0	0,74	1,35
1985	15,0	24	15,0	0,77	1,29
1986	26,0	25	12,0	0,81	1,24
1987	25,0	26	12,0	0,84	1,19
1988	12,0	27	10,0	0,87	1,15
1989	0,0	28	7,5	0,90	1,11
1990	18,0	29	4,5	0,94	1,07
1991	18,5	30	0,0	0,97	1,03

Tabla B 2. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Chilcaya.

Año	Máx 48 hrs	N° orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1971	15,0	1	87,0	0,03	30,00
1972	25,5	2	79,1	0,07	15,00
1973	29,5	3	55,0	0,10	10,00
1975	22,0	4	44,0	0,13	7,50
1976	32,0	5	42,0	0,17	6,00
1977	42,0	6	42,0	0,20	5,00
1978	31,0	7	42,0	0,23	4,29
1979	35,0	8	36,5	0,27	3,75
1980	35,0	9	36,0	0,30	3,33
1981	25,0	10	36,0	0,33	3,00
1982	15,0	11	35,0	0,37	2,73
1983	17,0	12	35,0	0,40	2,50
1984	44,0	13	35,0	0,43	2,31
1985	79,1	14	34,0	0,47	2,14
1986	35,0	15	34,0	0,50	2,00
1987	55,0	16	33,0	0,53	1,88
1999	87,0	17	32,0	0,57	1,76
2000	42,0	18	31,0	0,60	1,67
2001	42,0	19	29,5	0,63	1,58
2002	33,0	20	29,0	0,67	1,50
2003	36,0	21	25,5	0,70	1,43
2004	22,0	22	25,0	0,73	1,36
2005	36,0	23	22,0	0,77	1,30
2006	34,0	24	22,0	0,80	1,25
2007	34,0	25	20,9	0,83	1,20
2008	36,5	26	19,0	0,87	1,15
2009	19,0	27	17,0	0,90	1,11
2010	20,9	28	15,0	0,93	1,07
2011	29,0	29	15,0	0,97	1,03

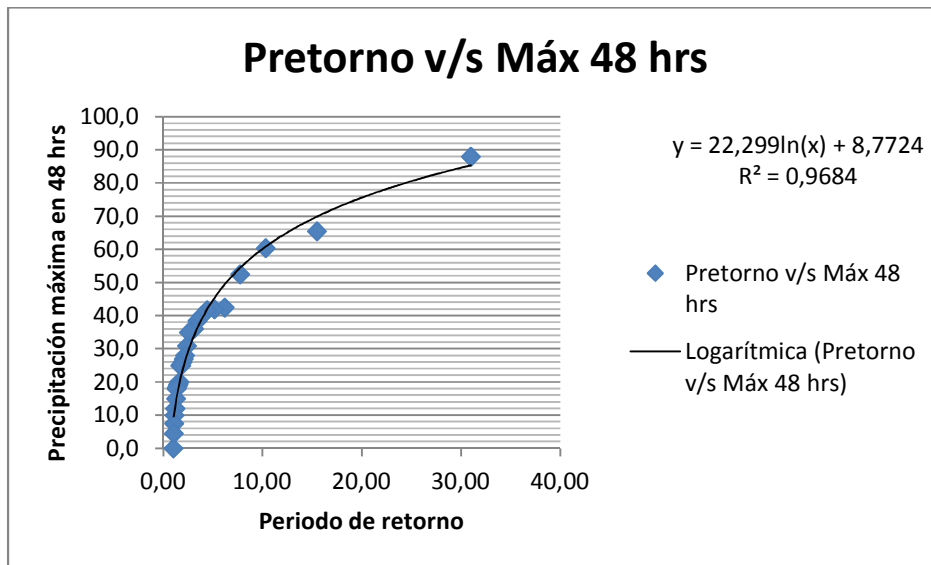


Figura B 1. Periodo de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Pumire.

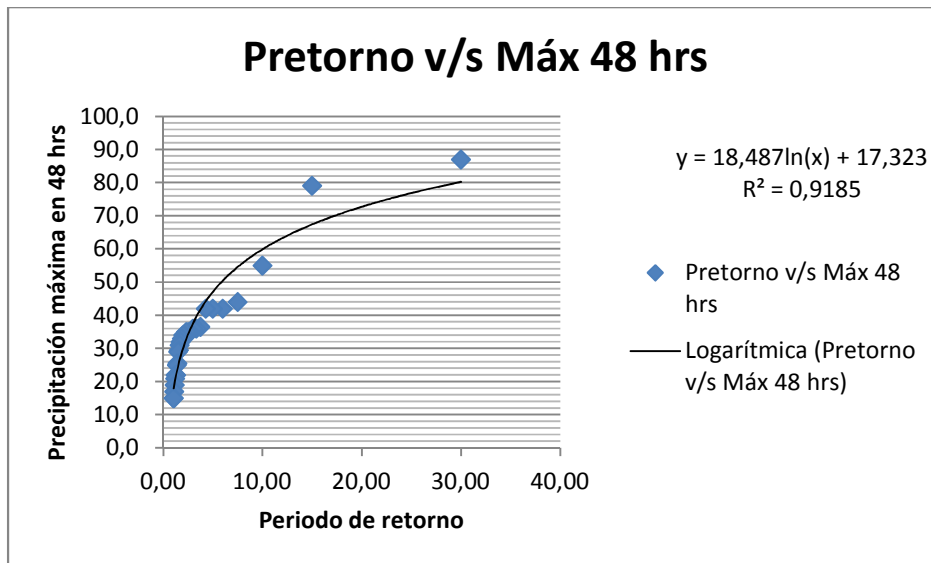


Figura B 2. Periodo de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Chilcaya.

Tabla B 3. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Cancosa.

Año	Máx 48 hrs	N° orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1976	18,0	1	54,0	0,03	36,00
1977	32,0	2	44,0	0,06	18,00
1978	11,0	3	43,0	0,08	12,00
1979	31,0	4	43,0	0,11	9,00
1980	17,0	5	41,0	0,14	7,20
1981	39,0	6	40,5	0,17	6,00
1982	39,0	7	39,0	0,19	5,14
1983	5,0	8	39,0	0,22	4,50
1984	54,0	9	39,0	0,25	4,00
1985	43,0	10	38,0	0,28	3,60
1986	31,0	11	32,0	0,31	3,27
1987	39,0	12	31,0	0,33	3,00
1988	25,0	13	31,0	0,36	2,77
1989	25,0	14	30,4	0,39	2,57
1991	43,0	15	30,0	0,42	2,40
1992	30,0	16	30,0	0,44	2,25
1993	30,0	17	26,0	0,47	2,12
1994	26,0	18	26,0	0,50	2,00
1995	15,0	19	25,7	0,53	1,89
1996	20,0	20	25,0	0,56	1,80
1997	16,0	21	25,0	0,58	1,71
1998	26,0	22	23,0	0,61	1,64
1999	30,4	23	20,0	0,64	1,57
2000	23,0	24	19,0	0,67	1,50
2001	40,5	25	18,0	0,69	1,44
2002	17,5	26	18,0	0,72	1,38
2003	16,8	27	17,5	0,75	1,33
2004	25,7	28	17,0	0,78	1,29
2005	44,0	29	16,8	0,81	1,24
2006	41,0	30	16,0	0,83	1,20
2007	18,0	31	15,0	0,86	1,16
2008	15,0	32	15,0	0,89	1,13
2009	9,0	33	11,0	0,92	1,09
2010	19,0	34	9,0	0,94	1,06
2011	38,0	35	5,0	0,97	1,03

Tabla B 4. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Poroma.

Año	Máx 48 hrs	N° orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1968	27,0	1	43,0	0,02	41,00
1969	43,0	2	40,0	0,05	20,50
1972	0,0	3	35,0	0,07	13,67
1975	35,0	4	27,0	0,10	10,25
1976	17,0	5	25,0	0,12	8,20
1977	8,0	6	24,4	0,15	6,83
1978	10,5	7	24,0	0,17	5,86
1979	0,0	8	24,0	0,20	5,13
1980	0,0	9	23,5	0,22	4,56
1981	20,0	10	23,0	0,24	4,10
1982	1,0	11	20,5	0,27	3,73
1983	11,0	12	20,0	0,29	3,42
1984	24,0	13	19,0	0,32	3,15
1985	5,1	14	19,0	0,34	2,93
1986	10,0	15	17,5	0,37	2,73
1987	15,0	16	17,0	0,39	2,56
1988	23,5	17	17,0	0,41	2,41
1989	10,0	18	16,0	0,44	2,28
1990	25,0	19	16,0	0,46	2,16
1991	10,0	20	15,0	0,49	2,05
1992	12,5	21	15,0	0,51	1,95
1993	19,0	22	14,0	0,54	1,86
1994	17,5	23	13,5	0,56	1,78
1995	14,0	24	12,8	0,59	1,71
1996	12,8	25	12,5	0,61	1,64
1997	16,0	26	12,4	0,63	1,58
1998	9,0	27	11,0	0,66	1,52
1999	23,0	28	10,5	0,68	1,46
2000	12,4	29	10,0	0,71	1,41
2001	24,4	30	10,0	0,73	1,37
2002	19,0	31	10,0	0,76	1,32
2003	2,0	32	9,0	0,78	1,28
2004	20,5	33	8,0	0,80	1,24
2005	13,5	34	8,0	0,83	1,21
2006	16,0	35	5,1	0,85	1,17
2007	17,0	36	2,0	0,88	1,14
2008	24,0	37	1,0	0,90	1,11
2009	15,0	38	0,0	0,93	1,08
2010	8,0	39	0,0	0,95	1,05

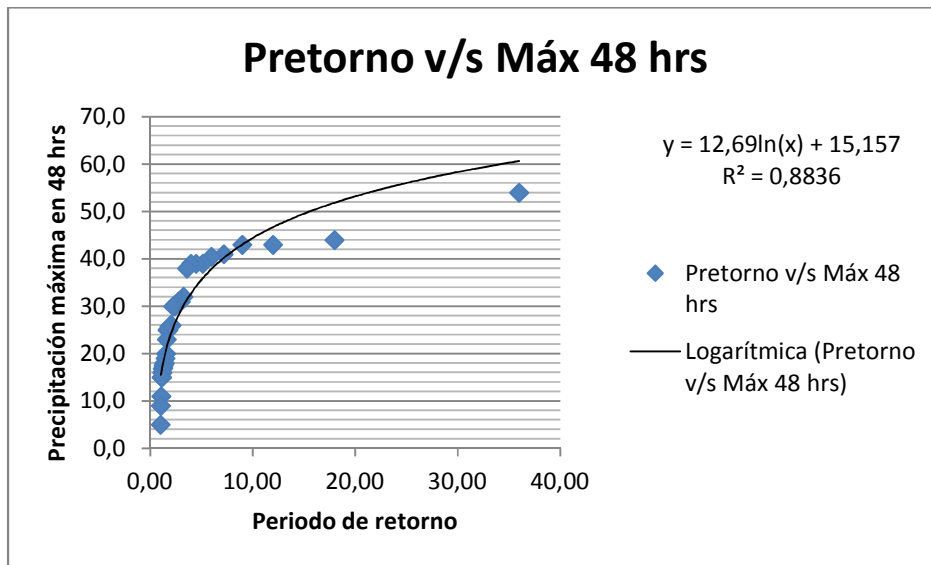


Figura B 3. Periodo de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Cancosa.

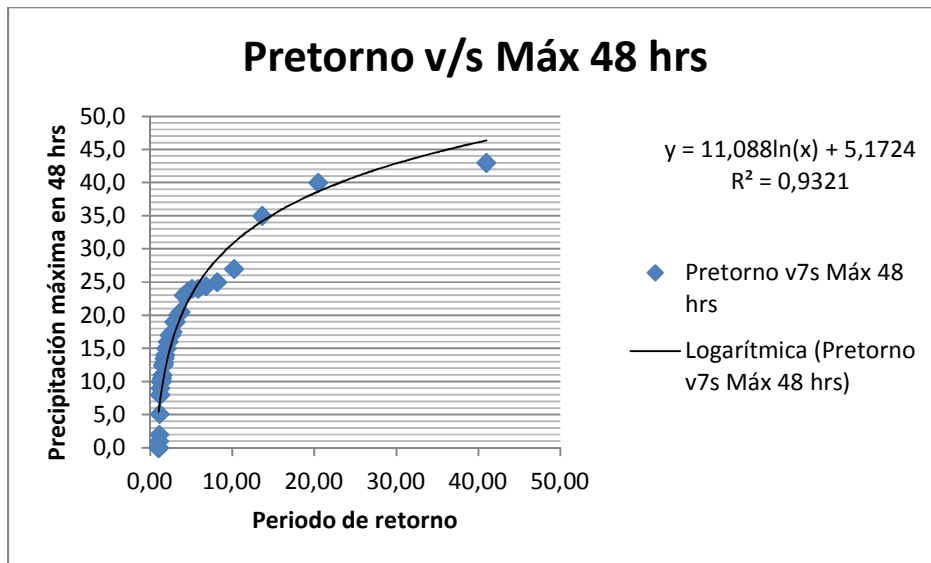


Figura B 4. Periodo de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Poroma.

Tabla B 5. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Mamiña.

Año	Máx 48 hrs	N° orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1986	3,0	1	36,0	0,04	27,00
1987	20,9	2	26,0	0,07	13,50
1988	0,0	3	25,3	0,11	9,00
1989	10,4	4	25,0	0,15	6,75
1990	8,0	5	24,9	0,19	5,40
1991	0,0	6	22,0	0,22	4,50
1992	9,0	7	20,9	0,26	3,86
1993	36,0	8	18,1	0,30	3,38
1994	3,0	9	17,0	0,33	3,00
1995	8,0	10	15,8	0,37	2,70
1996	24,9	11	12,5	0,41	2,45
1997	25,3	12	10,4	0,44	2,25
1998	22,0	13	9,5	0,48	2,08
1999	26,0	14	9,0	0,52	1,93
2000	7,0	15	8,5	0,56	1,80
2001	18,1	16	8,0	0,59	1,69
2002	12,5	17	8,0	0,63	1,59
2003	3,0	18	7,0	0,67	1,50
2004	3,5	19	5,0	0,70	1,42
2005	17,0	20	3,5	0,74	1,35
2006	8,5	21	3,0	0,78	1,29
2007	5,0	22	3,0	0,81	1,23
2008	25,0	23	3,0	0,85	1,17
2009	9,5	24	2,7	0,89	1,13
2010	2,7	25	0,0	0,93	1,08
2011	15,8	26	0,0	0,96	1,04

Tabla B 6. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Camiña.

Año	Máx 48 hrs	Nº orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1971	4,0	1	115,0	0,03	39,00
1972	12,0	2	53,1	0,05	19,50
1974	53,1	3	35,5	0,08	13,00
1975	3,0	4	35,0	0,10	9,75
1976	35,0	5	31,0	0,13	7,80
1977	0,0	6	24,0	0,15	6,50
1978	0,0	7	17,5	0,18	5,57
1979	0,0	8	17,0	0,21	4,88
1980	5,0	9	16,5	0,23	4,33
1981	4,0	10	15,0	0,26	3,90
1982	2,0	11	15,0	0,28	3,55
1983	6,0	12	13,0	0,31	3,25
1984	31,0	13	12,0	0,33	3,00
1985	5,0	14	10,4	0,36	2,79
1988	0,0	15	10,0	0,38	2,60
1989	10,4	16	8,5	0,41	2,44
1990	115,0	17	8,0	0,44	2,29
1991	5,0	18	8,0	0,46	2,17
1992	8,5	19	7,0	0,49	2,05
1993	2,5	20	6,0	0,51	1,95
1994	0,5	21	5,0	0,54	1,86
1995	8,0	22	5,0	0,56	1,77
1996	17,5	23	5,0	0,59	1,70
1997	24,0	24	5,0	0,62	1,63
1998	0,0	25	4,0	0,64	1,56
1999	15,0	26	4,0	0,67	1,50
2000	10,0	27	4,0	0,69	1,44
2001	15,0	28	3,0	0,72	1,39
2002	17,0	29	2,5	0,74	1,34
2003	8,0	30	2,0	0,77	1,30
2004	13,0	31	2,0	0,79	1,26
2005	5,0	32	0,5	0,82	1,22
2006	7,0	33	0,0	0,85	1,18
2007	4,0	34	0,0	0,87	1,15
2008	16,5	35	0,0	0,90	1,11
2009	0,0	36	0,0	0,92	1,08
2010	2,0	37	0,0	0,95	1,05
2011	35,5	38	0,0	0,97	1,03

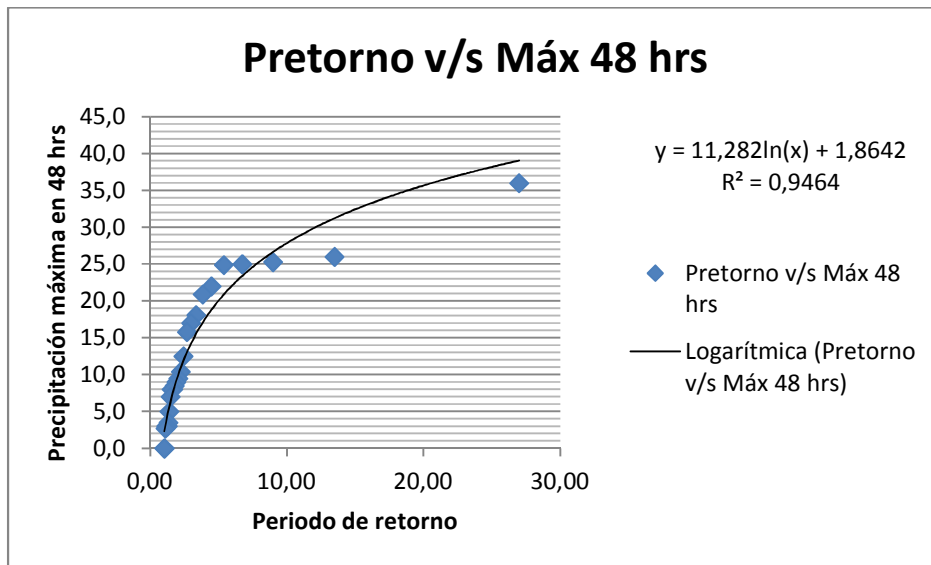


Figura B 5. Período de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Mamiña.

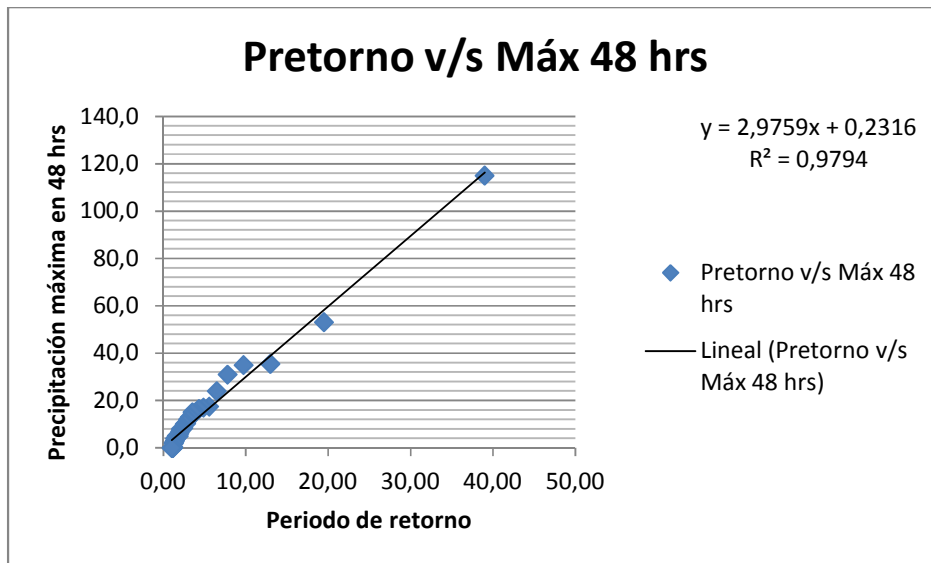


Figura B 6. Período de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Camiña.

Tabla B 7. Periodo de Retorno y Probabilidad de Excedencia de Precipitación Máxima en 48 hrs. Estación Codpa.

Año	Máx 48 hrs	Nº orden	Máx 48 hrs	Pbex	Pretorno
1961	0,0	1	35,0	0,02	51,00
1962	0,0	2	23,0	0,04	25,50
1963	0,0	3	16,3	0,06	17,00
1965	0,0	4	15,0	0,08	12,75
1966	0,0	5	14,5	0,10	10,20
1967	0,0	6	14,4	0,12	8,50
1968	0,0	7	14,0	0,14	7,29
1969	8,0	8	13,0	0,16	6,38
1970	2,5	9	13,0	0,18	5,67
1971	5,0	10	12,0	0,20	5,10
1972	14,5	11	11,8	0,22	4,64
1973	11,0	12	11,5	0,24	4,25
1974	11,8	13	11,0	0,25	3,92
1975	8,0	14	11,0	0,27	3,64
1976	9,0	15	10,0	0,29	3,40
1977	10,0	16	9,5	0,31	3,19
1978	1,0	17	9,0	0,33	3,00
1979	2,5	18	8,0	0,35	2,83
1980	6,0	19	8,0	0,37	2,68
1981	1,0	20	7,6	0,39	2,55
1982	1,5	21	7,5	0,41	2,43
1983	2,5	22	6,5	0,43	2,32
1984	23,0	23	6,5	0,45	2,22
1985	0,5	24	6,0	0,47	2,13
1986	13,0	25	5,5	0,49	2,04
1987	6,5	26	5,0	0,51	1,96
1988	3,0	27	5,0	0,53	1,89
1989	7,6	28	4,5	0,55	1,82
1990	3,0	29	3,5	0,57	1,76
1991	2,0	30	3,5	0,59	1,70
1992	3,5	31	3,0	0,61	1,65
1993	13,0	32	3,0	0,63	1,59
1994	7,5	33	2,5	0,65	1,55
1995	5,5	34	2,5	0,67	1,50
1996	2,5	35	2,5	0,69	1,46
1997	16,3	36	2,5	0,71	1,42
1998	6,5	37	2,0	0,73	1,38
1999	5,0	38	1,5	0,75	1,34
2000	11,0	39	1,5	0,76	1,31

...

...

2001	14,0	40	1,0	0,78	1,28
2002	12,0	41	1,0	0,80	1,24
2003	14,4	42	1,0	0,82	1,21
2004	35,0	43	0,5	0,84	1,19
2005	1,5	44	0,0	0,86	1,16
2006	4,5	45	0,0	0,88	1,13
2007	9,5	46	0,0	0,90	1,11
2008	11,5	47	0,0	0,92	1,09
2009	1,0	48	0,0	0,94	1,06
2010	3,5	49	0,0	0,96	1,04
2011	15,0	50	0,0	0,98	1,02

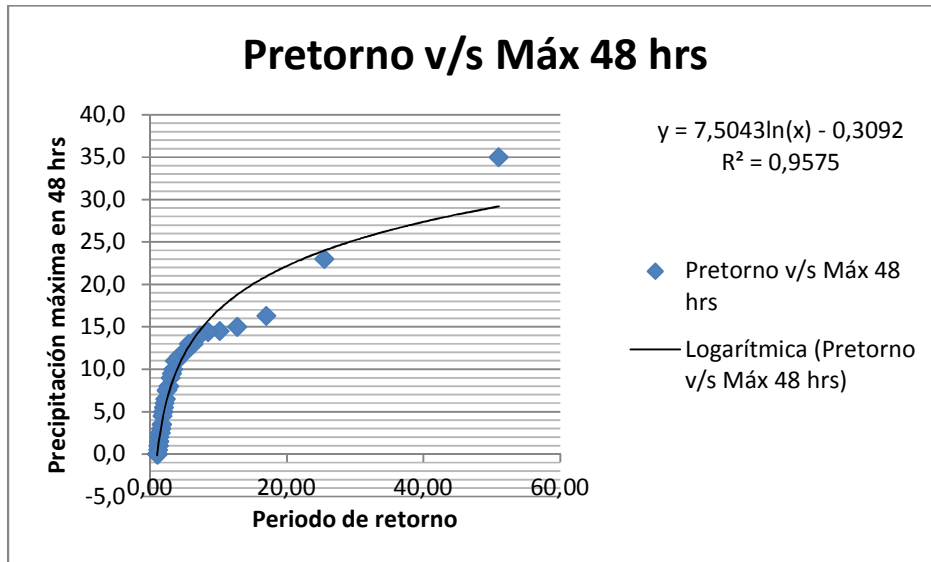


Figura B 7. Periodo de retorno v/s Precipitación Máxima en 48 Hrs. Estación Codpa.

Tabla B 8. Distribución Normal caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	0,24	0,28	0,17	0,1	0,1	0,09	0,09	0,1	0,1	0,08	0,09	0,08	
B	0,15	0,26	0,16	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	
	PROB.EXCED	Caudal (m3/s)											
	0,1	0,7	1,07	0,65	0,27	0,24	0,26	0,22	0,24	0,27	0,21	0,22	0,18
	0,2	0,67	1,01	0,62	0,26	0,23	0,24	0,21	0,23	0,26	0,2	0,21	0,17
	0,5	0,62	0,93	0,57	0,24	0,21	0,23	0,2	0,21	0,24	0,19	0,2	0,16
	1	0,59	0,87	0,53	0,23	0,2	0,21	0,19	0,2	0,23	0,18	0,19	0,15
	2	0,54	0,8	0,49	0,21	0,19	0,2	0,18	0,19	0,21	0,17	0,17	0,15
	5	0,48	0,7	0,43	0,19	0,17	0,18	0,16	0,17	0,19	0,15	0,16	0,13
	10	0,43	0,6	0,37	0,17	0,16	0,16	0,15	0,16	0,17	0,13	0,14	0,12
	20	0,36	0,49	0,3	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12	0,1
	30	0,32	0,41	0,25	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,13	0,1	0,11	0,09
	40	0,28	0,34	0,21	0,11	0,11	0,1	0,1	0,11	0,12	0,09	0,1	0,08
	50	0,24	0,28	0,17	0,1	0,1	0,09	0,09	0,1	0,1	0,08	0,09	0,08
	60	0,2	0,21	0,13	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07
	70	0,16	0,14	0,09	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06
	80	0,11	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05
	85	0,08	0,01	0,01	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04
	90	0,05	0	0	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03
	95	0	0	0	0,01	0,02	0	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02
TEST													
CHI-CALCULADO	12.000	11.571	9.500	9.500	7.000	8.714	7.667	8.000	8.000	6.000	7.667	16.556	
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	

Tabla B 9. Distribución Log Normal II caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	-1,61	-1,73	-2,06	-2,45	-2,43	-2,63	-2,5	-2,4	-2,38	-2,65	-2,51	-2,65	
B	0,62	1,09	0,81	0,59	0,48	0,7	0,48	0,43	0,53	0,49	0,44	0,36	
	PROB.EXCED	Caudal (m3/s)											
	0,1	1,38	5,23	1,59	0,54	0,39	0,63	0,36	0,34	0,47	0,32	0,32	0,22
	0,2	1,21	4,12	1,33	0,47	0,35	0,54	0,33	0,31	0,42	0,29	0,29	0,2
	0,5	1	2,95	1,04	0,39	0,3	0,43	0,28	0,27	0,36	0,25	0,25	0,18
	1	0,85	2,25	0,85	0,34	0,27	0,36	0,25	0,25	0,31	0,22	0,23	0,16
	2	0,72	1,67	0,68	0,29	0,24	0,3	0,22	0,22	0,27	0,19	0,2	0,15
	5	0,56	1,07	0,49	0,23	0,19	0,23	0,18	0,18	0,22	0,16	0,17	0,13
	10	0,45	0,72	0,36	0,18	0,16	0,18	0,15	0,16	0,18	0,13	0,14	0,11
	20	0,34	0,45	0,25	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,11	0,12	0,1
	30	0,28	0,32	0,2	0,12	0,11	0,1	0,11	0,11	0,12	0,09	0,1	0,09
	40	0,23	0,23	0,16	0,1	0,1	0,09	0,09	0,1	0,11	0,08	0,09	0,08
	50	0,2	0,18	0,13	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07
	60	0,17	0,14	0,1	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06
	70	0,14	0,1	0,08	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06
	80	0,12	0,07	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05
	85	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05
	90	0,09	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
	95	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
TEST													
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	9.500	7.000	8.714	3.222	4.000	10.000	6.000	7.667	16.556	
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	

Tabla B 10. Distribución Log Normal III caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
A	4,63	-2,39	4,04	-3,3	4,04	3,53	-2,84	-3,78	-2,58	3,81	4,04	4,04
B	6,6	2,26	6,57	1,31	6,93	6,69	0,67	1,85	0,64	6,83	6,96	7,1
C	0	0,03	0	0,04	0	0	0,02	0,05	0,01	0	0	0
	PROB.EXCED											
												Caudal (m3/s)
0	78868838439	102	39514821599	2	120294881593	34622276708	0	7	1	72125630421	131910509504	205532252614
0	18456300229	62	9315487099	2	26202337359	7945407561	0	5	1	16035101624	28544773577	43097443343
1	2464227569	31	1256570587	1	3167350163	1032518543	0	3	0	1994120686	3419302311	4942002266
1	478283797	18	245929726	1	566948161	196034326	0	2	0	365285760	607536818	847424667
2	79054129	10	41022662	1	85739251	31627337	0	1	0	56661270	91134332	122253404
5	5312304	4	2794751	0	5042364	2049549	0	1	0	3461518	5294758	6698858
10	482583	2	256997	0	406897	180279	0	0	0	288933	422666	507652
20	26395	1	14266	0	19280	9483	0	0	0	14263	19767	22291
30	3254	0	1778	0	2144	1137	0	0	0	1633	2177	2346
40	544	0	300	0	328	185	0	0	0	256	330	342
50	102	0	57	0	57	34	0	0	0	45	57	57
60	19	0	11	0	10	6	0	0	0	8	10	9
70	3	0	2	0	2	1	0	0	0	1	1	1
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEST												
CHI-CALCULADO	72.000	8.714	42.000	9.500	72.000	34.429	5.444	10.000	10.000	72.000	81.000	63.222
CHI-LIMITE	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600

Tabla B 11. Distribución Gumbel caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	9,81	6,06	11,32	24,17	29,48	24,78	31,58	32,24	25,41	36,74	36,05	56,7	
B	0,17	0,17	0,11	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06	
	PROB.EXCED	Caudal (m3/s)											
	0,1	0,88	1,31	0,72	0,36	0,31	0,34	0,29	0,29	0,35	0,25	0,26	0,19
	0,2	0,81	1,19	0,66	0,33	0,29	0,31	0,27	0,27	0,32	0,23	0,24	0,17
	0,5	0,71	1,04	0,58	0,29	0,26	0,28	0,24	0,24	0,29	0,21	0,22	0,16
	1	0,64	0,93	0,52	0,27	0,23	0,25	0,22	0,22	0,26	0,19	0,2	0,14
	2	0,57	0,81	0,46	0,24	0,21	0,22	0,2	0,2	0,23	0,17	0,18	0,13
	5	0,48	0,66	0,38	0,2	0,18	0,18	0,17	0,17	0,2	0,14	0,15	0,12
	10	0,4	0,54	0,31	0,17	0,15	0,15	0,14	0,15	0,17	0,12	0,13	0,1
	20	0,33	0,42	0,25	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11	0,09
	30	0,28	0,34	0,2	0,12	0,11	0,1	0,1	0,11	0,12	0,09	0,1	0,08
	40	0,24	0,28	0,17	0,1	0,1	0,09	0,09	0,1	0,11	0,08	0,09	0,08
	50	0,21	0,23	0,15	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07
	60	0,18	0,18	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06
	70	0,16	0,14	0,1	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06
	80	0,13	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05
	85	0,11	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05
	90	0,09	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
	95	0,06	0	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
TEST													
CHI-CALCULADO	10.000	3.000	9.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556	
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	

Tabla B 12. Distribución Gamma caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	3,05	1,46	1,9	3,71	5,22	2,82	5,2	6,25	4,32	4,58	5,81	7,74	
B	0,08	0,19	0,09	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	
	PROB.EXCED			Caudal (m3/s)									
	0,1	0,89	1,52	0,82	0,34	0,28	0,34	0,27	0,27	0,33	0,24	0,25	0,19
	0,2	0,85	1,44	0,78	0,32	0,27	0,32	0,26	0,26	0,32	0,23	0,24	0,18
	0,5	0,73	1,19	0,66	0,28	0,24	0,28	0,23	0,23	0,28	0,21	0,21	0,16
	1	0,66	1,05	0,59	0,26	0,22	0,25	0,21	0,21	0,25	0,19	0,2	0,15
	2	0,6	0,93	0,52	0,24	0,21	0,23	0,19	0,2	0,23	0,17	0,18	0,14
	5	0,5	0,72	0,42	0,2	0,18	0,19	0,17	0,17	0,2	0,15	0,16	0,13
	10	0,42	0,58	0,34	0,17	0,15	0,16	0,14	0,15	0,17	0,13	0,14	0,11
	20	0,34	0,43	0,26	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,11	0,12	0,1
	30	0,29	0,34	0,21	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,09	0,1	0,09
	40	0,25	0,27	0,17	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,11	0,08	0,09	0,08
	50	0,21	0,22	0,14	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,1	0,07	0,08	0,07
	60	0,18	0,17	0,12	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,07
	70	0,15	0,13	0,09	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06
	80	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05
	85	0,11	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05
	90	0,09	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
	95	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
TEST													
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556	
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	

Tabla B 13. Distribución Gamma-3 caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	3,05	1,46	1,9	3,71	5,22	2,82	5,2	6,25	4,32	4,58	5,81	7,74	
B	0,08	0,19	0,09	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	PROB.EXCED												
				Caudal (m3/s)									
	0,1	0,89	1,52	0,82	0,34	0,28	0,34	0,27	0,27	0,33	0,24	0,25	0,19
	0,2	0,85	1,44	0,78	0,32	0,27	0,32	0,26	0,26	0,32	0,23	0,24	0,18
	0,5	0,73	1,19	0,66	0,28	0,24	0,28	0,23	0,23	0,28	0,21	0,21	0,16
	1	0,66	1,05	0,59	0,26	0,22	0,25	0,21	0,21	0,25	0,19	0,2	0,15
	2	0,6	0,93	0,52	0,24	0,21	0,23	0,19	0,2	0,23	0,17	0,18	0,14
	5	0,5	0,72	0,42	0,2	0,18	0,19	0,17	0,17	0,2	0,15	0,16	0,13
	10	0,42	0,58	0,34	0,17	0,15	0,16	0,14	0,15	0,17	0,13	0,14	0,11
	20	0,34	0,43	0,26	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,11	0,12	0,1
	30	0,29	0,34	0,21	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,09	0,1	0,09
	40	0,25	0,27	0,17	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,11	0,08	0,09	0,08
	50	0,21	0,22	0,14	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,1	0,07	0,08	0,07
	60	0,18	0,17	0,12	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,07
	70	0,15	0,13	0,09	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06
	80	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05
	85	0,11	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05
	90	0,09	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
	95	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
TEST													
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556	
CHI-LIMITE	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	

Tabla B 14. Mejores ajustes mensuales de distribuciones caudales medios mensuales, estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (m³/s).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DISTRIBUCION NORMAL												
CHI-CALCULADO	12.000	11.571	9.500	9.500	7.000	8.714	7.667	8.000	8.000	6.000	7.667	16.556
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100
DISTRIBUCION LOGNOR												
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	9.500	7.000	8.714	3.222	4.000	10.000	6.000	7.667	16.556
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100
DISTRIBUCION LOGNOR-3												
CHI-CALCULADO	72.000	8.714	42.000	9.500	72.000	34.429	5.444	10.000	10.000	72.000	81.000	63.222
CHI-LIMITE	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600
DISTRIBUCION GUMBEL												
CHI-CALCULADO	10.000	3.000	9.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100
DISTRIBUCION GAMMA												
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556
CHI-LIMITE	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100
DISTRIBUCION GAMMA-3												
CHI-CALCULADO	10.000	5.857	4.500	7.000	12.000	5.857	3.222	4.000	12.000	8.000	7.667	16.556
CHI-LIMITE	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600

Tabla B 15. Escorrentía Total Media (m3/s) generada Nivopluvial.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1978	0,183	0,158	0,141	0,134	0,122	0,119	0,111	0,108	0,109	0,104	0,106	0,101	0,124
1979	0,100	0,110	0,098	0,101	0,097	0,100	0,096	0,096	0,098	0,095	0,097	0,094	0,098
1980	0,093	0,103	0,092	0,095	0,091	0,094	0,090	0,090	0,092	0,089	0,091	0,088	0,092
1981	0,088	0,235	0,132	0,156	0,150	0,139	0,120	0,110	0,105	0,096	0,095	0,089	0,125
1982	0,087	0,095	0,087	0,086	0,082	0,084	0,081	0,080	0,082	0,079	0,081	0,078	0,083
1983	0,078	0,163	0,108	0,105	0,094	0,092	0,084	0,081	0,132	0,142	0,126	0,108	0,109
1984	0,351	0,288	0,212	0,202	0,202	0,214	0,211	0,214	0,221	0,215	0,211	0,184	0,227
1985	0,174	0,205	0,163	0,144	0,129	0,124	0,114	0,109	0,110	0,103	0,105	0,143	0,135
1986	0,176	0,229	0,189	0,173	0,148	0,137	0,121	0,113	0,111	0,103	0,106	0,101	0,142
1987	0,223	0,153	0,187	0,176	0,165	0,151	0,130	0,118	0,112	0,106	0,101	0,094	0,143
1988	0,108	0,100	0,245	0,137	0,151	0,170	0,160	0,142	0,130	0,117	0,107	0,097	0,139
1989	0,092	0,252	0,168	0,154	0,162	0,171	0,154	0,135	0,123	0,107	0,101	0,092	0,142
1990	0,087	0,211	0,130	0,139	0,125	0,115	0,100	0,093	0,090	0,083	0,082	0,141	0,116
1991	0,195	0,164	0,148	0,124	0,106	0,099	0,088	0,082	0,081	0,075	0,076	0,072	0,109
1992	0,080	0,077	0,068	0,070	0,067	0,069	0,066	0,066	0,068	0,065	0,067	0,154	0,076
1993	0,158	0,170	0,134	0,114	0,097	0,089	0,079	0,176	0,271	0,263	0,215	0,166	0,161
1994	0,137	0,144	0,175	0,125	0,107	0,096	0,083	0,076	0,073	0,066	0,066	0,062	0,101
1995	0,077	0,066	0,121	0,088	0,077	0,073	0,066	0,063	0,062	0,058	0,059	0,056	0,072
1996	0,066	0,079	0,057	0,056	0,054	0,055	0,053	0,130	0,176	0,136	0,115	0,094	0,089
1997	0,154	0,196	0,173	0,164	0,149	0,132	0,107	0,090	0,084	0,069	0,065	0,058	0,120
1998	0,107	0,069	0,058	0,056	0,052	0,052	0,049	0,048	0,049	0,046	0,047	0,053	0,057
1999	0,045	0,241	0,135	0,116	0,126	0,140	0,143	0,134	0,117	0,095	0,084	0,071	0,120
2000	0,063	0,140	0,140	0,111	0,097	0,085	0,071	0,063	0,059	0,053	0,052	0,048	0,082
2001	0,129	0,344	0,205	0,156	0,160	0,172	0,171	0,175	0,183	0,178	0,174	0,148	0,182
2002	0,134	0,202	0,131	0,119	0,102	0,095	0,183	0,247	0,221	0,171	0,145	0,118	0,155
2003	0,102	0,101	0,084	0,079	0,072	0,071	0,067	0,065	0,066	0,063	0,064	0,065	0,075
2004	0,077	0,187	0,143	0,161	0,135	0,118	0,098	0,086	0,080	0,072	0,069	0,064	0,107
2005	0,176	0,233	0,250	0,278	0,283	0,287	0,259	0,220	0,188	0,147	0,125	0,113	0,213
2006	0,189	0,347	0,151	0,165	0,166	0,176	0,173	0,175	0,171	0,145	0,128	0,108	0,173
2007	0,095	0,243	0,125	0,145	0,138	0,126	0,106	0,093	0,087	0,078	0,076	0,070	0,114
2008	0,328	0,205	0,141	0,145	0,139	0,143	0,138	0,137	0,139	0,127	0,123	0,111	0,156
2009	0,172	0,202	0,149	0,147	0,123	0,117	0,106	0,101	0,100	0,094	0,095	0,090	0,124
2010	0,089	0,154	0,096	0,096	0,145	0,150	0,127	0,114	0,108	0,098	0,096	0,090	0,113
PROM	0,134	0,178	0,140	0,131	0,125	0,123	0,115	0,116	0,118	0,107	0,102	0,098	0,123

Tabla B 16. Escorrentía Subterránea Media (m3/s) generada Nivopluvial.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1978	0,105	0,116	0,104	0,107	0,103	0,106	0,102	0,101	0,104	0,100	0,103	0,099	0,104
1979	0,099	0,109	0,098	0,101	0,097	0,100	0,096	0,095	0,098	0,094	0,097	0,094	0,098
1980	0,093	0,102	0,092	0,095	0,091	0,094	0,090	0,090	0,092	0,089	0,091	0,088	0,092
1981	0,088	0,097	0,087	0,089	0,086	0,088	0,085	0,085	0,087	0,084	0,086	0,083	0,087
1982	0,083	0,091	0,082	0,084	0,081	0,083	0,080	0,080	0,082	0,079	0,081	0,078	0,082
1983	0,078	0,086	0,077	0,079	0,076	0,078	0,075	0,075	0,077	0,074	0,076	0,074	0,077
1984	0,091	0,120	0,108	0,111	0,107	0,110	0,106	0,105	0,108	0,104	0,107	0,103	0,107
1985	0,103	0,113	0,102	0,105	0,101	0,104	0,100	0,099	0,102	0,098	0,101	0,097	0,102
1986	0,097	0,107	0,096	0,099	0,095	0,098	0,094	0,094	0,096	0,093	0,095	0,092	0,096
1987	0,091	0,100	0,090	0,093	0,089	0,092	0,089	0,088	0,091	0,087	0,090	0,086	0,090
1988	0,086	0,095	0,085	0,088	0,085	0,087	0,084	0,083	0,086	0,083	0,085	0,082	0,086
1989	0,081	0,090	0,081	0,083	0,080	0,082	0,079	0,079	0,081	0,078	0,080	0,077	0,081
1990	0,077	0,084	0,076	0,078	0,075	0,077	0,074	0,074	0,076	0,073	0,075	0,073	0,076
1991	0,072	0,079	0,071	0,073	0,071	0,073	0,070	0,070	0,072	0,069	0,071	0,068	0,072
1992	0,068	0,075	0,067	0,069	0,067	0,068	0,066	0,066	0,067	0,065	0,067	0,064	0,067
1993	0,064	0,071	0,063	0,065	0,063	0,064	0,062	0,062	0,064	0,061	0,063	0,061	0,063
1994	0,060	0,066	0,060	0,061	0,059	0,061	0,058	0,058	0,060	0,058	0,059	0,057	0,060
1995	0,057	0,063	0,056	0,058	0,056	0,057	0,055	0,055	0,056	0,054	0,056	0,054	0,056
1996	0,053	0,059	0,053	0,054	0,052	0,054	0,052	0,052	0,053	0,051	0,053	0,051	0,053
1997	0,050	0,055	0,050	0,051	0,049	0,051	0,049	0,049	0,050	0,048	0,049	0,048	0,050
1998	0,047	0,052	0,047	0,048	0,046	0,048	0,046	0,046	0,047	0,045	0,047	0,045	0,047
1999	0,045	0,051	0,048	0,049	0,047	0,048	0,047	0,046	0,048	0,046	0,047	0,045	0,047
2000	0,045	0,050	0,045	0,046	0,044	0,046	0,044	0,044	0,045	0,043	0,044	0,043	0,045
2001	0,043	0,063	0,071	0,073	0,070	0,072	0,070	0,069	0,071	0,069	0,070	0,068	0,067
2002	0,068	0,074	0,067	0,069	0,066	0,068	0,066	0,065	0,067	0,065	0,066	0,064	0,067
2003	0,064	0,070	0,063	0,065	0,062	0,064	0,062	0,061	0,063	0,061	0,063	0,060	0,063
2004	0,060	0,066	0,059	0,061	0,059	0,060	0,058	0,058	0,060	0,057	0,059	0,057	0,059
2005	0,056	0,062	0,056	0,057	0,055	0,057	0,055	0,055	0,056	0,054	0,055	0,053	0,056
2006	0,053	0,067	0,069	0,071	0,068	0,070	0,067	0,067	0,069	0,066	0,068	0,066	0,067
2007	0,065	0,072	0,065	0,067	0,064	0,066	0,063	0,063	0,065	0,063	0,064	0,062	0,065
2008	0,079	0,107	0,096	0,099	0,095	0,098	0,095	0,094	0,097	0,093	0,096	0,092	0,095
2009	0,092	0,101	0,091	0,093	0,090	0,092	0,089	0,089	0,091	0,088	0,090	0,087	0,091
2010	0,086	0,095	0,086	0,088	0,085	0,087	0,084	0,083	0,086	0,083	0,085	0,082	0,086
PROM	0,073	0,082	0,075	0,077	0,074	0,076	0,073	0,073	0,075	0,072	0,074	0,071	0,074

Tabla B 17. Escorrentía Superficial Media (m3/s) generada Nivopluvial.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1978	0,078	0,042	0,037	0,027	0,019	0,013	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,021
1979	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
1980	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1981	0,000	0,138	0,045	0,067	0,064	0,051	0,035	0,025	0,018	0,012	0,009	0,006	0,039
1982	0,004	0,004	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
1983	0,000	0,077	0,031	0,026	0,018	0,014	0,009	0,006	0,055	0,068	0,050	0,034	0,032
1984	0,260	0,168	0,104	0,091	0,095	0,104	0,105	0,109	0,113	0,111	0,104	0,081	0,120
1985	0,071	0,092	0,061	0,039	0,028	0,020	0,014	0,010	0,008	0,005	0,004	0,046	0,033
1986	0,079	0,122	0,093	0,074	0,053	0,039	0,027	0,019	0,015	0,010	0,011	0,009	0,046
1987	0,132	0,053	0,097	0,083	0,076	0,059	0,041	0,030	0,021	0,019	0,011	0,008	0,053
1988	0,022	0,005	0,160	0,049	0,066	0,083	0,076	0,059	0,044	0,034	0,022	0,015	0,053
1989	0,011	0,162	0,087	0,071	0,082	0,089	0,075	0,056	0,042	0,029	0,021	0,015	0,062
1990	0,010	0,127	0,054	0,061	0,050	0,038	0,026	0,019	0,014	0,010	0,007	0,068	0,040
1991	0,123	0,085	0,077	0,051	0,035	0,026	0,018	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	0,038
1992	0,012	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,090	0,009
1993	0,094	0,099	0,071	0,049	0,034	0,025	0,017	0,114	0,207	0,202	0,152	0,105	0,097
1994	0,077	0,078	0,115	0,064	0,048	0,035	0,025	0,018	0,013	0,008	0,007	0,005	0,041
1995	0,020	0,003	0,065	0,030	0,021	0,016	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,016
1996	0,013	0,020	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,078	0,123	0,085	0,062	0,043	0,036
1997	0,104	0,141	0,123	0,113	0,100	0,081	0,058	0,041	0,034	0,021	0,016	0,010	0,070
1998	0,060	0,017	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,008	0,010
1999	0,000	0,190	0,087	0,067	0,079	0,092	0,096	0,088	0,069	0,049	0,037	0,026	0,073
2000	0,018	0,090	0,095	0,065	0,053	0,039	0,027	0,019	0,014	0,010	0,008	0,005	0,037
2001	0,086	0,281	0,134	0,083	0,090	0,100	0,101	0,106	0,112	0,109	0,104	0,080	0,116
2002	0,066	0,128	0,064	0,050	0,036	0,027	0,117	0,182	0,154	0,106	0,079	0,054	0,089
2003	0,038	0,031	0,021	0,014	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,005	0,012
2004	0,017	0,121	0,084	0,100	0,076	0,058	0,040	0,028	0,020	0,015	0,010	0,007	0,048
2005	0,120	0,171	0,194	0,221	0,228	0,230	0,204	0,165	0,132	0,093	0,070	0,060	0,157
2006	0,136	0,280	0,082	0,094	0,098	0,106	0,106	0,108	0,102	0,079	0,060	0,042	0,108
2007	0,030	0,171	0,060	0,078	0,074	0,060	0,043	0,030	0,022	0,015	0,012	0,008	0,050
2008	0,249	0,098	0,045	0,046	0,044	0,045	0,043	0,043	0,042	0,034	0,027	0,019	0,061
2009	0,080	0,101	0,058	0,054	0,033	0,025	0,017	0,012	0,009	0,006	0,005	0,003	0,034
2010	0,003	0,059	0,010	0,008	0,060	0,063	0,043	0,031	0,022	0,015	0,011	0,008	0,028
PROM	0,061	0,096	0,066	0,054	0,051	0,047	0,042	0,043	0,043	0,035	0,028	0,026	0,049

Tabla B 18. Valores CN en condición II de humedad y $P_0=0,2S$. SCS. [Ref 13]

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94	
	CR	Pobre	76	85	90	93	
	CR	Buena	74	83	88	90	
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91	
	R	Buena	67	78	85	89	
	R + CR	Pobre	71	80	87	90	
	R + CR	Buena	64	75	82	85	
	C	Pobre	70	79	84	88	
	C	Buena	65	75	82	86	
	C + CR	Pobre	69	78	83	87	
	C + CR	Buena	64	74	81	85	
	C + T	Pobre	66	74	80	82	
	C + T	Buena	62	71	78	81	
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81	
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80	
	Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
		R	Buena	63	75	83	87
R + CR		Pobre	64	75	83	86	
R + CR		Buena	60	72	80	84	
C		Pobre	63	74	82	85	
C		Buena	61	73	81	84	
C + CR		Pobre	62	73	81	84	
C + CR		Buena	60	72	80	83	
C + T		Pobre	61	72	79	82	
C + T		Buena	59	70	78	81	
C + T + CR		Pobre	60	71	78	81	
C + T + CR		Buena	58	69	77	80	

...

...

Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79

...

...

Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

Tabla B 19. Significado abreviaturas Tabla B 18. [Ref 13]

CR	Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año
R	Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno
C	Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nive
T	Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos)

Tabla B 20. Grupos hidrológicos de suelos según las definiciones del NRCS. López Alonso (2001). [Ref 13]

SUELO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN CON HUMEDAD ELEVADA	TASA DE INFILTRACIÓN (mmh-1)	PRODUNDIDAD	TEXTURA	DRENAJE
A	Alta	7,62-11,43	Elevada	Arenosa. Arenosa-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81-7,62	Mediana a Elevada	Franca-arenosa. Franca. Franco-arcillo-arenosa. Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Escasa	1,27-3,81	Mediana a pequeña	Franco-arcillosa. Franco-arcillo-limosa	Imperfecto
D	Muy escasa	0-1,27	Con horizontes arcillosos. Litosuelos. Suelos con nivel freático permanentemente alto	Arenosa	Pobre o Muy Pobre

ANEXO C: Extracto mapa hidrogeológico de Chile

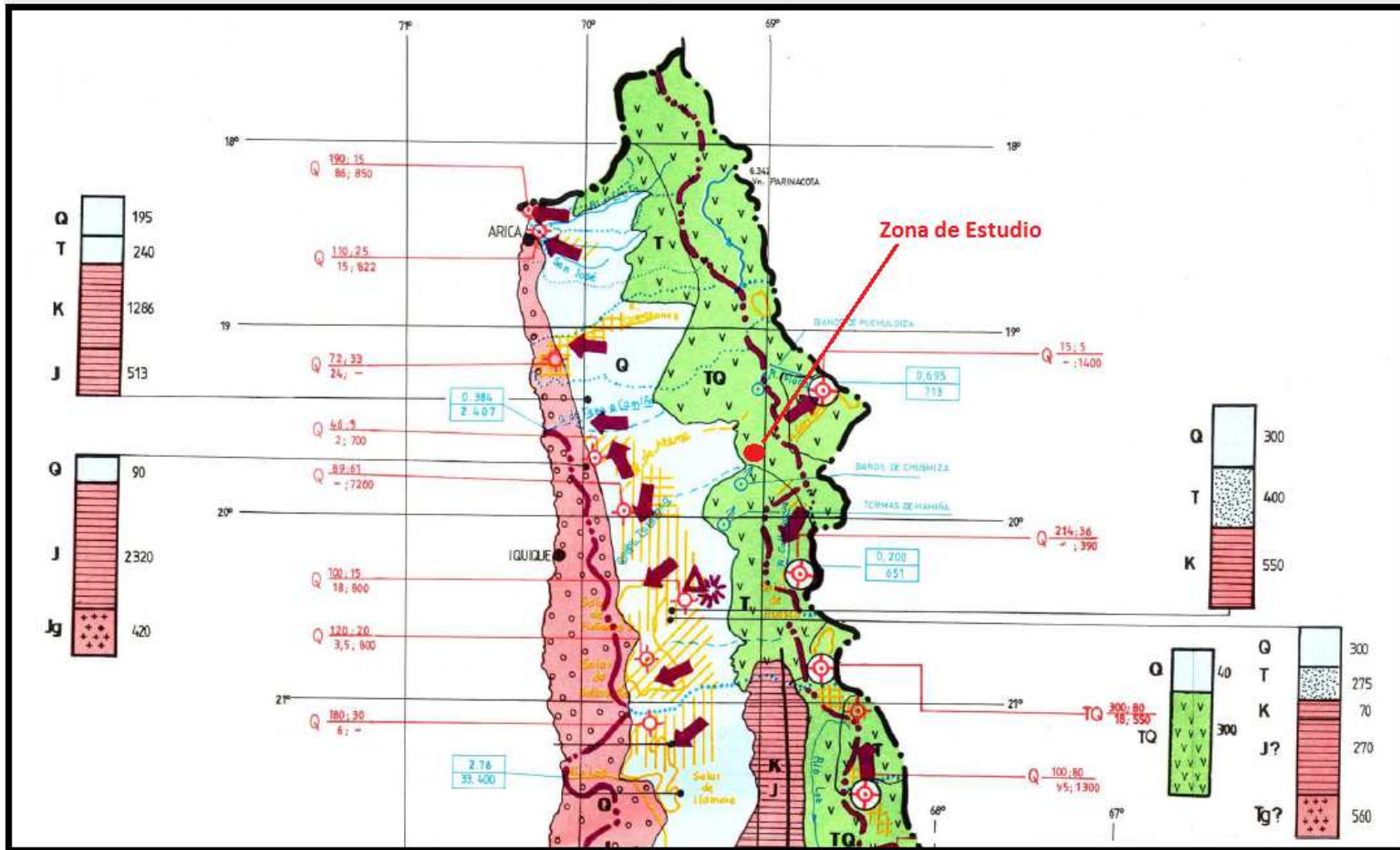


Figura C 1. Extracto Mapa hidrogeológico de Chile. En rojo se observa zona de estudio.

LEYENDA GENERAL










HIDROGEOLOGIA				
1 OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRANEAS				
TIPO DE PERMEABILIDAD	SIMBOLO	IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA RELATIVA	PRINCIPALES FORMACIONES INTERESADAS	CARACTERISTICAS GENERALES
PRIMARIA (En formación porosa)		ALTA A MEDIA	Q Qv T	DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS, RELLENO. Sedimentos fluviales, glaciales, aluviales, lacustres y eólicos. Acuíferos de extensión muy variable, generalmente estratificados. Napas libres a semianfinadas. Permeabilidad variable, calidad química variable. Son los acuíferos más conocidos en Chile. LAVAS POROSAS, en Isla de Pascua.
		BAJA	T	DEPOSITOS CONSOLIDADOS O ROCAS SEDIMENTARIAS. Areniscas, lutitas, limolitas y arcillolitas de deposición lacustre o marina. En pampa del Tamarugal y en el acuífero confinado del borde Oriental del Salar de Atacama; deficiente calidad química. Pampa Magallánica surgeña, buena calidad química.
		MEDIA	T	ROCAS CARBONATADAS Calizas, areniscas y lutitas calcáreas. Acuíferos semi-consolidados sin explotar. Calidad química deficiente. Cuenca Calama.
SECUNDARIA (En roca)		ALTA A BAJA	TQ T C	ROCAS VOLCANICAS FRACTURADAS Coladas, tobos y brechas andesíticas con intercalaciones de sedimentos clásticos continentales. Ignimbritas riolíticas y dacíticas. Se atribuyen características acuíferas a estas rocas en el Altiplano chileno. Calidad química buena.
MUY BAJA A AUSENTE (Roca)		MUY BAJA	Qv TQ T C	ROCAS VOLCANICAS. Coladas y depósitos piroclásticos riolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos, asociados a volcanes antiguos bien conservados o activos. Cordillera de Los Andes.
		MUY BAJA	Q , Q J JKT	AFLORAMIENTOS DE ROCAS MIXTAS. Rocas sedimentario-volcánicas con cubierta discontinua de depósitos no consolidados. Acuíferos inexistentes por falta de recarga. Norte Grande.
		MUY BAJA	T K J M Pz M	ROCAS MIXTAS SEDIMENTARIO-VOLCANICAS. Coladas, brechas e ignimbritas con intercalaciones de lutitas, areniscas y conglomerados. Se consideran basamento de los acuíferos. Abarcan zonas cordilleranas.
		NULA	Kg , KTg JKg , JTg Mg Pzq	ROCAS PLUTONICAS E HIPABISALES. Intrusivos graníticos. Basamento impermeable. Cordillera de la Costa, Cordillera de los Andes.
		NULA	Pz	ROCAS METAMORFICAS. Metaareniscas, pizarras, filitas, esquistos, gneises, anfíbolitas. Basamento impermeable. Cordillera de la Costa, Cordillera Andina Patagónica.

Figura C 2. Leyenda general: Ocurrencia de aguas subterráneas.

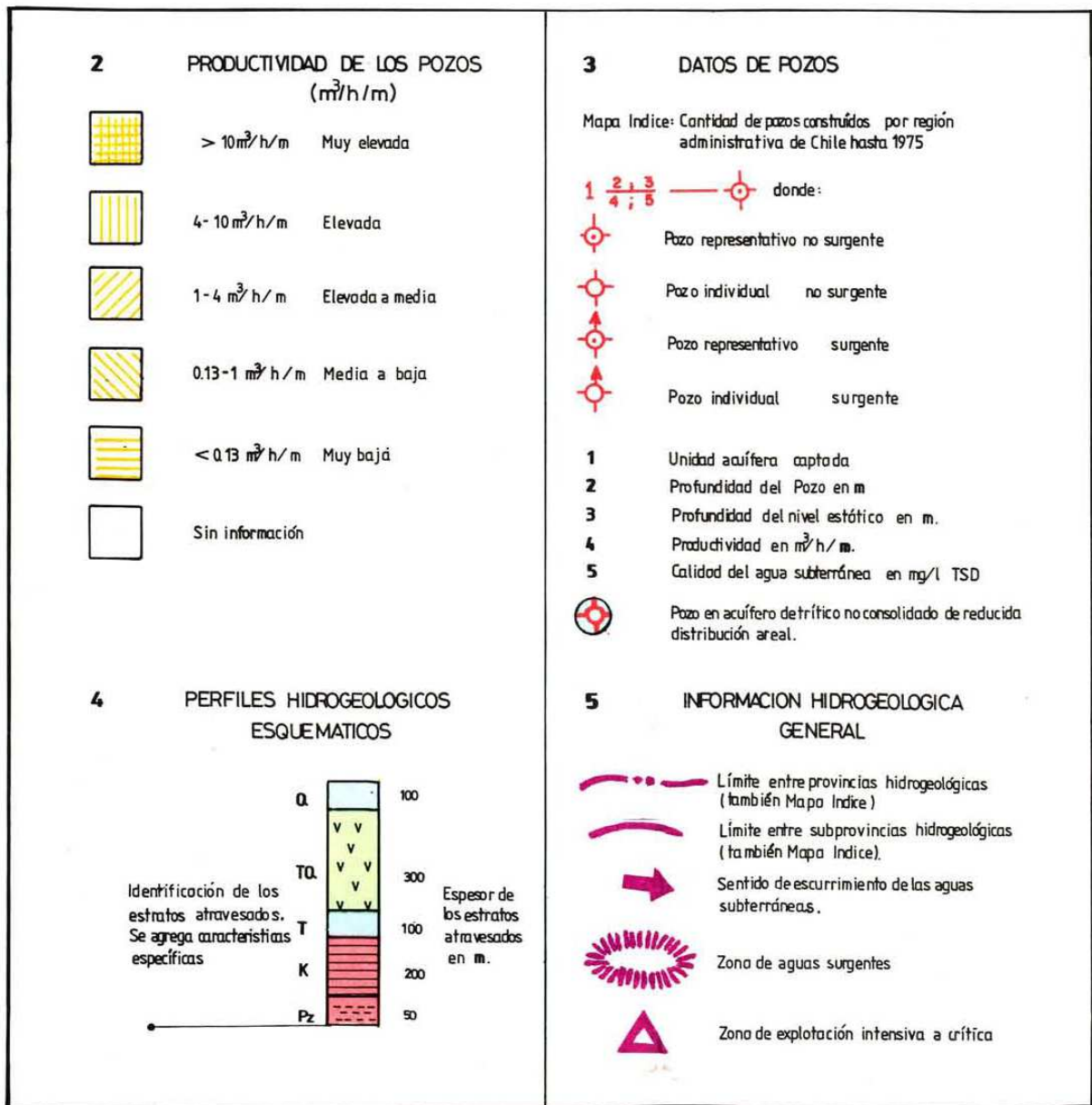


Figura C 3. Leyenda General: Productividad de los pozos, Datos de pozo, Perfiles hidrogeológicos esquemáticos, Información hidrogeológica general.

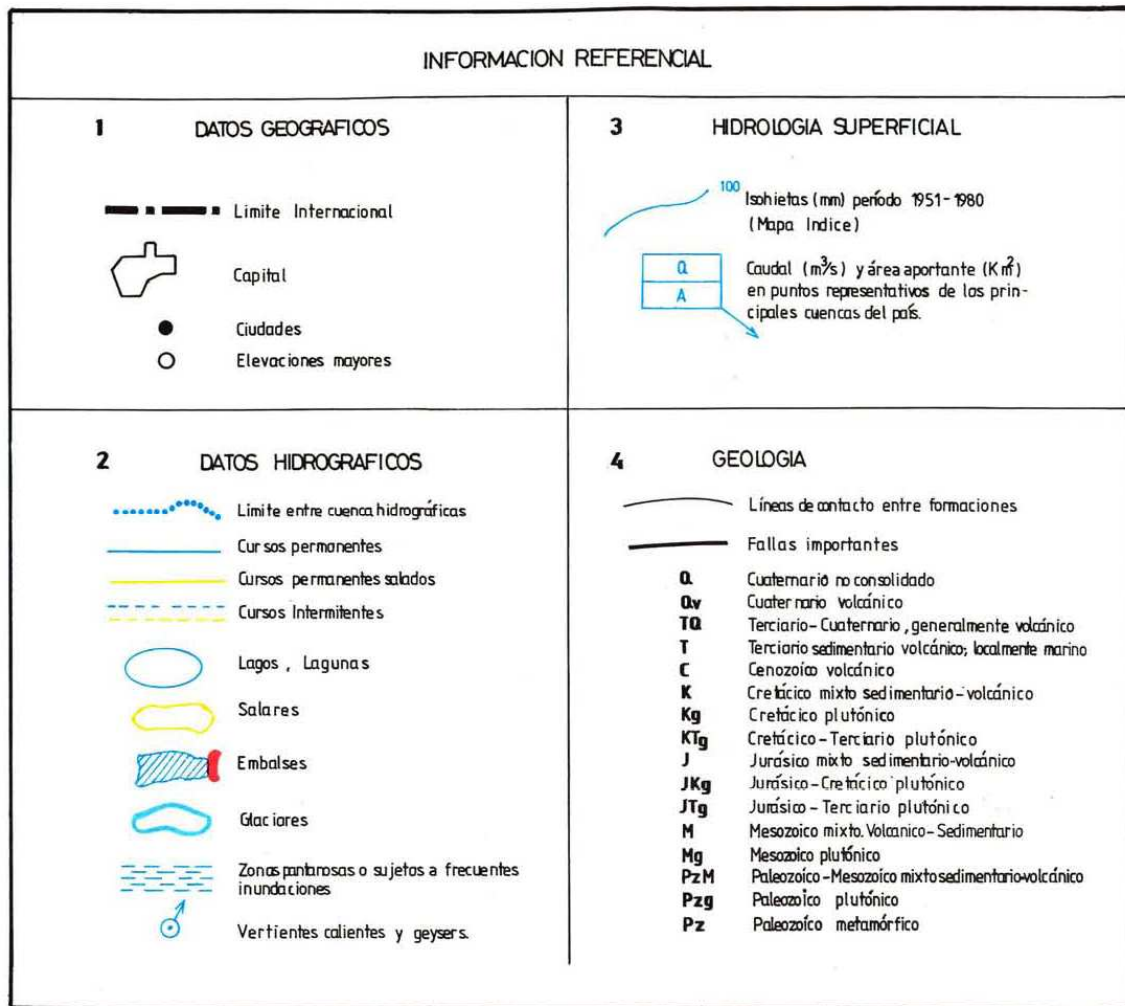


Figura C 4. Información Referencial: Datos geográficos, Datos hidrográficos, Hidrología superficial y Geología.