



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

INFORME TÉCNICO

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

SECTORES CALAMA y LLALQUI

CUENCA DEL RÍO LOA

ELABORADO POR:

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

S.I.T. N° 85

Mayo 2003

EQUIPO DE TRABAJO

Departamento de Estudios y Planificación (DEP)

Jefe Depto. Ing. Sr. Carlos Salazar Méndez

Ingenieros: Sra. Ana María Gangas
 Sr. Rodrigo Rojas Mujica
 Sr. Luis Rojas Badilla

Asesora: Ing. Sra. Damaris Orphanópoulos

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	5
2.1.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	5
2.2.- ALCANCE DEL ESTUDIO.....	5
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	9
3.1.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9
3.2.- MARCO GEOLÓGICO GENERAL.....	10
3.3.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA.....	15
3.4.- MARCO HIDROGEOQUÍMICO GENERAL.....	16
3.4.1.- Composición química y vías evolutivas	17
3.4.2.- Origen de los componentes disueltos.....	17
4. BALANCE HIDROLÓGICO	25
4.1.- OBJETIVO DEL BALANCE HIDROLÓGICO	26
4.2.- METODOLOGÍA	26
4.2.1.- Aportes de precipitación.....	27
4.2.2.- Evapotranspiración natural	31
4.3.- RESULTADOS DEL BALANCE HIDROLÓGICO	34
5. BALANCE DE ESCORRENTÍA Y USOS.....	37
5.1.- OBJETIVO.....	37
5.2.- DERECHOS SUPERFICIALES	37
5.3.- DERECHOS SUBTERRÁNEOS	40
5.4.- USO EFECTIVO DE LOS DERECHOS: FACTORES DE USO	43
5.4.1.- Riego.....	43
5.4.2.- Agua Potable.....	44
5.4.3.- Minería	44
5.5.- RESUMEN DE DERECHOS Y USOS EFECTIVOS	44
5.6.- USOS IN SITU.....	46
5.6.1.- Evaporación desde los salares.....	46
5.6.2.- Evaporación desde los cauces	47
5.6.3.- Comentario	47
5.7.- BALANCE GLOBAL DE ESCORRENTÍA Y USOS	48
5.8.- SEPARACIÓN DE LA ESCORRENTÍA TOTAL EN SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	54
5.9.- DISPONIBILIDAD PARA NUEVOS DERECHOS	58
5.10.-CONCEPTO DEL DESARROLLO POSTER IOR DEL ESTUDIO.....	59

6. ANÁLISIS SECTOR CALAMA	60
6.1.- ANÁLISIS DE ANTECEDENTES APORTADOS POR CCM EQUATORIAL	
RESOURCES	60
6.2.- HIDROGEOQUÍMICA SECTOR CALAMA	63
6.2.1.- Objetivo.....	63
6.2.2.- Antecedentes hidroquímicos.....	63
6.2.3.- Análisis de la información.....	64
6.2.4.- Conclusión.....	69
6.3.- MODELO HIDROGEOLÓGICO CALAMA	70
6.3.1.- Descripción General.....	70
6.3.2.- Descripción Modelación Hidrogeológica.....	73
6.3.3.- Recalibración y Análisis de Sensibilidad	76
6.3.4.- Escenarios de Modelación.....	84
6.3.5.- Resultados de la Modelación.....	86
6.4.- CRITERIOS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA	
CALAMA	93
7. ANÁLISIS SECTOR LLALQUI.....	100
7.1.- ANÁLISIS DE ANTECEDENTES APORTADOS POR NAZCA S.A.....	100
7.2.- HIDROGEOQUÍMICA SECTOR LLALQUI.....	102
7.3.- VOLUMEN ALMACENADO.....	110
8. CONCLUSIONES	112

ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue encargado al Departamento de Estudios y Planificación (DEP) por la Dirección General de Aguas (DGA), a raíz de la gran cantidad de solicitudes de derechos de agua subterránea que han aparecido entre 1999 y 2002 en algunos sectores específicos de la cuenca del Loa, donde no está claro si los acuíferos puedan explotarse en la medida solicitada. Las circunstancias en que se encuentra la cuenca, son las siguientes: por un lado, el río Loa está declarado agotado, y por otro lado, el sistema río-acuífero está fuertemente interconectado en gran parte de la cuenca, lo que significa que una explotación subterránea intensiva necesariamente tendrá un impacto sobre los recursos superficiales. A lo señalado se suma el hecho de que ya hay una gran cantidad de derechos subterráneos constituidos, fundamentalmente para la minería, dentro de la cuenca. Todo lo anterior muestra la conveniencia de proceder a establecer los balances correspondientes, y de analizar, dentro de lo posible, los efectos de la utilización de nuevos derechos, antes de seguir constituyendo derechos subterráneos en la cuenca.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

2.1.- Objetivos del estudio

El presente estudio ha tenido por objetivo integrar la información existente sobre el sistema hídrico de la cuenca del Loa, y desarrollar los análisis correspondientes, de modo de evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas en sectores específicos, y los efectos de una explotación subterránea intensificada sobre los recursos superficiales. El estudio contiene los resultados de un estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca del Loa, los resultados de una modelación hidrogeológica en el sector específico de Calama, y algunas interpretaciones de información hidrogeoquímica en apoyo a los resultados hidrológicos.

Como conclusión final, se hace una estimación tanto de los recursos renovables como de los recursos no renovables, disponibles en la cuenca.

2.2.- Alcance del estudio

Los derechos subterráneos solicitados en la cuenca se encuentran todos concentrados en tres sectores: en el acuífero de Calama, en Quebrada del León o sector de las vegas de Turi (afluente norte del río Salado), y en la Pampa Llalqui, afluente por el sur a la confluencia Loa-Salado.

El presente estudio está enfocado a resolver, a la luz de los antecedentes existentes a la fecha, la situación de solicitudes de derechos en el acuífero de Calama, y en la Pampa Llalqui.

Para abordar el problema de la constitución de nuevos derechos en los sectores indicados, el presente estudio se ha estructurado en varias partes, que tienen diferentes alcances.

Se inicia el estudio con la presentación de algunos antecedentes generales a nivel de la cuenca completa, que son: antecedentes geológicos, antecedentes climáticos y antecedentes hidrogeoquímicos. Los antecedentes recopilados y presentados a nivel de cuenca, aunque generales, se consideraron relevantes para el tratamiento y planteamiento adecuado de los problemas a nivel local.

A continuación de ello, se presenta un análisis hidrológico en régimen natural, que abarca toda la cuenca del río Loa y sus afluentes. Este análisis comienza con la caracterización y cuantificación de la precipitación y de la evapotranspiración en la cuenca, y termina con la obtención de la cantidad de recurso disponible para escorrentía superficial y subterránea en cada subcuenca constitutiva.

Luego se desarrolla, para cada subcuenca constitutiva, el balance de escorrentía versus usos. Este balance, naturalmente, cubre toda la cuenca.

Estos balances son los que proporcionan el marco dentro del cual se establecen las condiciones de borde para la aplicación de los modelos hidrogeológicos.

Posteriormente, se presenta el trabajo realizado con el modelo hidrogeológico de Calama. Dicho modelo fue desarrollado por EQR, y luego modificado y mejorado en un trabajo conjunto entre EQR (Fernando Peralta) y los profesionales del DEP. El modelo cubre la zona del acuífero de Calama, entre Yalquincha y la vertiente Ojos de Opache.

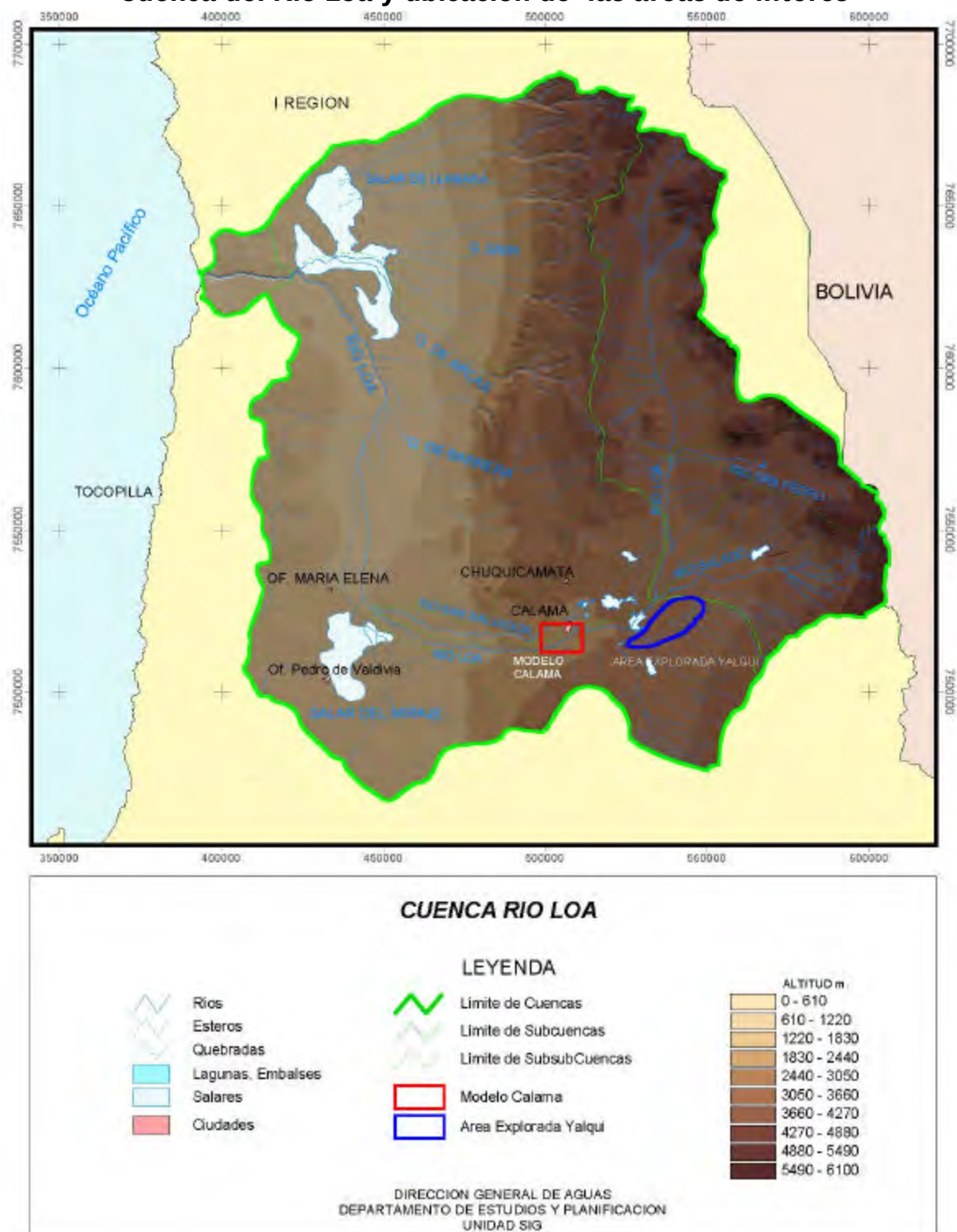
Por otro lado, se ha trabajado en la Pampa Llalqui, en base a estimaciones hidrogeológicas clásicas e interpretaciones hidrogeoquímicas. El modelo desarrollado por Nazca para este sector, no se ha utilizado, por considerarse que no hay antecedentes suficientes para sustentar la conceptualización.

Como conclusión del trabajo, se estima la cantidad de recursos renovables disponibles en la cuenca, y se estima también la cantidad de recursos no renovables, que representan un recurso disponible condicionado al hecho de que se cumpla una serie de criterios.

En la Figura N° 2.1 adjunta, se muestra la cuenca del Loa y la ubicación dentro de ella, de las áreas de interés que se tratan en el presente estudio.

Figura N° 2.1

Cuenca del Río Loa y ubicación de las áreas de interés



3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1.- Referencias Bibliográficas

Para la realización del informe, y para todos los estudios parciales constitutivos del presente estudio, se ha tenido como base y se ha analizado la información contenida en los siguientes estudios anteriores:

1. Balance Hídrico de Chile, Dirección General de Aguas, 1987.
2. Balance Hidrológico Nacional, II^a Región, Dirección General de Aguas, MOP, 1987.
3. Planchetas 1: 500.000 de Antofagasta, Calama e Iquique.
4. Proyecto CHI-535: Investigación de recursos hidráulicos en el norte grande. 1965. Se consultaron dos tomos: Información base e hidrogeología.
5. Memoria de Título: Modelo Hidrológico y de Constitución Química de la Cuenca del río Loa, 1970 - Humberto Peña T.
6. Cuenca Salar de Atacama. Informe Hidrogeológico. Evaluación de la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, Junio 1998. D. Orphanópoulos.
7. Análisis Estudio de Extracciones de Agua, Calama-Quillagua, II Región – IPLA 1995 para DGA Regional II^a Región.
8. “Caracterización de los recursos hídricos superficiales del río Loa. Diagnóstico actualizado para el año 1999”. Pontificia Universidad Católica de Chile, para Soquimich. Junio 1999.
9. Monitoreo del acuífero de Calama. Informe trimestral Diciembre 2001 a Febrero 2002. Fernando Peralta para Cía. Minera Leonor, Abril 2002.
10. Situación de los derechos de aprovechamiento de aguas en el sector de Calama, Octubre 2002. Fernando Peralta, para Compañía Minera Ecuatorial Resources.
11. Estudio hidrológico del río Loa – Sector Yalquincha a Junta con Río San Salvador, Noviembre 2002, Fernando Peralta para Cía. Minera Contractual Ecuatorial Resources.

12. Estudio de Riego de la Zona de Calama, Fernando Peralta y Cía Ltda.- Nov-2002
13. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Calama, Alamos y Peralta 1999.
14. Geophysical Data Interpretation and Updated Hydrogeologic Conceptual Model for the Calama Aquifer, Region II, Chile- Waterstone Marzo 2002.
15. Análisis de requerimientos de vegas y bofedales, I y II Regiones, DGA-2000.
16. Listado de derechos subterráneos constituidos y solicitados en la cuenca del Loa, hasta noviembre 2002, entregados por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la DGA (DARH).
17. Listado de derechos superficiales en la cuenca del Loa, según nómina actualizada a Noviembre 2002, de usuarios de la Junta de Vigilancia en Formación, entregada por el Director Regional DGA IIª Región.
18. Pampa Llalqui, Investigación y Evaluación Hidrogeológica. Nazca S.A. 2001.
19. Quebrada del León, Investigación y Evaluación Hidrogeológica. Nazca S.A, 2000 y 2001.

3.2.- Marco geológico general

El marco geológico que se expone a continuación, tiene como fuente principal lo señalado en la memoria de título de H.Peña. Es necesario señalar que este marco geológico general se ha verificado y conversado, además, en una reunión con los profesionales del Sernageomin, en la cual participaron los profesionales del DEP, el vulcanólogo Sr. Lara y el geofísico Dr. Igor Aguirre.

El análisis desarrollado en el estudio señalado, busca entregar una idea general de la geología de la cuenca, que permita comprender sus características hidrológicas e hidrogeológicas. Está basado en las publicaciones de Juan Brüggén, Ricardo Fenner y Hans Niemeyer.

Se afirma en el informe señalado, que, a grandes rasgos, la geología de la zona queda explicada con el estudio de la distribución espacial de cuatro grandes series. Estas series son las llamadas comúnmente: formación porfirítica correspondiente al

mesozoico, formación liparítica o riolítica, correspondiente al terciario medio, calizas del Loa, también del terciario medio, y la formación más reciente de andesitas y basaltos.

La formación porfirítica es una formación de rocas fundamentales, que está constituida por lavas, conglomerados, brechas, areniscas y tobas mesozoicas del jurásico y cretácico inferior.

A esta formación de rocas fundamentales pertenece la Cordillera del Medio Oeste; y por el Sur-Este los cerros de Tuina, los cerros de Limón Verde y los cerros de Ayquina y Cardenal. Más al Norte, esta formación está separando los Valles del río Salado y San Pedro, en los Cerros Redondo y Puntado. Estos macizos en algunos puntos han sido traspasados por intrusiones, como sucede en el mineral Chuquicamata y en el cerro Colorado, ubicado en la ribera Oeste del Loa casi frente a Taipa.

Esta serie es particularmente importante debido a su impermeabilidad, ya que desvía y estanca las corrientes de agua subterráneas.

Al comienzo del terciario inferior se produjo el primer plegamiento de la Cordillera de Los Andes, que significó la formación de grandes serranías de rumbo Norte-Sur, las que sufrieron fuerte erosión durante ese período. En este tiempo existía al Nor-Este del río Salado un amplio valle.

La formación liparítica, o también llamada riolítica, tuvo su origen, según J. Brüggén, en el terciario medio, y se manifiesta principalmente en las erupciones de los cerros Hojalar y Tatio. Está constituida por tobas, ignimbritas, tufitas, rodados y areniscas de carácter riolítico.

Esta formación se extendió sobre la roca fundamental mesozoica por toda la zona al Oriente de la Cordillera del Medio cubriendo valles del terciario inferior con una capa de espesor variable (300 m en la zona superior del río Toconce, 60 m en Ayquina y 50 m en Conchi) y dejando libre los cerros mesozoicos ya mencionados.

Esta formación es de permeabilidad variable y se cree que circularían corrientes subterráneas por ella, sin embargo, en distintos puntos es la causante de los afloramientos.

Esta formación posteriormente ha sido llamada Calama y Yalquinche, o también del Loa, que es la que se identifica tanto en el sector de Calama como de Llalqui. Junto con la formación de la serie riolítica se habrían depositado horizontalmente las calizas de agua dulce que constituyen las capas superiores de la mayor parte

de la cuenca del Loa. Estas capas se identifican con las formaciones de Opache y Toconce, en la Pampa Llalqui, y también de ChiuChiu, frente a Calama.

Su origen estaría en un lago del terciario medio, de unos 15 km de ancho, que se habría extendido sobre el actual curso del río Loa desde Conchi hasta Quillagua.

Durante el terciario superior estas formaciones sufrieron los grandes movimientos tectónicos de la alta cordillera, quedando la zona con una inclinación general hacia el Oeste.

Desde esa época los ríos comenzaron a profundizarse en las liparitas y calizas formando profundos cañones.

Finalmente, durante el Pleistoceno, en la región comenzó una intensa actividad volcánica que ha cambiado totalmente su topografía y red hidrográfica al interrumpir los antiguos valles con inmensas moles de andesita y basalto. Este es el origen de los volcanes Linzor, Toconce, del León, Paniri, San Pedro, San Pablo, Polapi, Cebollar, Palpana y muchos otros, y que han depositado en la zona una gran capa de ignimbritas, entre las cuales se identifica la ignimbrita Sifón..

De acuerdo con esta historia geológica, se describe a continuación la situación de los valles de los ríos San Pedro y Salado, principales afluentes a la cuenca del Loa.

En el valle del río San Pedro, tenemos como base las riolitas. Hacia el sur tenemos las porfiritas, que se manifiestan en un conjunto de cerros, entre los que sobresale el Carcanal. Hacia el Norte, se encuentran los volcanes del Pleistoceno, Poruña y San Pedro. A medida que nos acercamos a los Ojos de San Pedro, se observan las lavas que han descendido de los volcanes cubriendo la riolita. En los mismos Ojos de San Pedro, encontramos tobas, cenizas y arenas volcánicas muy recientes. Esta situación se mantiene en las Vegas de Inacaliri teniendo ahora los volcanes de San Pablo, Lay-Lay por el Norte y Paniri por el Sur. Esta formación geológica explica la infiltración que sufren los ríos en esa zona, a través del estrato de arenas volcánicas, muy permeable. Más arriba, en la hoya del Siloli, reaparecen las riolitas constituyendo la superficie del valle, mientras que el Inacaliri continúa en la formación del Pleistoceno.

La mayoría de los ríos tributarios del Salado nacen al pie de los macizos que surgieron como resultado del volcanismo del Pleistoceno. Cuando esta formación cuaternaria más permeable toma contacto con las riolitas, las corrientes subterráneas son obligadas a aflorar en forma de vertiente.

Los cursos de estos ríos se profundizan en la formación liparítica y contactan la roca fundamental solamente en la zona de Ayquina y en el río Hojalar cerca de la junta con el Toconce.

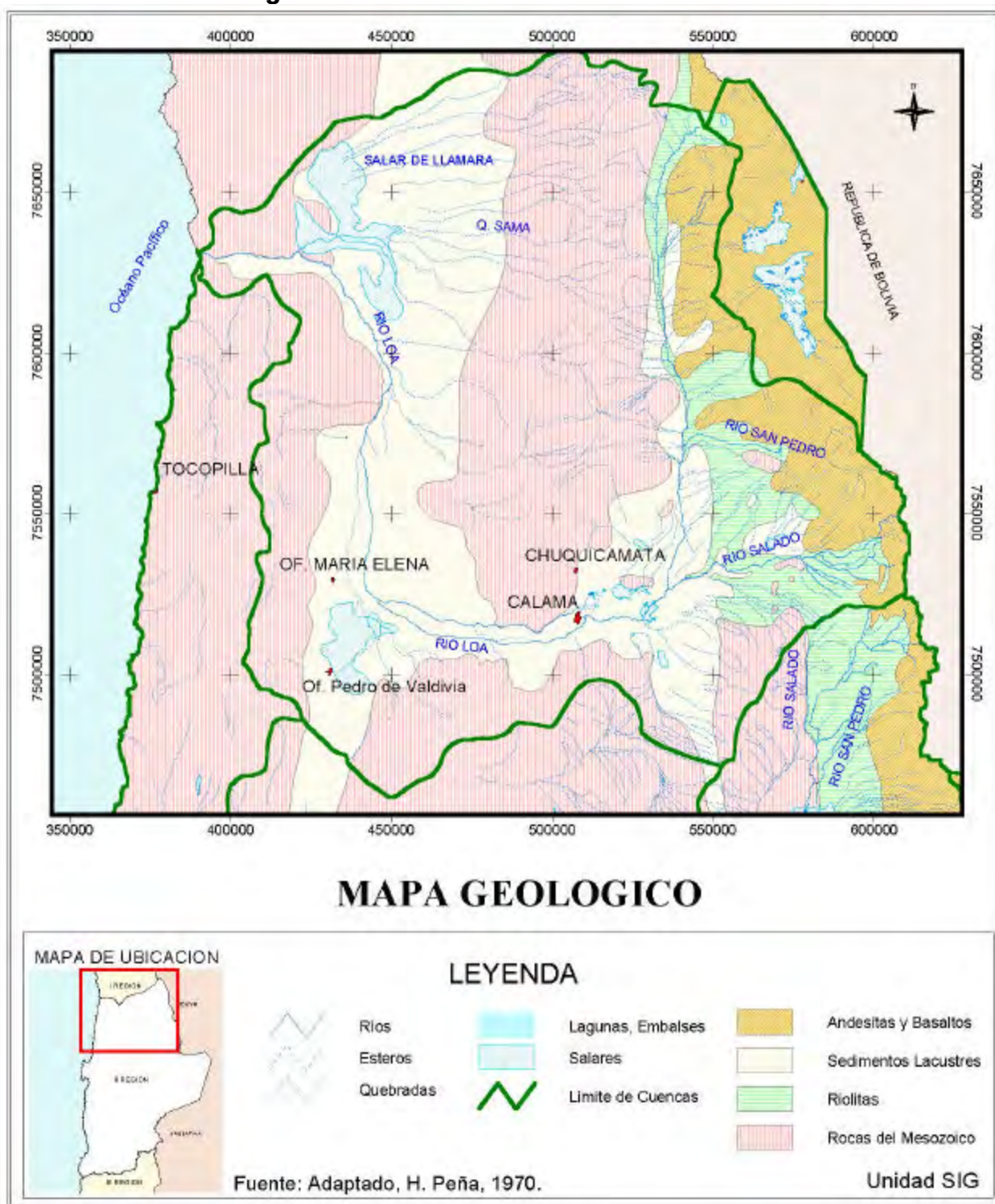
A medida que se acerca la confluencia con el Loa comienzan a aparecer las calizas y otros sedimentos recientes.

Todo lo señalado anteriormente, se profundiza y se detalla para las zonas de Calama y Llalqui, en los capítulos 6 y 7.

De acuerdo con la descripción geológica general presentada, se ha confeccionado el plano esquemático siguiente, en la Figura 3.1.

Figura N° 3.1

Geología General de la Cuenca del Río Loa



3.3.- Descripción general del clima

Las características climáticas de la cuenca del río Loa están determinadas principalmente por la ubicación geográfica, la existencia de la corriente de Humboldt y el relieve.

La cuenca del Loa queda ubicada en las inmediaciones del cinturón de las altas presiones subtropicales y consecuentemente su clima es árido. Esta característica se hace incluso más notoria a medida que aumenta la latitud, obteniéndose los valores de mayor sequedad para la zona inmediatamente al Sur del río Loa.

Debido al efecto de la corriente de Humboldt, las temperaturas son más frías que en otras regiones de igual latitud y se observa que a medida que nos internamos en el continente la temperatura aumenta. Por esto en la costa son muchos los días con nubes, lo que no es el caso al interior, que goza de abundante radiación.

Más cerca de la Cordillera de los Andes, se alcanzan mayores altitudes, y la temperatura comienza a disminuir a la vez que la frecuencia de las precipitaciones aumenta. Es así como sobre los 2.500 m llueve con alguna regularidad durante los meses de verano.

Las lluvias importantes son en su mayor parte convectivas, debido al gran calentamiento de las masas de aire en esos meses. Los vientos alcanzan altas velocidades, especialmente los del S.O.

Usando la clasificación de Köeppen, se puede decir que toda la zona es de clima árido. (B).

En la región costera tenemos un clima desértico con nublados abundantes (B Wn), más hacia el interior es desértico normal (B Wt) con gran sequedad del aire (35% de humedad), grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche (20°C) y cielos despejados; más hacia el interior tenemos un clima de desierto marginal de altura, que se diferencia del anterior por la disminución de la temperatura y la existencia de lluvias pequeñas y esporádicas. Sobre los 3.500 m, altitud que se alcanza en las nacientes del Loa, del San Pedro y del Salado, se tiene clima de estepa de altura (B.S.h.), las lluvias de verano son más frecuentes, las temperaturas muy bajas (-18°C en Cáblor) y las diferencias térmicas también son muy marcadas (hay mediciones de 25°C).

3.4.- Marco hidrogeoquímico general

En el presente apartado se analiza la evolución química de las aguas de la cuenca del río Loa con el objetivo de establecer un marco geoquímico general de los principales acuíferos y su interacción con las aguas superficiales. Para esto se cuenta con datos físico-químicos de aguas superficiales y subterráneas, recopilados desde distintos estudios efectuados en la zona, en conjunto con aquellos aportados por los peticionarios de derechos de aprovechamiento.

Los afluentes de aguas superficiales y napas subterráneas que aportan sus aguas al caudal del río Loa aguas arriba del sector denominado “Angostura”, se originan en el sector norte y este de la cuenca, a partir de los 2500 msnm., producto de las precipitaciones que caen mayoritariamente sobre la Cordillera de los Andes durante el período estival. En este sector de la cuenca, el río tiene un desarrollo norte-sur de aproximadamente 160 Km, debido a que se encuentra flanqueado al Este por la Cordillera de los Andes y al Oeste por la cordillera del Medio. Durante el período de estiaje, el río recibe principalmente los aportes de agua originados por el drenaje natural de las napas provenientes de la cordillera de los Andes, destacándose los ríos San Pedro y Río Salado, ambos con régimen permanente.

La composición química del río y de sus aportes está íntimamente relacionada con la morfología y la composición litológica de la cuenca alta. Sobre una base impermeable del Mesozoico, se constituye una secuencia sedimentaria superpuesta por sucesivos eventos volcánicos que se prolongan hasta el cenozoico. Con el levantamiento de la Cordillera de los Andes, en el sector Este de la cuenca, se configuró un plano inclinado donde el drenaje de las aguas se inicia en las formaciones volcánicas, situadas a mayor altura, para caer a las fases sedimentarias, ya sea en forma de escurrimiento superficial o por infiltración profunda. Las fases sedimentarias son heterogéneas y constituyen los principales acuíferos existentes, están compuestas por depósitos que van desde corrientes de barro representadas por las gravas de la formación Calama, hasta sedimentos lacustres o salares, originados por el control del sistema de fallas típico Norte-Sur. Es de real importancia el efecto causado por la Cordillera del Medio en la conformación de los acuíferos, y en los flujos subterráneos que se desplazan hacia el mar. Las fases volcánicas, si bien no constituyen buenos acuíferos, ejercen el control de los flujos de agua. Las más antiguas, compuestas de flujos riolíticos, son densas y de baja permeabilidad y donde aparecen provocan el afloramiento de las napas, generalmente, en los cursos medios de las quebradas afluentes al río. Las más recientes y de mayor permeabilidad, debido a su baja consolidación, están localizadas a mayor altura y cubren las principales zonas de recarga de la cuenca.

3.4.1.- Composición química y vías evolutivas

En la Figura N°3.2 se detalla la localización de los puntos de muestreo de calidad de aguas en napas, vertientes y ríos y en la Tabla 3.1. un resumen de los datos de estos puntos de muestreo. Debe hacerse presente que, para la confección de esta base consolidada de datos se han desechado todos aquellos análisis que sobrepasan un error de cierre del 10 % en el balance de iones.

En la Figura N°3.3 se han resumido y esquematizado las distintas conductividades y vías evolutivas presentes para las aguas tanto del curso superficial del río Loa como de las napas subterráneas. Este diagrama se ha efectuado sobre la base del promedio de los valores observados, por lo tanto no representa sino la generalidad de los procesos químicos dentro de la cuenca. En él se puede observar la alternancia entre las vías sulfatadas neutras y alcalinas, y además cálcicas a partir del ingreso del escurrimiento del río Salado al Loa, hasta la desembocadura.

Estas sales cálcicas están ligadas a la presencia de formaciones sedimentarias. Sin embargo, de la alta salinidad observada en estos cursos de agua, principalmente en altas concentraciones de Cl, Na y Ca, se infiere la ocurrencia de disolución de evaporitas y dilución de salmueras residuales. El aumento de salinidad producido por la evaporación, tendría un rol secundario, salvo en el curso inferior del río Loa, debido a la evaporación desde Salares, desde el propio cauce del río, y por la actividad de riego. No obstante, por definición, esta evaporación no sería la responsable del cambio de las vías evolutivas.

Aguas arriba de la junta con el Salado, no existen vías evolutivas cálcicas, de lo cual se infiere que los aportes significativos de Ca ingresan a partir de esta junta.

Aguas abajo de la junta con el Salado, la alternancia entre la vía cálcica y la sulfatada neutra además tiene una causa estacional: en época de estiaje, predomina la vía sulfatada neutra y en el período estival, la vía cálcica.

3.4.2.- Origen de los componentes disueltos

La Figura N°3.4 presenta la relación entre Cl y Na para todas las aguas de la cuenca del Loa. Salvo excepciones, la casi totalidad de los puntos de aguas de río, de napas y vertientes, se ubican bajo la recta de equimolaridad, sugiriendo que la disolución de halita no es la causa principal que explique la composición típica de las aguas.

La Figura N°3.5 presenta la relación Ca versus SO₄, al igual que para el caso anterior, tampoco se observa una alineación de los puntos sobre la recta de equimolaridad $Ca = SO_4$, salvo para algunos puntos. Sin embargo, se observa una

tendencia en las aguas de napas y vertientes a ubicarse por arriba de esta recta equimolar, al igual que las aguas del río Salado. No se observa esta tendencia en las muestras menos salinas del río Loa aguas arriba de la junta con el río Salado, ni tampoco en la totalidad de las muestras del río Toconce, ni en las aguas extremadamente salinas del río Loa desde Quillagua al mar. Por otro lado, las aguas del río Loa en período de estiaje muestran un acercamiento a esta recta equimolar, lo cual es concordante con lo observado en las vías evolutivas.

Finalmente, la Figura N°3.6 presenta la relación Cl versus Na + Ca, en la cual se observa que la mayoría de las aguas de esta cuenca tienen sus puntos sobre la recta de equimolaridad $\text{Na} + \text{Ca} = \text{Cl}$. De esto se puede inferir que la alta salinidad se debe a dos procesos, que son: la habitual redisolución de yeso y halita en formaciones geológicas de la cuenca, y, el proceso principal, la salinización de las napas de la cuenca por disolución de salmueras de tipo Na-Ca / Cl.

Figura N° 3.2

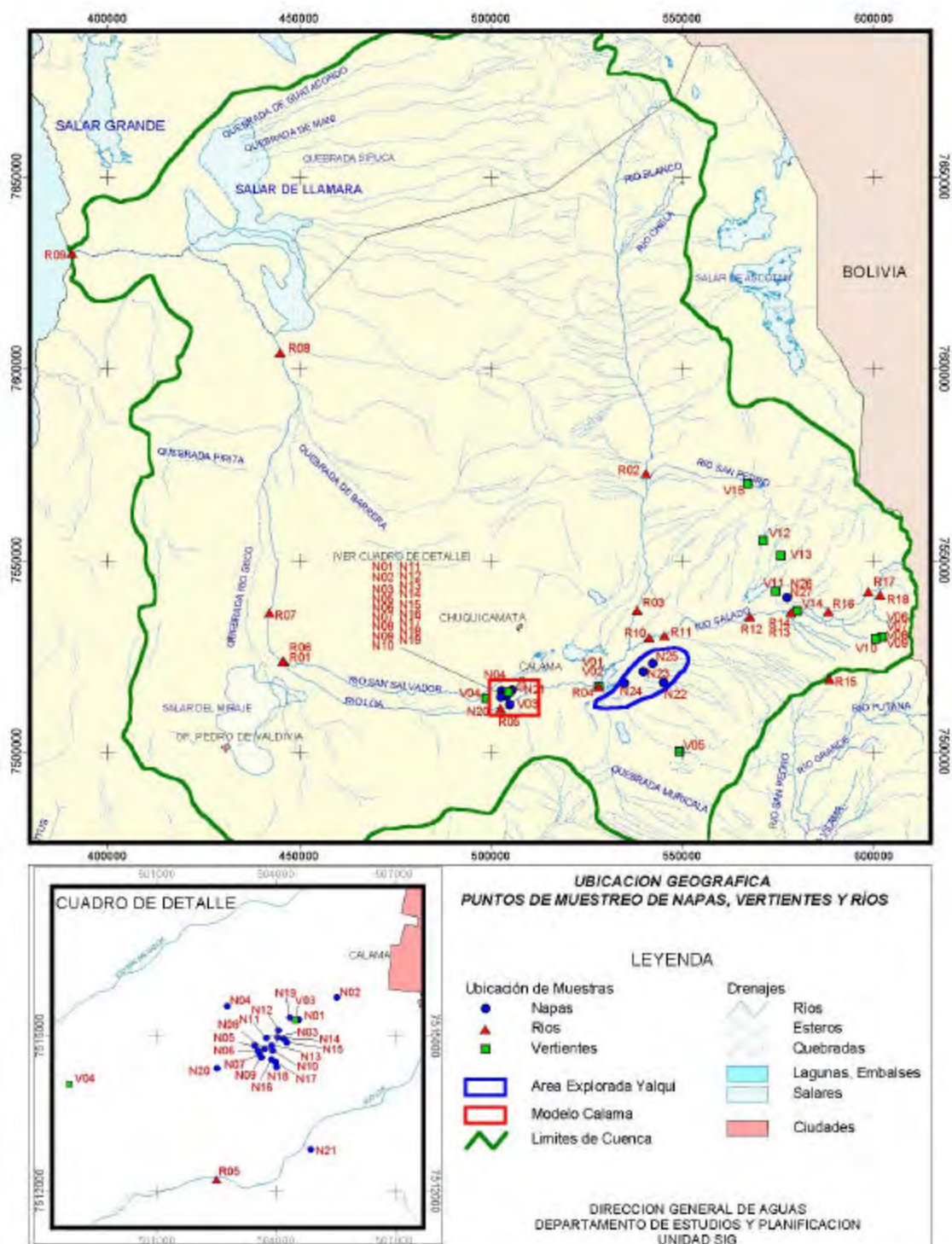
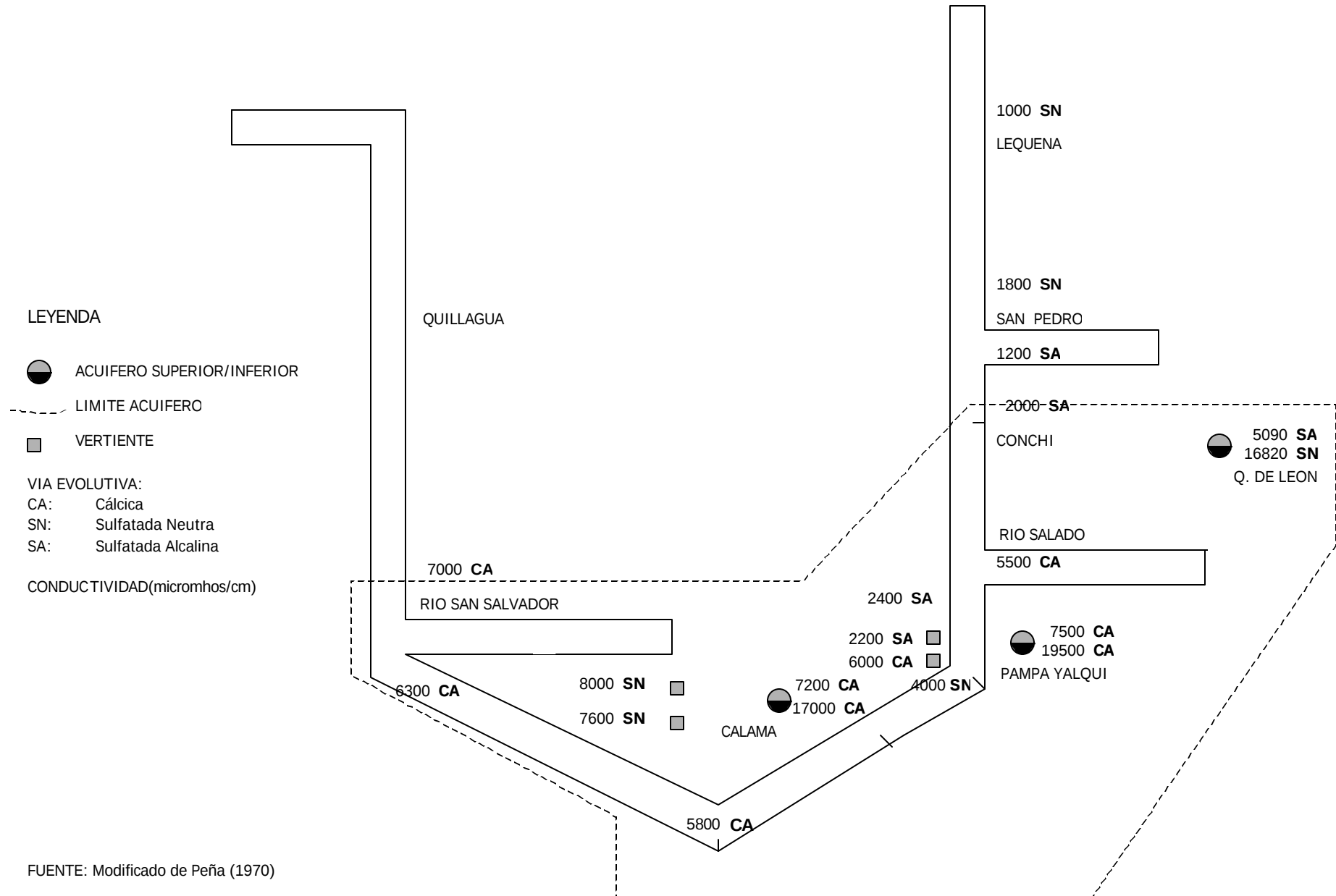


Figura N°3.3: Esquema de Conductividades y Vías Evolutivas



FUENTE: Modificado de Peña (1970)

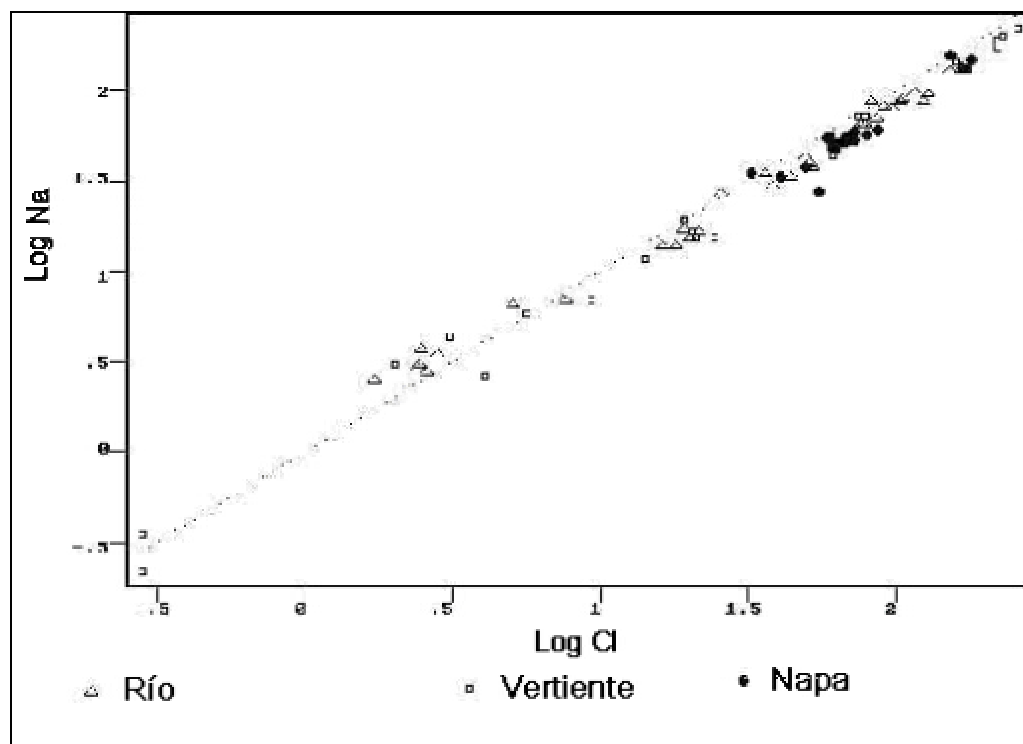


Figura N°3.4

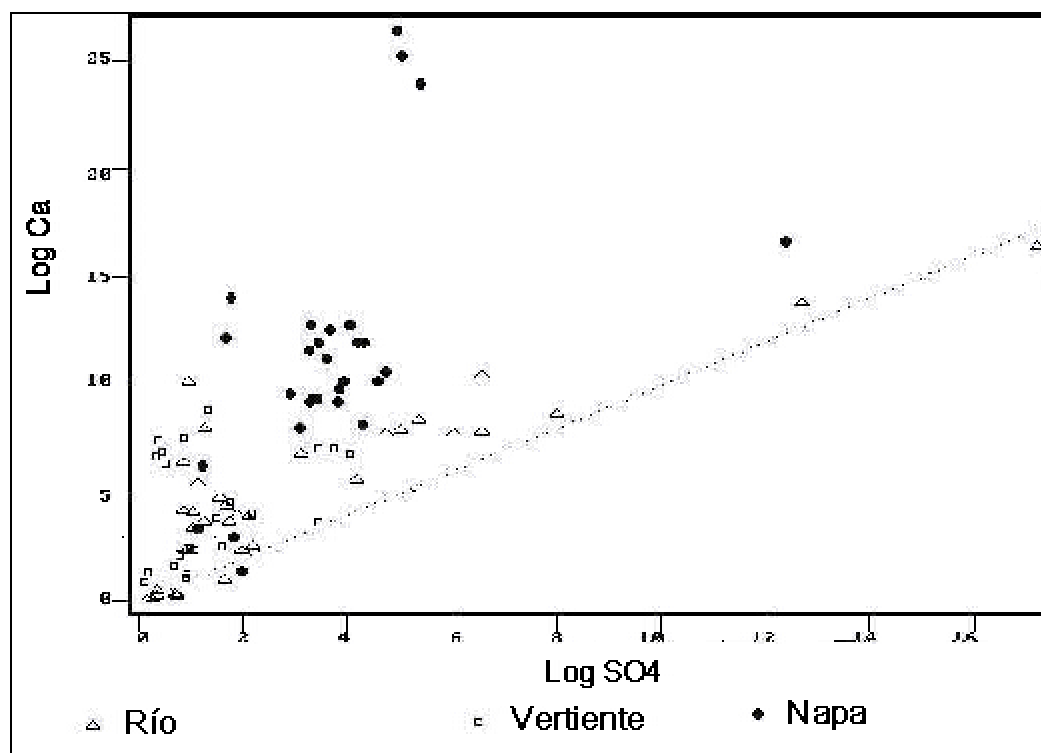


Figura N°3.5

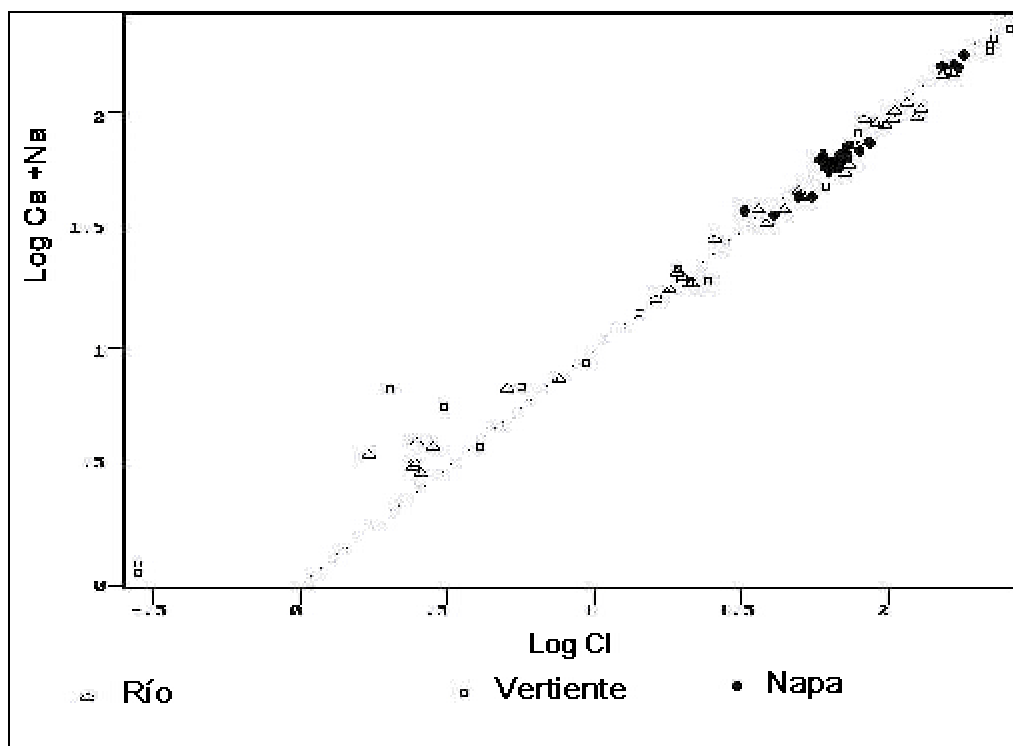


Figura N°3.6

Tabla 3.1. Resumen.

TABLA 3.1
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CUENCA DEL RIO LOA

numero	Fuente	Fecha	Acuífero/Sector	Prof/Hab	Nom. Est.	Alt	Este (m)	Nort(m)	std	cel	ph	t	Tipo Químico	Sobresaturación CaCO3	MgCO3	V.Evl.	Bíce. l.	alc	cl	so4	ca	mg	k	no3	na	si	li	b	as	O18	H2	H3
N01	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	45/si	ppr1	2220	504582	7515527	5740	7110	7.35	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	19	1	CA	10	7.96	59.69	3.94	10.19	3.00	2.11	0.0027	55.43	na	na	na	0.017	na	na	na
N02	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	55/si	ppr2	2231	505546	7516089	5720	7200	7.22	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	13	2	CA	1	7.28	67.58	3.10	8.00	5.19	2.45	0.0555	53.39	na	na	na	0.015	na	na	na
N03	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	55/si	ppr4	2214	504051	7515081	6280	7660	7.24	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	18	2	CA	1	7.92	70.76	4.60	10.19	5.19	2.69	0.1177	54.70	na	na	na	0.003	na	na	na
N04	CCM-Leonor	si	Calama Sup.	50/si	ppr5	2198	502772	7515863	5007	6560	7.35	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	9	—	CA	8	6.12	58.14	4.29	8.20	3.00	2.21	0.2052	54.35	na	na	na	0.014	na	na	na
N05	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-01	2206	503456	7514875	5200	7380	7.5	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	18	1	CA	2	7.72	67.46	4.75	10.60	3.40	2.75	0.0098	55.39	na	na	na	0.010	na	na	na
N06	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-04	2207	503542	7514744	5450	7200	8.25	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	15	1	CA	1	7.10	64.65	3.85	9.80	3.60	2.33	0.0366	51.09	na	na	na	0.008	na	na	na
N07	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-07	2209	503592	7514664	5140	6890	7.67	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	17	1	CA	1	7.90	62.31	3.26	9.20	3.80	3.78	0.1687	47.83	na	na	na	0.013	na	na	na
N08	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	99/si	p-09	2209	503717	7514797	5440	6920	8.31	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	15	1	CA	9	7.26	62.56	3.80	9.20	3.80	2.25	0.1482	49.39	na	na	na	0.012	na	na	na
N09	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-10	2209	503645	7514581	5340	6880	8.32	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	15	1	CA	1	7.20	61.52	3.40	9.40	3.20	2.20	0.1927	48.52	na	na	na	0.019	na	na	na
N10	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-12	2212	503931	7514747	4900	6870	7.54	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	18	1	CA	5	7.92	61.15	3.34	9.40	3.80	2.54	0.1794	51.09	na	na	na	0.017	na	na	na
N11	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-16	2211	503763	7515070	5900	7540	7.16	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	23	—	CA	1	7.80	69.69	3.65	12.59	1.60	2.42	0.0731	54.17	na	na	na	0.013	na	na	na
N12	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-18	2215	504075	7515259	5990	7740	7.23	na	Na-Ca-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	21	—	CA	5	7.78	71.30	4.32	12.00	2.60	2.21	0.0313	52.17	na	na	na	0.018	na	na	na
N13	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-19	2211	503891	7514882	5530	7440	7.15	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	23	—	CA	1	7.90	62.90	3.45	12.00	1.60	2.25	0.0148	49.17	na	na	na	0.011	na	na	na
N14	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-21	2216	504219	7515039	5140	6820	7.25	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	22	—	CA	1	7.98	60.82	3.60	11.20	1.20	2.58	0.0173	47.83	na	na	na	0.020	na	na	na
N15	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-24	2216	504277	7514962	5040	6950	7.16	na	Na-Ca-(Mg) / CH(HCO3)-(SO4)	19	1	CA	1	7.94	62.23	2.90	9.60	3.20	2.63	0.0384	48.09	na	na	na	0.023	na	na	na
N16	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-25	2212	503896	7514520	5220	6960	7.24	na	Na-Ca / CH(SO4)-(HCO3)	23	—	CA	1	8.04	61.52	4.20	12.00	1.00	2.91	0.2652	48.65	na	na	na	0.023	na	na	na
N17	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-26	2213	503993	7514460	6220	7940	7.51	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	26	—	CA	2	8.34	72.00	4.06	12.79	1.40	2.76	0.0424	58.70	na	na	na	0.022	na	na	na
N18	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-27	2212	504023	7514329	6290	8070	7.74	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	23	—	CA	5	8.18	72.34	3.26	11.60	1.60	2.48	0.0023	53.78	na	na	na	0.029	na	na	na
N19	CCM-Equatorial	si	Calama Sup.	60/si	p-30	2220	504354	7515587	5770	7550	7.22	na	Na-Ca / CH(HCO3)-(SO4)	21	—	CA	1	7.38	69.92	3.31	12.79	1.20	2.28	0.0548	54.39	na	na	na	0.020	na	na	na
N20	CMLB	04/07/01	Calama Inf.	350/181-342	PBC-2	2194	502512	7514296	5228	5100	7.1	na	Ca-Na-Mg / Cl-SO4-HCO3	21	3	CA	1	7.23	54.91	12.40	16.62	12.8	0.33	0.1550	27.30	na	0.0003	0.02	0.000	na	na	na
N21-1	CMLB	18/03/02	Calama Inf.	303/225-297	CMG-1/P9	2212	504881	7512258	10950	17100	6.79	na	na	na	na	na	na	na	119.72	24.29	na	na	na	na	na	na	0.66	2.18	0.002	na	na	na
N21-2	CMLB	15/04/02	Calama Inf.	303/225-297	CMG-1/P9	2212	504881	7512258	11700	15500	6.93	na	na	na	na	na	na	na	121.70	27.08	na	na	na	na	na	na	0.58	1.25	0.002	na	na	na
N21-3	CMLB	15/05/02	Calama Inf.	303/225-297	CMG-1/P9	2212	504881	7512258	11900	17150	6.61	na	na	na	na	na	na	na	117.45	29.68	na	na	na	na	na	na	0.65	2.50	0.002	na	na	na
N21-4	CMLB	19/07/02	Calama Inf.	303/225-297	CMG-1/P9	2212	504881	7512258	9980	13720	7.4	na	na	na	na	na	na	na	111.55	22.61	na	na	na	na	na	na	0.66	6.19	0.000	na	na	na
N21-5	CMLB	18/12/02	Calama Inf.	303/225-297	CMG-1/P9	2212	504881	7512258	11300	15700	6.76	na	na	na	na	na	na	na	118.03	27.92	na	na	na	na	na	na	0.62	2.28	0.002	na	na	na
N22-1	Nazca	15/06/00	Llailui Inf.	336/68-336	E3-L3/L4	2558	545060	7518090	11500	18670	6.5	33	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	46	2	CA	5	10.10	167.32	5.39	23.94	5.76	3.68	0.0239	134.78	0.52	0.83	na	0.000	-6.35	-47.85	
N22-2	Nazca	11/09/00	Llailui Inf.	336/68-336	E3-L3/L4	2558	545060	7518090	14360	19820	6.35	33	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)	50	2	CA	9	10.30	178.03	4.95	26.43	6.13	3.86	0.0142	147.83	0.68	0.97	na	0.000	na	na	na
N22-3	Nazca	15/09/00	Llailui Inf./Sup	336/0-336	E3-L1/L3/L4	2558	545060	7518090	13900	19930	6.45	33	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	54	2	CA	2	10.74	171.55	5.03	25.19	5.56	4.35	0.0194	130.43	0.65	0.94	na	0.000	na	na	na
N23	Nazca	11/09/00	Llailui Sup.	120/0-120	P1-L1	2526	539660	7520850	4020	6210	7.76	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)	4	—	CA	9	3.95	49.01	1.22	6.26	4.69	1.57	0.0034	37.30	1.35	0.51	na	0.017	na	na	na
N24-1	Nazca	05/09/00	Llailui Sup.	120/0-120	P2-L1	2494	534720	7517920	7340	10100	6.42	na	Na-Ca-(Mg) / Cl-(HCO3)	8	—	CA	7	4.59	79.44	1.68	12.17	5.64	1.54	0.0045	56.96	1.32	0.71	na	0.006	na	na	na
N24-2	Nazca	11/09/00	Llailui Sup.	120/0-120	P2-L1	2494	534720	7517920	7790	10150	6.55	na	Na-Ca-(Mg) / Cl	8	—	CA	9	4.43	85.63	1.78	14.06	6.30	1.70	0.0047	60.00	1.43	0.79	na	0.011	na	na	na
N25	Nazca	09/09/00	Llailui Sup.	180/0-64	Px-L1	2510	535350	7523200	2900	5160	7.23	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)	—	—	CA	2	1.98	40.28	1.82	2.99	2.16	1.15	<0.0002	33.57	0.03	0.35	na	0.002	na	na	na
N26	Nazca	01/06/00	Q. León Inf.	qe3/12	3138	577300	7540200	11350	16820	5.22	na	Na / Cl	—	—	SN	8	1.62	152.11	1.97	1.42	3.73	4.14	0.0003	156.96	0.58	0.22	na	0.038	-7.54	-51.12		
N27	Nazca	01/06/00	Q. León Sup.	qe2/11	3138	577300	7540200	3975	5090	7.5	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	10	1	SA	8	8.54	32.39	1.15	3.34	2.11	0.89	0.0023	35.00	0.03	1.35	na	0.001	-6.58	-49.34		
V01	Peña-1970		Loa		Vert. Angostura-1	2460	528100	7517000	3818	5980	7.2	na	Na-(Mg)-(Ca) / Cl-(SO4)	—	—	CA	3	1.80	61.20	1.75	4.60	4.90	1.30	na	44.00	na	na	0.93	na	na	na	na
V02	Peña-1971		Loa		Vert. Angostura-2	2460	528100	7517000	1467	2180	7.7	na	Na-Mg-(Ca) / Cl-(HCO3)-(SO4)	4	—	SA	3	5.60	14.10	1.60	2.55	3.20	0.60	na	11.60	na	na	0.56	na	na	na	na
V03	CCM-Leonor		Loa		Vert.Likantatay	2218	504506	7515511	5450	7720	7.1	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)-(HCO3)	12	2	SN	3	7.67	59.44	4.06	6.81	4.94	2.02	na	52.17	na	na	na	0.000	na	na	na
V04-D	Nazca	01/10/99	Loa		Vert.Ojo de Opache	2065	498800	7513900	5025	na	7.9	26	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	11	2	CA	5	7.25	68.17	3.75	7.06	4.98	2.20	0.3097	52.17	1.45	0.58	na	0.027	na	na	na
V04-W	Nazca	20/03/00	Loa		Vert.Ojo de Opache	2065	498800	7513900	5400	7740	7.6	16	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(SO4)	2	—	CA	1	3.31	67.04	3.46	7.06	4.94	1.93	0.0305	50.43	1.23	0.55	na	0.025	na	na	na
V05-W	Nazca	20/03/00	Loa		AguadaLaTeca	2950	549100	7500100	1060	1140	7.8	19	Ca-Na-(Mg) / SO4-(HCO3)-(Cl)	4	—	CA	4	2.59	2.00	3.45	3.666	0.75	0.062	0.0002	3.06	0.68	0.01	na	0.000	-4.91	-34.57	1.98
V06-W	Nazca	01/01/70	Salado		TatioOjo1	4250	602000	7530000	13232	na	7.22	na	Na-(Ca) / Cl	—	—	CA	3	0.32	217.97	0.396	7.407	0.05	11.25	na	186.96	6.53	0.45	na	na	na	na	na
V07-D	Nazca	01/12/70	Salado		TatioOjo2	4250	602000	7530000	15578	na	7.38	na	Na-(Ca) / Cl	—	—	CA	1	0.32	254.56	0.438	6.883	0.03	16.37	na	220.							

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CUENCA DEL RIO LOA

numero	Fuente	Fecha	Acuífero/Sector	Prof/Hab	Nom. Est.	Alt	Este (m)	Nort.(m)	std	cel	ph	t	Tipo Químico	Sobresaturación CaCO3	MgCO3	V.Evl.	Bice. l. %	alc	cl	so4	ca	mg	k	no3	na	si	li	b	as	O18	H2	H3
R17-W	Nazca	20/03/00	Salado		Río Toconce en Linzor	4050	598500	7541800	490	na	7.28	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-SO4-(HCO3)	na	na	SA	10	0.61	2.48	0.76	0.304	0.2	0.338	0.0015	3.71	0.58	0.09	na	0.009	na	na	na
R17-I	Nazca	15/06/00	Salado		Río Toconce en Linzor	4050	598500	7541800	480	690	7.32	20	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-SO4-(HCO3)	na	na	SA	1	0.62	2.42	0.719	0.292	0.21	0.348	0.0024	3.04	0.68	0.08	na	0.009	na	na	na
R18-D	Nazca	01/10/99	Salado		Río Hojalar sobre Linzor	4480	601700	7541000	487	na	8.1	25	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	na	na	CB	1	2.25	5.07	0.344	0.274	0.21	0.384	0.0032	6.52	0.63	0.12	na	0.027	-7.9	-55.23	0.8
R18-W	Nazca	20/03/00	Salado		Río Hojalar sobre Linzor	4480	601700	7541000	448	680	8.8	21	Na-(Mg)-(Ca) / Cl-HCO3-(SO4)	na	na	CB	1	1.11	2.59	0.198	0.19	0.2	0.437	0.0010	2.80	0.58	0.10	na	0.012	-8.43	-56.21	na
R18-I	Nazca	15/06/00	Salado		Río Hojalar sobre Linzor	4480	601700	7541000	422	644	6.13	16	Na-(Mg)-(Ca) / Cl-HCO3-(SO4)	na	na	CB	5	1.13	2.39	0.26	0.187	0.21	0.409	0.0002	2.96	0.65	0.10	na	0.010	na	na	na
P01-W	Nazca	20/03/00	Precipitación		Cerro Aucanquilcha-nieve	5500	533900	7652800	10	310	5.1	0	na	na	na	na	41	0.02	0.03	0.01	0.01	0.003	0.00	0.0003	0.01	0.02	0.01	na	0.000	-14.4	-100.62	na
P02-W	Nazca	20/03/00	Precipitación		Ascotan	3956	575800	7597800	120	100	7.8	na	na	na	na	na	16	0.15	0.79	0.22	0.25	0.03	0.07	0.0200	1.00	0.03	0.01	na	0.000	-11.19	-72.34	4.73
P03-W	Nazca	20/03/00	Precipitación		Colchane	3965	536800	7869500	40	90	7.8	na	na	na	na	na	35	0.07	0.28	0.11	0.07	0.03	0.03	0.0152	0.18	0.03	0.00	na	0.000	-9.83	-63.26	na
P04-W	Nazca	20/03/00	Precipitación		Collacagua	3990	518200	7778300	29	1.6	7.8	na	Ca-Na-(Mg) / Cl-SO4-(HCO3)	na	na	SN	8	0.07	0.14	0.05	0.07	0.02	0.04	0.0044	0.07	0.03	0.00	na	0.000	-11.13	-78.09	na
P05-W	Nazca	20/03/00	Precipitación		El Tatío	4345	601700	7526200	18	70	7.8	na	na	na	na	na	43	0.02	0.14	0.05	0.03	0.01	0.01	0.0048	0.08	0.02	0.00	na	0.000	-8.9	-53.77	2.6
P06-I	Nazca	15/06/00	Precipitación		Cerro Cupo	na	na	na	5	10	4.49	0	na	na	na	na	25	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.0023	0.01	0.02	0.00	na	0.000	-10.69	-69.47	na
R19-1	CHI	si	Salado		Río Salado RCH	na	na	na	3950	6395	8.1	na	Na-(Ca) / Cl	na	na	na	na	2,764	62.45	0.305	3.192	1.52	2.251	na	54.26	na	na	na	0.026	na	na	na
R19-2	CHI	si	Salado		Río Salado RCH	na	na	na	4453	7364	8.4	na	Na-(Ca) / Cl-(HCO3)	na	na	na	na	5,189	69.66	0.5	2.494	0.49	3.41	na	62.61	na	na	na	na	na	na	na
R20	CHI	si	Salado		Río Salado Antes Toconce	na	na	na	4550	7636	8.4	na	Na-(Ca) / Cl-(HCO3)	na	na	na	na	6,066	66.50	0.8	2.577	0.58	2.643	na	64.66	na	na	na	na	na	na	na
R21-1	CHI	si	Salado		Río Salado Antes Caspana	na	na	na	4240	5525	7.7	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)	na	na	na	na	11.54	57.46	0.416	5.187	2.63	2.072	na	49.96	na	na	na	0.008	na	na	na
R22-2	CHI	si	Salado		Río Salado Antes Caspana	na	na	na	5100	8786	8	na	Na-(Ca) / Cl-(HCO3)	na	na	na	na	8.2	72.96	0.588	4.156	0.69	3.672	na	70.68	na	na	na	na	na	na	na
R23-1	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	505	712	7.4	na	Na-(Ca) / Cl-(HCO3)-(SO4)	na	na	na	na	1.738	4.03	0.656	0.698	0.14	0.307	na	5.13	na	na	na	na	na	na	na
R23-2	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	495	681	7.5	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	na	na	na	na	1.787	3.72	0.698	0.499	0.35	0.332	na	4.78	na	na	na	na	na	na	na
R23-3	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	528	710	7.2	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	na	na	na	na	1.738	3.94	0.719	0.474	0.33	0.358	na	5.13	na	na	na	na	na	na	na
R23-4	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	540	704	7.3	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	na	na	na	na	1.738	3.89	0.688	0.474	0.33	0.384	na	5.04	na	na	na	na	na	na	na
R23-5	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	503	686	7.4	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	na	na	na	na	1.656	3.86	0.656	0.524	0.33	0.358	na	4.78	na	na	na	na	na	na	na
R23-6	CHI	si	Salado		Río Toconce DOS	na	na	na	507	780	7.5	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	na	na	na	na	1.915	3.95	0.658	0.778	0.27	0.307	na	5.20	na	na	na	0.012	na	na	na
R24-1	CHI	si	Salado		Río Toconce antes Salado	na	na	na	1620	2669	8	na	Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)	na	na	na	na	5.28	19.66	0.375	2.319	2.06	0.87	na	17.00	na	na	na	0.007	na	na	na
R24-2	CHI	si	Salado		Río Toconce antes Salado	na	na	na	1870	2930	8.3	na	Na-(Mg)-(Ca) / Cl-HCO3	na	na	na	na	7.67	20.51	0.59	1.662	2.26	1.149	na	20.43	na	na	na	na	na	na	na
R25	Peña 1970	Promedio	Río Loa		Ilequena				696	1040	7.9		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	1	na	SN	9	3.4	4.30	1.15	1.8	1.15	0.4	na	4.60	na	na	0.37	na	na	na	na
R26	Peña 1970	Promedio	Río Loa		taira				1012	1550	7.6		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	4	na	SN	7	5	8.50	0.75	2.75	1.5	0.5	na	7.00	na	na	0.56	na	na	na	na
R27	Peña 1970	Promedio	Río Loa		la-bajada				1015	1600	7.8		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	5	na	SA	7	5.5	8.50	0.5	2.5	1.75	0.5	na	7.00	na	na	0.56	na	na	na	na
R28	Peña 1970	Promedio	Río Loa		sla-barbara				1036	1600	8		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	5	na	SA	3	5.5	9.00	0.5	2.75	1.5	0.5	na	7.00	na	na	0.56	na	na	na	na
R29	Peña 1970	Promedio	Río Loa		la-isla				1088	1650	7.9		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	7	na	SA	6	6	9.00	0.5	3	1.5	0.5	na	7.50	na	na	0.56	na	na	na	na
R30	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-ant./ita.s.ped				1152	1780	7.8		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	6	na	SN	7	6	9.30	0.85	3.05	1.9	0.4	na	8.00	na	na	0.56	na	na	na	na
R31	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-des./ita.s.p				1098	1650	7.9		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	6	na	SA	6	5.8	9.00	0.75	2.9	1.95	0.4	na	7.30	na	na	0.51	0.001	na	na	na
R32	Peña 1970	Promedio	Río Loa		conchi				1361	2030	7.9		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	10	1	SA	2	7.5	11.00	0.95	3.25	2.35	0.5	na	9.10	na	na	0.46	0.003	na	na	na
R33	Peña 1970	Promedio	Río Loa		lazana				1301	2050	8		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	7	1	SA	3	6.7	11.60	0.7	2.7	2.4	0.5	na	9.60	na	na	0.56	0.003	na	na	na
R34	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-ant./ita.sald				1303	1980	7.9		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-HCO3-(SO4)	4	na	SA	3	5.6	12.20	1.1	2.2	2.5	0.6	na	10.60	na	na	0.56	0.003	na	na	na
R35	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-desp./ita.salad				1555	2440	8		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-HCO3-(SO4)	5	1	SA	1	6.2	16.20	1.05	2.35	2.8	0.8	na	13.10	na	na	0.56	0.003	na	na	na
R36	Peña 1970	Promedio	Río Loa		la-isla				2056	3260	7.5		Na-Ca-(Mg) / Cl-HCO3-(SO4)	11	2	SA	9	8.8	22.30	0.9	3.25	2.9	1.5	na	16.30	na	na	0.65	0.001	na	na	na
R37	Peña 1970	Promedio	Río Loa		angostura				2413	3900	7.8		Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)	8	1	SN	4	6.8	30.40	0.65	3.85	3	1.2	na	25.00	na	na	0.65	0.003	na	na	na
R38	Peña 1970	Promedio	Río Loa		escorial				2398	4030	8		Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	3	na	SN	3	4.4	32.90	1.35	3.2	3.05	1.1	na	25.20	na	na	0.65	0.005	na	na	na
R39	Peña 1970	Promedio	Río Loa		terrazza				2776	4370	7.7		Na-(Ca)-(Mg) / Cl-(HCO3)-(SO4)	8	1	SN	1	7.1	35.70	1.15	4	3.05	1.1	na	29.40	na	na	0.93	0.017	na	na	na
R40	Peña 1970	Promedio	Río Loa		chintoraste				3340	5780	7.9		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-(SO4)-(HCO3)	1	na	CA	3	3.2	49.20	2.1	3.85	4.1	1.6	na	37.70	na	na	1.11	0.016	na	na	na
R41	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-ant.s.salvador				3991	6250	8		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-(SO4)-(HCO3)	2	na	CA	1	3.6	58.80	2.45	4.5	5.15	2	na	45.80	na	na	1.02	0.013	na	na	na
R42	Peña 1970	Promedio	Río Loa		loa-desp.s.salvador				4326	6870	7.9		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-(SO4)-(HCO3)	2	na	CA	1	3.7	63.50	2.65	5	5	2.2	na	50.80	na	na	1.30	0.013	na	na	na
R43	Peña 1970	Promedio	Río Loa		quillagua				5170	7640	7.9		Na-(Mg)-(Ca) / Cl-(SO4)-(HCO3)	5	1	SN	1	5	73.70	3.7	5.55	6	2.2	na	61.80	na	na	1.57	0.015	na	na	na

T = temperatura en C°. ALC = alcalinidad en meq/l.

CEL = conductividad en micromhos/cm. Otros componentes en mmol/l. na = no analizado.

Vías Evolutivas = SA:Sulfatada Alcalina, SN:Sulfatada Neutra; CA: Cálctica; CB: Carbonatada

4. BALANCE HIDROLÓGICO

El balance hidrológico se plantea a nivel de la cuenca completa del río Loa, con el fin de conocer los caudales que constituyen la esorrentía, que es el recurso renovable de la cuenca. La esorrentía se manifiesta superficial o subterráneamente.

En el caso de la cuenca del río Loa, la esorrentía se genera en las cabeceras de cada una de las subcuencas integrantes, donde la evapotranspiración no es capaz de consumir toda el agua que aporta la precipitación. La esorrentía que se genera ahí, da lugar a los recursos superficiales y subterráneos del valle, los que más abajo pueden ser consumidos por medio de usos consuntivos, o son nuevamente sometidos a evaporación a través de su exposición a la acción de la atmósfera en salares o vegas. Los excedentes de usos y pérdidas naturales finalmente llegan al mar.

Como se ha dicho, la esorrentía constituye el recurso renovable de la cuenca. Por contraste con los recursos renovables, superficiales y subterráneos, también existe un recurso no renovable, almacenado en los acuíferos.

En lo que sigue, se hace una estimación de la esorrentía renovable mediante la aplicación de un balance hidrológico.

4.1.- Objetivo del balance hidrológico

El planteamiento del balance hidrológico para la cuenca del río Loa tiene dos objetivos:

En primer lugar, el balance se efectuó con la finalidad de configurar un marco global y coherente de la cuenca del Loa y del funcionamiento de su sistema hídrico. Esto parece de suma relevancia dado que dentro de esta cuenca se están desarrollando varios modelos hidrológicos e hidrogeológicos, los cuales deben operar en forma coherente y sin generar contradicciones entre ellos. Todos estos modelos deben, enmarcarse dentro de la disponibilidad de aguas observada y estimada para la cuenca como un todo, y además, deben ser coherentes en cuanto a sus entradas y salidas, lo que resulta especialmente evidente cuando representan zonas aledañas.

El segundo objetivo del balance hidrológico, es el de generar las entradas hidrológicas para el balance de usos, que se presenta en el capítulo 5.

4.2.- Metodología

Para plantear el balance hidrológico, metodológicamente se ha procedido de igual manera que para el Salar de Atacama en el estudio realizado en 1998 por D. Orphanópoulos para la DGA, metodología, por lo demás, muy similar a la utilizada en el estudio del Balance Hidrológico II^a Región, efectuado por la DGA en 1985.

El balance se basa en la siguiente ecuación:

$\begin{aligned} &\text{Aportes Precipitación} - \text{Evapotranspiración} - \text{Evaporación} = \\ &\text{Escorrentía Superficial} + \text{Subterránea Renovable} \end{aligned}$
--

Dicha ecuación no considera fuentes de entrada diferentes a los aportes de la precipitación. Tales fuentes podrían ser los trasvases superficiales desde otras cuencas, que no existen en la cuenca del Loa, o las entradas subterráneas desde otras cuencas, si la cuenca hidrológica no coincidiera con la cuenca hidrogeológica.

En cuanto a posibles aportes subterráneos desde cuenca vecinas, que ocurrirían a través de las cadenas volcánicas del Altiplano, esta idea se ha barajado para la subcuenca del río Salado, y específicamente ha sido aportada por Nazca para justificar una separación de los acuíferos somero y profundo, tanto física como en cuanto al origen de sus aguas. Esta idea, sin embargo, no tiene respaldo en las caracterizaciones hidroquímicas ni isotópicas, ni tampoco se justifica a la luz del

presente balance, realizado para cada una de las subcuencas, el cual explica todos los caudales que se observan y se obtienen dentro de la cuenca.

En cuanto a la evaporación, en la cuenca del Loa ella se produce desde los salares y desde los cauces, mientras que la escorrentía se genera en altitudes mayores a 4000 msnm. Dada esta configuración, donde la evaporación se produce aguas abajo de la generación de escorrentía, y además, está en competencia con los usos, se decidió tratar la evaporación dentro del balance de usos.

La forma de estimar los términos de aportes por precipitación y evapotranspiración natural, se presenta a continuación.

4.2.1.- Aportes de precipitación

Se asume que las precipitaciones constituyen la fuente principal de los recursos hídricos renovables que ingresan al sistema.

En el caso bajo análisis no hay trasvases superficiales. Por lo anterior, se asume que la precipitación sobre la cuenca constituye la principal fuente de recursos hídricos renovables, superficiales y subterráneos, dentro de la cuenca.

La precipitación en la cuenca del Loa está registrada en las estaciones que se consignan en la Tabla N° 4.1, y se grafican, en función de la altitud, en la Figura N° 4.1.

En la Figura N° 4.1 se observa que hay dos tendencias de precipitación media anual en función de la altura:

- la superior, que representa el comportamiento de las estaciones que se ubican en una vertiente con exposición predominantemente al este
- la inferior, que representa el comportamiento de estaciones ubicadas en una vertiente de exposición predominantemente oeste, o en sombras convectivas.

La recta superior representa el comportamiento de las cuencas del Salado, Pampa Llalqui, Calama y Salar de Llamara, mientras que la recta inferior representa la cuenca de San Pedro.

La cuenca del río Loa, tanto en su cuenca alta (sobre Lequena), como media (Lasana-ChiuChiu), presenta un comportamiento mixto, el cual podría atribuirse a que esta cuenca presenta dos tipos de vertientes: de exposición este y oeste. Por

este motivo, se ha asumido para la cuenca del Loa un comportamiento intermedio entre ambas rectas.

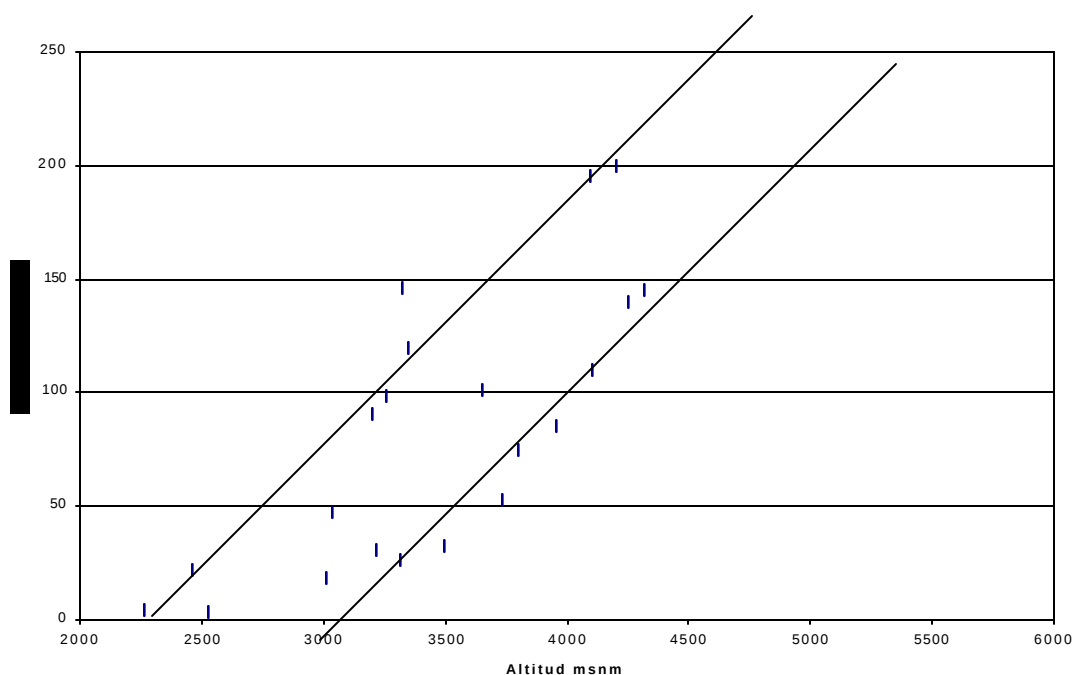
Las extrapolaciones para alturas superiores se obtienen de las mismas rectas que definen el comportamiento de cada subcuenca.

Tabla N° 4.1
Estaciones pluviométricas cuenca río Loa y altiplánicas adyacentes

Nombre estación	PP media anual mm	Altitud msnm
Ujina	4200	200,1
Collahuasi	4250	139,6
Ollagüe	3650	101,5
Cebollar	3730	52,5
Ascotán	3956	85,5
San Pedro de Conchi	3217	30,5
Parshall 2	3318	26,7
Ojos de San Pedro	3800	74,6
Inacaliri	4100	110,2
Conchi Viejo	3491	32,4
Conchi Embalse	3010	18,7
Linzor	4096	195,8
Toconce	3350	120
Ayquina	3031	47,4
Salado embalse	3200	90,7
Caspana	3260	98,7
El Tatio	4320	145,3
ChiuChiu	2524	3,5
Calama	2260	4
Lequena	3320	146
Huatacondo	2460	21,7

Figura N° 4.1

Precipitación en función de la altitud, Cuenca Loa y Altiplano adyacente



Para la cuenca bajo análisis, se ha examinado las extrapolaciones logarítmicas de 700 u 800 mm de precipitación para alturas de 5500 msnm, que propone Nazca. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión de que dichas extrapolaciones estarían fuera de lugar en esta cuenca. Aunque aparentemente bien fundamentadas, dichas extrapolaciones en realidad se apoyan en dos datos de precipitación obtenidos en estaciones de países vecinos cuya ubicación no se conoce y que más bien parecen responder o estar influido por otro tipo de régimen (amazónico?).

Se usaron, por lo tanto, ambas rectas trazadas en el gráfico, más una intermedia, para caracterizar los regímenes de precipitación en la cuenca, y sus extrapolaciones para estimar la precipitación hasta alturas de 6000 msnm. En base a este comportamiento se ha determinado el recurso hídrico aportado por la precipitación. La determinación se hizo por franjas de 1000 m de desnivel, a partir de los 2200 msnm, pues para altitudes inferiores no se registran precipitaciones significativas.

Los resultados se presentan en detalle en la Tabla N° 4.3. Los aportes de precipitación que se obtienen, son los siguientes:

Cuenca Alta Loa (hasta Lequena)	18,2 m ³ /s
Subcuenca Río San Pedro	5,7 m ³ /s
Sector Lasana-ChiuChiu	4,5 m ³ /s
Subcuenca Río Salado	12,6 m ³ /s
Pampa Llalqui	5,1 m ³ /s
Sector de Calama	0,5 m ³ /s
Subcuenca Salar de Llamara	22,4 m ³ /s

Total recurso aportado por precipitación: 69,0 m³/s

4.2.2.- Evapotranspiración natural

Dentro de la cuenca se presenta evapotranspiración desde superficies naturales, y evaporación desde salares y cauces. Para generar la esorrentía afluente a cada una de las subcuencas, y consistente con lo que se ha señalado en la metodología, se ha considerado en esta etapa sólo la primera. La segunda se considera como un uso, el cual compite por los recursos con los demás usos, y se incorpora como tal en el capítulo 5, balance de esorrentía y usos.

La evaporación potencial en la cuenca, expresada como evaporación de tanque tipo A, es de 6 a 10 mm/día, según se desprende de la información base generada en el proyecto CHI-535, información que también fue tomada como referencia en el estudio de balance hídrico de la DGA. Considerando dicha tasa de evaporación aplicada a toda la cuenca del Loa, que tiene 23910 km² hasta Quillagua, representa un potencial evaporativo o poder evaporante de la atmósfera de entre 1700 y 2700 m³/s.

Lo anterior explica la gran pérdida de recurso hídrico que se produce en la cuenca. Sin embargo, no todo el recurso aportado por la precipitación se pierde por evaporación. En las zonas altas de la cuenca, donde la evaporación no compromete el total de la precipitación, queda un remanente que infiltra o escurre, dando lugar a la esorrentía superficial y subterránea que se manifiesta y se observa hacia aguas abajo en la cuenca.

La evaporación que se produce realmente, desde las superficies naturales, se llama evapotranspiración natural. Dicho valor se estima, generalmente, en función de la precipitación media anual y de la temperatura media anual. Una aproximación razonable de la evapotranspiración, dadas las condiciones climáticas de la zona, se obtiene con la fórmula de Turc, que se usó también en el estudio de balance hídrico, y que tiene la siguiente forma:

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Donde

L = función de la temperatura media anual

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3$$

T = temperatura media anual en °C

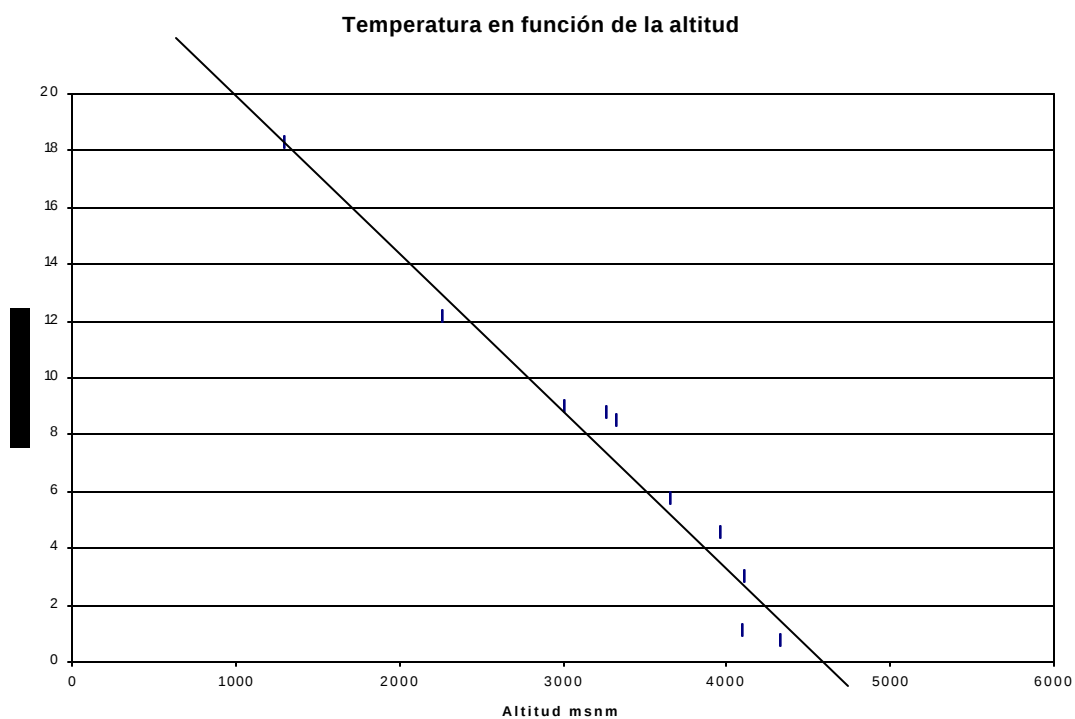
P = precipitación media anual en mm

Las temperaturas utilizadas se desprenden de la Figura N° 4.2, adjunta, en que se muestra el comportamiento de las temperaturas medias anuales en función de la altitud, obtenidas de la Tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2
Temperatura en función de la altitud

Estación	Altitud	Temperatura
	msnm	°C
Ollague	3650	5,8
Ascotan	3956	4,6
Parshall 2	3318	8,5
Inacaliri	4100	3
Conchi Emb.	3010	9
Linzor	4096	1,1
Caspana	3260	8,8
El Tatio	4320	0,8
Calama	2260	12,2
Coya Sur	1290	18,3

Figura N° 4.2



La evapotranspiración natural para cada subcuenca se estima en los siguientes valores:

Cuenca Alta Loa (hasta Lequena)	15,6 m ³ /s
Subcuenca Río San Pedro	4,6 m ³ /s
Sector Lasana-ChiuChiu	4,5 m ³ /s
Subcuenca Río Salado	11,0 m ³ /s
Pampa Llalqui	5,1 m ³ /s
Sector de Calama	0,5 m ³ /s
Subcuenca Salar de Llamara	21,3 m ³ /s
Total evapotranspiración	62,60 m³/s

4.3.- Resultados del balance hidrológico

A continuación se presentan, en la Tabla N° 4.3, los detalles de los cálculos, y los resultados del balance hidrológico para la cuenca del río Loa. Al respecto, se observa lo siguiente:

- En primer lugar, no hay generación significativa de recurso hídrico bajo la cota 4000 msnm. Las aguas que aporta la precipitación a tales altitudes, son consumidas íntegramente por la evapotranspiración natural.
- Los caudales del sistema Loa, por lo tanto, son los generados en las cuencas altas del propio río Loa, aguas arriba de Conchi, en la cuenca del río San Pedro, en la cuenca del río Salado, y, también hay generación de escorrentía en la parte alta de la cuenca del salar de Llamara.
- Los valores de escorrentía total generada en cada subcuenca, constituyen los caudales disponibles para todos los usos que se producen a lo largo de la cuenca, que se analizan en el capítulo siguiente.
- La generación de escorrentía total renovable (superficial y subterránea) en cada una de las cuencas altas, obtenida como la diferencia entre el aporte de las precipitaciones y la evapotranspiración natural, es la siguiente:

Cuenca Alta Loa (hasta Lequena)	2,62 m3/s
Subcuenca Río San Pedro	1,04 m3/s
Sector Lasana-ChiuChiu	0,02 m3/s
Subcuenca Río Salado	1,63 m3/s
Pampa Llalqui	0 m3/s
Sector de Calama	0 m3/s
Subcuenca Salar de Llamara	1,11 m3/s
Total recurso disponible para escorrentía	6,41 m3/s

Tabla N° 4.3
Balance Hidrológico : Obtención de la escorrentía total

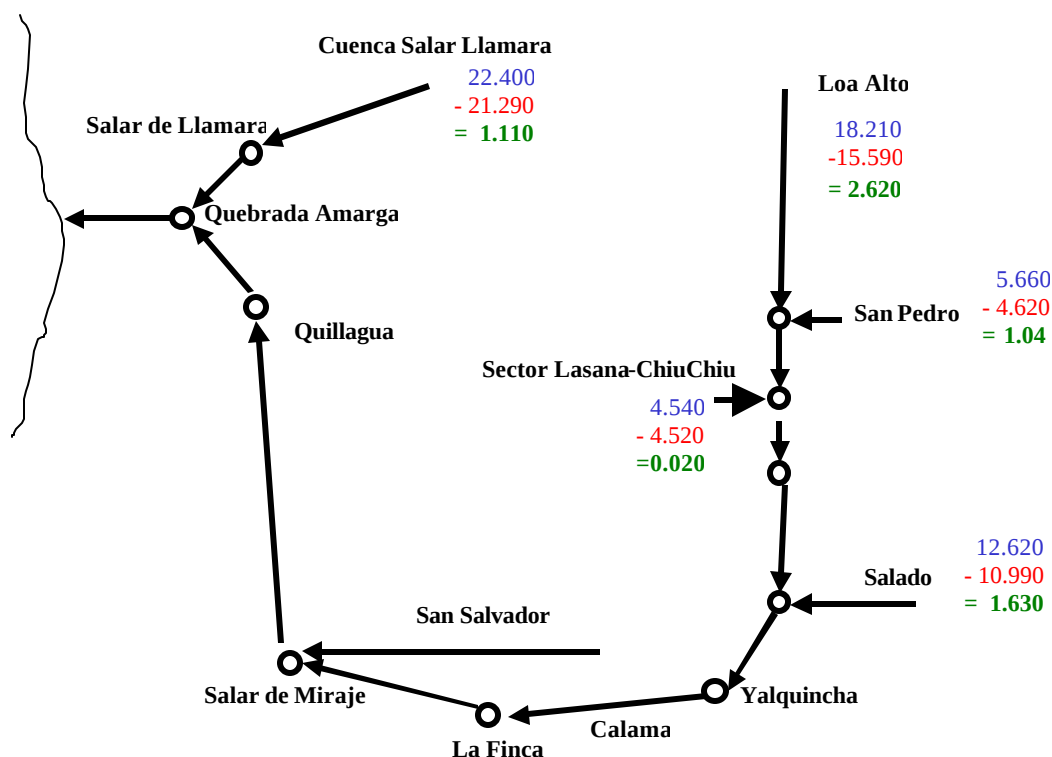
Zona	Altura	Area	Altura med	Precipitac	Q afl.pp	Q afl pp por subc.	T media anual	L	Evap nat	Q Evap	Q Evap. por subc.	Dif Pp-Evap	Escorrentia total
		km2	msnm	mm/año	m3/s	m3/s	°C		mm/año	m3/s	m3/s	mm/año	m3/s
Loa Alto	3000-4000	2120	3500	95	6,39		6	461	95	6,39		0	0,00
	4000-5000	1538	4500	200	9,75		0	300	172	8,41		28	1,34
	5000-6000	188	5500	300	1,79		-6	139	127	0,76		173	1,03
	sobre 6000	25	6000	350	0,28	18,21	-9	39	38	0,03	15,59	312	0,25
San Pedro	3000-4000	430	3500	50	0,68		6	461	50	0,68		0	0,00
	4000-5000	750	4500	155	3,69		0	300	143	3,41		12	0,27
	5000-6000	125	5500	260	1,03		-6	139	124	0,49		136	0,54
	sobre 6000	25	6000	330	0,26	5,66	-9	39	38	0,03	4,61	292	0,23
Lasana-Chiuchiu	2500-3000	1120	2750	20	0,71		10,5	620	20	0,71		0	0,00
	3000-4000	1200	3500	95	3,61		6	461	95	3,61		0	0,00
	4000-4500	40	4200	170	0,22	4,54	2	350	160	0,20	4,52	10	0,02
Salado	2500-3000	480	2750	60	0,91		10,5	620	60	0,91		0	0,00
	3000-4000	1280	3500	140	5,68		6	461	140	5,68		0	0,00
	4000-5000	650	4500	240	4,95		0	300	193	3,99		47	0,96
	5000-6000	100	5500	340	1,08		-6	139	130	0,41		210	0,67
	sobre 6000	0	6000	400	0,00	12,62	-9	39	38	0,00	10,99	362	0,00
Pampa Llalqui	2500-3000	1520	2750	60	2,89		10,5	620	60	2,89		0	0,00
	3000-3500	600	3250	115	2,19	5,08	7,5	509	115	2,19	5,08	0	0,00
Calama	2200-2500	800	2350	20	0,51	0,51	12,5	710	21	0,51	0,51	0	0,00
Loa-San Salvador	bajo 2200			0									0
Quillagua	bajo 2200			0									0
Salar de Llamar	2200-3000	2120	2600	40	2,69		11	642	40	2,69		0	0,00
	3000-4000	2680	3500	140	11,90		6	461	140	11,90		0	0,00
	4000-4800	1120	4300	220	7,81	22,40	1	325	189	6,70	21,29	31	1,11
Total		18911			69,01	69,02				62,61	62,61		6,42
Precipitación: Comportamiento recta superior: Salado, Pampa Llalqui, Calama, Salar de Llamara Comportamiento recta inferior: San Pedro Comportamiento intewrmedio: Loa Alto, sector Lasana-Chiu-Chiu Cuenca Salar de Llamara: Comportamiento según recta superior Información de precipitación obtenida de BHN, contrastada con H.Peña, memoria de título Temperatura: Información obtenida de BHN, contrastada con CHI 535													

En la Figura N° 4.3 a continuación, se presenta un esquema físico del balance hidrológico aquí desarrollado.

Es necesario señalar que este balance no considera los aportes adicionales por concepto de infiltración al acuífero que podrían generar las crecidas. Este aspecto, aunque no se le ha dado mayor importancia en estudios anteriores, podrá ser analizado con mayor detalle, siempre que sea posible encontrar o generar alguna información básica al respecto.

FIGURA N°4.3

Generación de escorrentía en subcuencas:
Aportes de precipitación menos **evaporación**



5. BALANCE DE ESCORRENTÍA Y USOS

5.1.- Objetivo

El balance de escorrentía y usos tiene la finalidad de generar una visión global sobre las disponibilidades de agua, en función de la escorrentía y de los usos existentes.

Una vez establecidos los caudales que aporta cada una de las cuencas al sistema, se ha hecho un balance total incluyendo los usos del agua. Se distinguen dos tipos de usos: los usos efectivos de los derechos que han sido constituidos hasta la fecha, y los usos in situ, que son la evaporación desde salares y desde cauces.

En los acápites siguientes se presenta la recopilación y ordenamiento de los derechos tanto superficiales como subterráneos constituidos en la cuenca, y una estimación de los usos in situ.

5.2.- Derechos superficiales

El listado de derechos superficiales que se presenta a continuación, corresponde al listado de usuarios sometidos a la jurisdicción de la Junta de Vigilancia del Río Loa en formación, elaborado en noviembre 2002 por el Director Regional de Aguas, II^a Región. Dicho listado se ha ordenado de aguas arriba a aguas abajo, y por subcuencas, de modo de asimilarlo al balance hidrológico. Además, se ha totalizado los derechos por tipo de uso en cada subcuenca.

El listado de derechos superficiales se presenta en la Tabla N° 5.1, adjunta. En rojo se destacan los derechos no consuntivos, y en morado, los derechos eventuales.

No se incluye en la lista los derechos superficiales solicitados después de enero del año 2000, puesto que el río Loa fue declarado agotado en esa fecha.

Tabla 5.1
Listado de usuarios sometidos a la jurisdicción de la Junta de Vigilancia
del río Loa en formación

					Derechos		Total/uso		
Nº	Usuario	Expedien	Fuente	Sector o subafuente	Cantidad	Unidad	Observación	l/s	Uso
Loa Alto hasta Conchi									
1	ESSAN S.A		Río Loa	Laqueña	550	l/s			
2	ESSAN S.A		Río Loa	Quinchamalé	300	l/s		850.0	agua potable
57	F.C.A.B		Vertiente Polap	Polap, Loa alto	16.61	l/s		16.6	industria/minería
52	Comunidad Quechua de Ollague		Río Loa	Río Chala	7	l/s			
53	Comunidad Quechua de Ollague		Río Loa	Río Chaulun	4	l/s			
54	Comunidad Quechua de Ollague		Río Loa	Río Casica	1	l/s			
55	Comunidad Quechua de Ollague		Río Loa	Río Blanco	1	l/s			
56	Comunidad Atacameña de Conchi Viejo		Vert. Conchi Vie	Conchi Viejo, Loa alto	0.3	l/s		13.3	riego
San Pedro									
58	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río San Pedro de Inac	87.5	l/s			
59	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río San Pedro de Inac	450	l/s	eventuales...		minería
61	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río Siloti	41	l/s			
62	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río Inacari	31.5	l/s			
63	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río Inacari	87.5	l/s			
64	Codelco Chile		Río S.P. Inacari	Río Colana	50	l/s		747.5	minería
60	F.C.A.B		Río S.P. Inacari	Río Siloti	121	l/s		121.0	industria
65	Minas Villada Palacios		Río S.P. Inacari	Río Cabana	10	l/s		10.0	riego?
Río Loa entre San Pedro y Salado									
3	C. de A. Canal Quilchir de Lasana		Río Loa	Lasana	137352	m3/año			
4	C. de A. Canal Quichira de Lasana		Río Loa	Lasana	62550	m3/año			
5	C. de A. Canal Buen Retiro de Lasana		Río Loa	Lasana	326923	m3/año			
6	C. de A. Canal San Antonio de Lasana		Río Loa	Lasana	65052	m3/año			
7	C. de A. Canal Los Ramirez de Lasana		Río Loa	Lasana	127324	m3/año			
8	C. de A. Canal Poma de Lasana		Río Loa	Lasana	613924	m3/año			
9	C. de A. Canal Los Perales de Lasana		Río Loa	Lasana	177096	m3/año			
10	C. de A. Canal Grande de Lasana y Chiu Chiu		Río Loa	Lasana y Chiu Chiu	622602	m3/año			
11	C. de A. Canal La Banda de Lasana y Chiu Chiu		Río Loa	Lasana y Chiu Chiu	1384718	m3/año			
12	C. de A. Canal La Banda Ramal Los Blancos de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	196624	m3/año			
13	C. de A. Canal El Pueblo de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	442576	m3/año			
14	C. de A. Canal Grande Ramal N° 3 Pilar de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	98134	m3/año			
15	C. de A. Canal Grande Ramal N° 4 Pulare de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	575738	m3/año			
16	C. de A. Canal Grande Ramal N° 6 San Andrés de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	168190	m3/año			
17	C. de A. Canal Grande Ramal Callejón de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	131772	m3/año			
18	C. de A. Canal Grande Ramal Triángulo de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	204608	m3/año			
19	C. de A. Canal Grande Ramal San Juan de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	275220	m3/año			
20	C. de A. Canal El Pueblo Ramal El Calvario de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	15012	m3/año			
21	C. de A. Canal El Pueblo Ramal Cochala de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	12788	m3/año			
22	C. de A. Canal El Pueblo Ramal San Ramón de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	193210	m3/año			
23	C. de A. Canal El Pueblo Ramal la Parroquia de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	25854	m3/año			
24	C. de A. Canal El Pueblo Ramal Santa Faustina de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	58936	m3/año			
25	C. de A. Canal El Pueblo Ramal El Pongo de Chiu Chiu		Río Loa	Chiu Chiu	285764	m3/año		203.0	riego
Río Salado									
66	Regantes Pueblo de Caspana		Río Salado	Río Caspana	65	l/s			
74	Comunidad Atacameña de Cupo		Río Salado	Quebrada de Cupo	17	l/s			
75	Comunidades Atacameñas de Cupo y Ayquina Tun		Río Salado	Quebrada y socavón P	3.9	l/s			
76	Comunidad Atacameña de Ayquina Tun		Río Salado	Vertientes del sector d	45.7	l/s		131.6	riego
67	ESSAN S.A		Río Salado	Río Caspana	0.9	l/s			
69	ESSAN S.A		Río Salado	Río Tococe	470	l/s			
70	ESSAN S.A		Río Salado	Río Tococe	50	l/s			
72	ESSAN S.A		Río Salado	Río Hojalar	140	l/s			
77	Soc. Colectiva Civil Adm. de Aguas De Turi		Río Salado	Vertiente Tun	100	l/s		760.9	agua potable
73	Codelco Chile		Río Salado	Río Salado	400	l/s			
68	Codelco Chile		Río Salado	Río Tococe	50	l/s			
71	Codelco Chile		Río Salado	Río Hojalar	140	l/s		690.0	minería

De la Tabla N° 5.1 se observa que los derechos superficiales del río Loa son, en resumen, los siguientes:

Total derechos:	5.501,3 l/s
No consuntivos:	285 l/s
Total derechos consuntivos:	5.216,3 l/s
Derechos eventuales:	640 l/s
Total derechos consuntivos permanentes:	4.576,3 l/s

5.3.- Derechos subterráneos

Se presenta a continuación el listado de derechos subterráneos. Este listado fue preparado y entregado al DEP por el DARH, y es un listado revisado y depurado. Este listado incluye los derechos constituidos hasta noviembre 2002, y también, en rojo, los derechos solicitados o en trámite, hasta esa misma fecha. Hay algunos derechos constituidos donde se observa que no se ha constituido la totalidad de los derechos solicitados. No es del caso analizar la razón de esto aquí.

Los derechos se ordenaron, igual que para el caso de los superficiales, de acuerdo con su ubicación dentro de la cuenca del Loa, y dentro de cada una de las subcuencas, desde aguas arriba hacia aguas abajo.

En la Tabla N° 5.2 se presenta el listado de derechos subterráneos constituidos y solicitados, a la fecha de noviembre de 2002.

Se observa que hay un total de 2476,4 l/s constituidos a esa fecha.

La cantidad de derechos solicitados asciende a 2016,1 l/s, de los cuales 926,1 l/s están solicitados en el sector de Calama, 550 l/s están solicitados en la Quebrada de León, y 540 l/s en la Pampa Llalqui.

Tabla N° 5.2

Listado de derechos subterráneos constituidos y solicitados a Noviembre de 2002, cuenca del río Loa

EXPEDIENTE	SOL	POZO	NOMBRE PETICIONARIO	FECHA ING	SOLICITADO	OTORGADO	Y	X	ESTADO	RESOLUCION	RESOLUCIÓN	Caudal
												por grupo
Loa Alto												
ND-0-202-1880		Puño 2 b	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99		300.00	7541336	521018	A			Puño
ND-0-202-1880		Flota 4 b	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99			7546475	521530	A			Puño
ND-0-202-1890		Puño 6 b	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99			7544159	521207	A			Puño
ND-0-202-1890		Puño 7 b	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99			7542756	521016	A			Puño
ND-0-202-1890		Puño 9 b	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99			7548125	521000	A			Puño
ND-0-202-1890		Puño 314 E	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	11/06/99			7541281	518457	A			Puño
ND-0-202-2069		PUNO 8 B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/09/00			7545239	521530	A			Puño
ND-0-202-2069		PUNO 10 B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/09/00			7547247	521527	A			Puño
ND-0-202-2069		PUNO 11 B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/09/00			7546230	520448	A			Puño
												300.0
												300.0
San Pedro												
ND-I-215		B-2(N)	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		200.00	7571692	575575	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-1B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		233.00	7568937	580185	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-2B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		58.00	7584078	589391	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-5B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		7.00	7570449	565524	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-10B(N)	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		200.00	7569188	588883	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-17B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		220.00	7569217	577123	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-215		CHU-18B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	12/01/90		220.00	7571338	574813	A	40	12/01/90	San Pedro
ND-I-466		B-1	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/12/90		60.00	7568759	574098	A	517	30/12/90	San Pedro
ND-I-466		B-2	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/12/90		135.00	7571703	575485	A	517	30/12/90	San Pedro
ND-I-466		B-3	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	30/12/90		100.00	7570239	574666	A	517	30/12/90	San Pedro
ND-I-723		B-4	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	15/02/93		40.00	7568679	571553	A	50	15/02/93	San Pedro
ND-I-890		CHU-35B	CODELCO CHILE DIVISION CHUGUICAMATA	13/01/94		150.00	7568678	571544	A	34	13/01/94	San Pedro
												1623.0
Salado												
ND-0-202-2096	1 / 3		COMPANIA MINERA PHOENIX S.A.	21/05/90	80.0	31	7522908	535302	A	692	16/12/95	Salado
ND-0-202-2014	1 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	08/06/00	50.0		7539340	580387	P-DARH			Salado
ND-0-202-2014	2 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	08/06/00	30.0		7545726	576142	P-DARH			Salado
ND-0-202-2014	3 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	08/06/00	80.0		7542808	578721	P-DARH			Salado
ND-0-202-2037	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	23/06/00	60.0		7539551	581545	P-DARH			Salado
ND-0-202-2038	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/07/00	75.0		7540178	577534	P-DARH			Salado
ND-0-202-2039	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/07/00	80.0		7529977	578644	P-DARH			Salado
ND-0-202-2090	1 / 4		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/10/00	35.0		7520852	538582	P-DARH			Salado
ND-0-202-2090	2 / 4		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/10/00	30.0		7517916	538715	P-DARH			Salado
ND-0-202-2090	3 / 4		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/10/00	30.0		7512629	530295	P-DARH			Salado
ND-0-202-2090	4 / 4		Compañía de Servicios de Aguas Cda. Del León L.	20/10/00	100.0		7518289	545064	P-DARH			Salado
ND-0-202-2105	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	19/01/01	70.0		7523060	542236	P-DARH			Salado
ND-0-202-2214	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	30/09/01	55.0		7526516	543655	P-DARH			Salado
ND-0-202-2244	1 / 1		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	18/12/01	55.0		7525516	543555	P-DARH			Salado
ND-0-202-2261	1 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	60.0		7516374	532640	P-DARH			Salado
ND-0-202-2261	2 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	20.0		7516119	537638	P-DARH			Salado
ND-0-202-2261	3 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	35.0		7514189	535395	P-DARH			Salado
ND-0-202-2262	1 / 2		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	30.0		7519133	537691	P-DARH			Salado
ND-0-202-2262	2 / 2		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	45.0		7524521	560014	P-DARH			Salado
ND-0-202-2265	1 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	60.0		7516374	532640	P-DARH			Salado
ND-0-202-2265	2 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	20.0		7516119	537638	P-DARH			Salado
ND-0-202-2265	3 / 3		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	20/02/02	45.0		7514189	535395	P-DARH			Salado
ND-0-202-2269	1 / 2		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	21/02/02	30.0		7519133	537691	P-DARH			Salado
ND-0-202-2269	2 / 2		Compañía de Servicios de Aguas Yalqui Ltda	21/02/02	45.0		7524521	560014	P-DARH			Salado

Tabla N° 5.2 (Continuación)

Listado de derechos subterráneos constituidos y solicitados a Noviembre de 2002, cuenca del río Loa

EXPEDIENTE	SOL	POZO	NOMBRE PETICIONARIO	FECHA ING.	SOLICITADO	OTORGADO	Y	X	ESTADO	RESOLUC	RESOLUCIÓN	Caudal por grupo
Calama												
ND-0202-1057	1 / 1		COMPANIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	05/08/93	49.0	49	7515083	504057	A	315	11/07/95	Calama
ND-0202-1058	1 / 1	PPR5	COMPANIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	05/08/93	50.0	50	7515854	502771	A	319	11/07/95	Calama
ND-0202-1059	1 / 1	PPR1	COMPANIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	05/08/93	18.0	18	7515513	504530	A	315	11/07/95	Calama
ND-0202-1060	1 / 1	PPR2	COMPANIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	05/08/93	47.0	47	7516070	505590	A	322	11/07/95	Calama
ND-0202-1061	1 / 1	PPR3	COMPANIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	05/08/93	45.0	45	7516370	503227	A	219	13/02/98	Calama
ND-0202-1154	1 / 2	CMG-1	Cia. Minera Falcobridge Lomas Bayas	07/06/99	50.0	35	7512280	504720	A	351	24/12/99	Calama
ND-0202-1169	1 / 1	CHUCA 6-B	Corporacion Nacional del Cobre de Chuqui	10/06/94	30.0		7521343	508002	P-DARH			Calama
ND-0202-1191	1 / 1	CHUCA 10-B	Corporacion Nacional del Cobre de Chuqui	25/07/94	3.0		7526854	509045	P-DARH			Calama
ND-0202-1807	1 / 1		INVERSIONES EL SAUCE S.A.	15/01/99	50.0		7510700	507300	P-DARH			Calama
ND-0202-1862	1 / 5	4	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	26.6		7514744	503542	P-DARH			Calama
ND-0202-1862	2 / 5	9	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	18.9		7514797	503716	P-DARH			Calama
ND-0202-1862	3 / 5	16	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	21.6		7516070	503763	P-DARH			Calama
ND-0202-1862	4 / 5	18	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	45.0		7516259	504075	P-DARH			Calama
ND-0202-1862	5 / 5	30	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	21.9		7516586	504354	P-DARH			Calama
ND-0202-1864	1 / 5	10	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	73.2		7514551	503644	P-DARH			Calama
ND-0202-1864	2 / 5	19	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	32.1		7514861	503691	P-DARH			Calama
ND-0202-1864	3 / 5	24	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	65.6		7514962	504277	P-DARH			Calama
ND-0202-1864	4 / 5	25	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	70.0		7514520	503695	P-DARH			Calama
ND-0202-1864	5 / 5	27	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	65.0		7514129	504023	P-DARH			Calama
ND-0202-1870	1 / 4	1	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	49.0		7514874	503456	P-DARH			Calama
ND-0202-1870	2 / 4	7	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	56.4		7514864	503592	P-DARH			Calama
ND-0202-1870	3 / 4	12	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	17/06/99	70.0		7514747	503591	P-DARH			Calama
ND-0202-2062	1 / 1	25	Compañía Contractual Minera Equatorial Resources	11/05/00	70.0		7514460	503592	P-DARH			Calama
ND-0202-2085	1 / 1		Cia. Minera Falcobridge Lomas Bayas	24/10/00	25.0		7513508	507442	P-DARH			Calama
ND-0202-2108	1 / 1		Cia. Minera Falcobridge Lomas Bayas	08/02/01	25.0		7512813	506149	P-DARH			Calama
ND-0202-2131	1 / 1	PBC-1	ANACONDA CHILE S.A.	11/05/01	45.0		7515100	503060	P-DARH			Calama
ND-0202-2155	1 / 1	PBC-2	ANACONDA CHILE S.A.	17/07/01	30.0		7514910	502513	P-DARH			Calama
Loa-San Salvador (salar de Miraje)												
ND-0201-1595		EX-11A	Brix Ebre S.a	14/07/00		7.00	7516203	447211	A	476	14/07/00	S.Miraje
ND-0201-1602		EX-13A	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	14/07/00		18.00	7520222	443105	A	477	14/07/00	S.Miraje
ND-H-31		Pozo N°1	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	15/09/92		2.66	7517680	443480	A	400	15/09/92	S.Miraje
ND-H-31		Pozo N°2	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	15/09/92		8.00	7517780	443470	A	400	15/09/92	S.Miraje
Llaima												
ND-0103-688		2 HENOX	SOQUIMICH	03/01/96		60	7560012	433787	A			S.Llaima
ND-0103-696		3x-16A	SOQUIMICH	03/01/96		65	7559096	434590	A			S.Llaima
ND-0103-688		3x-57	SOQUIMICH	03/01/96		5	7560337	431782	A			S.Llaima
ND-0103-689		3x-14 A	SOQUIMICH	03/01/96		35	7561977	433595	A			S.Llaima
ND-0103-701		x-17A	SOQUIMICH	03/01/96		30	7563593	439902	A			S.Llaima
ND-0103-702		2PL2	SOQUIMICH	03/05/96		31	7558924	439144	A			S.Llaima
ND-0103-703		2PL3	SOQUIMICH	03/05/96		19	7557992	439844	A			S.Llaima
Total otorgado												
Total solicitado pendiente												
Total otorgado mas solicitado												
Resumen Derechos Solicitados por sector												
Calama												
Chuca												
El Sauce												
Equatorial												
Falcobridge												
Anacóna												
Q León												
Q Llaqui												
Total solicitado												

5.4.- Uso efectivo de los derechos: factores de uso

Para hacer una estimación del uso efectivo que se hace de los derechos constituidos, tanto superficiales como subterráneos, se ha procedido a analizar y obtener los factores de uso para los distintos usos dentro de la cuenca, de la manera que se detalla a continuación.

5.4.1.- Riego

Este uso se realiza exclusivamente con aguas superficiales. Para el riego, el uso efectivo se ha estimado en función de las hectáreas efectivamente regadas. Las áreas regadas corresponden a regadíos ancestrales, y aparentemente no se han modificado mucho en los últimos tiempos. La información base sobre las áreas regadas por sector, se obtuvo en parte del estudio de Balance Hidrológico de la II^a Región, y en su mayor parte, de la información enviada desde la II^a Región en noviembre 2002, donde, asociado a los derechos de agua integrantes de la Junta de Vigilancia en trámite, se presenta la cantidad de hectáreas a cuyo riego se destinan tales derechos, cuando se trata de comunidades de agua.

El uso efectivo en riego se ha estimado en base a una demanda neta de 16.000 m³/ha/año, equivalente a 0,5 l/s/ha, con lo cual se obtiene las demandas reales totales desde los sectores de riego.

En los sectores donde no hay información sobre hectáreas regadas, se ha supuesto que son destinados totalmente al riego los derechos que no están destinados a ningún otro uso.

La estimación de áreas regadas y uso efectivo en riego por subcuenca se presenta en la Tabla N° 5.3 a continuación.

Tabla N° 5.3
Áreas regadas y uso efectivo en riego, en la cuenca del Loa

Sector	Hectáreas regadas	Uso efectivo l/s
Loa Alto		13,3
Cuenca río San Pedro		10,0
Lasana-ChiuChiu	230,3	116,8
Cuenca río Salado	50	25,4
Calama	1103	559,6
Loa-San Salvador		100,0
Quillagua	120	60,0
Quebrada Amarga		

5.4.2.- Agua Potable

El agua potable en la cuenca del Loa, en la actualidad proviene exclusivamente de fuentes superficiales.

Para obtener el factor de uso de estos derechos, se ha consultado en la Superintendencia de Servicios Sanitarios la ficha de antecedentes técnicos de la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta, ESSAN S.A., contenida en los Planes de Desarrollo de 2001. Como fuentes de producción de agua potable figuran, en la actualidad, 1619 l/s, que se obtienen del Loa en las captaciones Lequena, Quinchamale y Puente Negro, y de los ríos Toconce, Linzor y Hojalar, afluentes al Salado. Este valor difiere sólo levemente de los 1611 l/s inscritos en el listado de la Junta de Vigilancia en formación, con los cuales se trabaja aquí el balance. La demanda efectiva que en la actualidad se cubre con tales derechos, es de 1055,8 l/s. De los valores anteriores (1611 l/s de derechos y 1055,8 l/s de demanda), se obtiene un factor de uso de 0.66 para el agua potable en la cuenca.

5.4.3.- Minería

La minería es un uso al cual se destinan aguas tanto superficiales como subterráneas. Para estimar el uso efectivo de los derechos superficiales, se ha recopilado los antecedentes locales sobre extracciones, que fueron obtenidos del estudio del Balance Hidrológico IIª Región, y del Estudio de Extracciones desarrollado en 1995 por IPLA. Sólo donde no hay antecedentes, se usó el factor de 0.75, que usualmente asocia el DARH a los usos mineros.

Para los derechos subterráneos, no hay mayores antecedentes, por lo que se ha adoptado el factor de uso de 0.75.

5.5.- Resumen de derechos y usos efectivos

Se presenta a continuación la Tabla N° 5.4, con un resumen de los derechos otorgados, tanto superficiales como subterráneos, ordenados por sector o subcuenca dentro de la cuenca del Loa, y por tipo de uso. Además, se presenta el factor de uso cuando corresponde, y el uso efectivo de cada tipo de derecho, en cada sector o subcuenca analizada, información que es requerida para plantear posteriormente el balance global en la situación actual.

Tabla N° 5.4
Resumen de derechos y usos efectivos

		Derechos						Usos efectivos					
Zona	Usos Agrícolas ha	Superficiales			Subterráneos Const.			Superficiales			Subterráneos		
		Riego l/s	Min / Ind l/s	AP l/s	Riego l/s	Min / Ind l/s	AP l/s	Riego l/s	*** Min / Ind l/s	FU = 0,66 AP l/s	Riego l/s	F.U. = 0.75 Min / Ind l/s	AP l/s
Loa Alto	?	13,3	16,6	850,0		300,0		13,3	12,5	557,6		225,0	
San Pedro	?	10,0	868,5			1623,0		10,0	1050,0			1217,3	
Lasana-Chiuchiu	230,3	203,0						116,8					
Salado	50,0	131,6	590,0	760,9		31,0		25,4	580,0	499,2		23,3	
Calama	1103,0	1025,7	6,0			244,0		559,6	4,5			183,0	
Loa-San Salvador		100,0	436,5 *			34,0		100,0	251,0			25,5	
Quillagua	120,0	60,0	84,0 **					60,0	119,0				
Q.Amarga			60,0			245,0			45,0			183,8	
Total por rubro	1503,3	1543,6	2061,6	1610,9		2477,0		885,1	2062,0	1056,8		1857,8	
Total por tipo derecho/uso		5216,1			2477,0			4003,8			1857,8		
Total derechos / usos		7693,1						5861,6					
hectáreas cultivadas según listado de Marcos Soto, Noviembre 2002, y BH 2a Región													
* no incluye 250 l/s no consuntivos de Soquimich													
** no incluye 35 l/s no consuntivos													
*** para los derechos superficiales mineros, se ha adoptado las extracciones reales según estudio Balance Hidrológico IIª Región													
Usos superficiales actuales reales													
Riego: uso real según tasa de riego 16.000 m3/ha/año													
Minería: Extracciones según estudio BH 2a Región													
Agua Potable: Extracciones según Plan de Desarrollo 2001 Essan: Actualmente derechos de 1619 l/s, uso de 1055,8 l/s													

De la Tabla N° 5.4 se desprende lo siguiente:

- De los 5216,1 l/s superficiales constituidos, 1544 l/s o 29 % se destinan al riego, 2062 l/s o 40% se destinan a la minería o industria (FCAB) y 1611 l/s, el restante 31 %, se destinan al agua potable.
- De los 2477 l/s subterráneos constituidos, todos se destinan a la minería o industria (FCAB).
- De los 5216,1 l/s superficiales constituidos, se ha estimado que en la actualidad se usan efectivamente 4003,8 l/s, esto es, un 77%.
- De los 2477 l/s subterráneos constituidos, se asume que en la actualidad se usa un 75%, esto es, 1857,8 l/s.
- Hay derechos constituidos, en toda la cuenca, por 7693,1 l/s, de los cuales en la actualidad se usarían efectivamente 5861,6 l/s, un 76%.

5.6.- Usos in situ

En el presente estudio, se ha considerado como usos in situ en la cuenca, la evaporación desde salares y la evaporación desde cauces.

A falta de mayores antecedentes al respecto, especialmente de profundidades del nivel estático en los salares, y de pérdidas evaporativas en cauces, se ha asumido lo siguiente:

5.6.1.- Evaporación desde los salares

Los salares se presentan típicamente en las zonas de control geológico, que son: aguas arriba de la Cordillera del Medio (salar de Rudolph, Brinkerhoff, Talabre y del Indio), y aguas arriba de la Cordillera de la Costa (salar de Miraje y Llamara).

La evaporación desde los salares de la cuenca del Loa se puede asimilar, en una primera instancia, a la evaporación media en el Salar de Atacama. En el Salar de Atacama se ha estimado una evaporación de 5,3 m³/s, en una extensión de 3020 km², lo que significa una evaporación media de alrededor de 1,75 l/s/km². Este valor se toma como referencia superior, considerando que incluye evaporación desde superficies libres, que no se observan en los sistemas de salares aquí analizados, salvo en el salar de Turi. Para este salar se hizo un análisis diferente.

Los salares de la cuenca del Loa se ubican en tres sectores o subcuencas diferentes:

- El Salar de Turi, en la cuenca del río Salado. Este salar tiene en total 20 km², de los cuales 13 km² corresponden a vegas. Para este salar se efectuó un análisis especial, distinguiendo vegas densas, menos densas, y zona de salar. Se determinó que para este sistema, fundamentalmente en función de la posición del nivel estático, se tendría pérdidas por evaporación entre 200 l/s y 500 l/s.

Los salares de Brinkerhoff, de Rudolph, de Talabre y del Indio, aguas arriba de la Cordillera del Medio, esto es, en todo el sector de la junta del río Loa con el Salado. Estos salares en conjunto tienen un área estimada en 63 km², y no presentan vegas ni superficies libres. Si se asume para ellos un comportamiento medio algo inferior al del Salar de Atacama, por ejemplo, entre 1 y 1,2 l/s/km², se tiene una pérdida de entre 60 y 80 l/s.

- El Salar de Miraje, aguas arriba de la Cordillera de la Costa, se ubica en el sector en que esta cordillera constituye un control natural para el desarrollo el sistema hídrico subterráneo del Loa, donde puede asumirse que se cierra el sistema. Este salar tiene una extensión de unos 280 km², y de él se dice que está inactivo. Efectivamente, los pozos del sector, todos perforados en el extremo norte del Salar, presentan el nivel estático a una profundidad entre 37 y 44 m. En vista de esto, se ha asumido ausencia de evaporación desde este salar.
- El salar de Llamara, cuya cuenca es la afluyente norte del sistema Loa. El salar se ubica también aguas arriba de la Cordillera de la Costa. Este salar en ningún caso está inactivo, incluso tiene un vertido de excedentes a través de la Quebrada Amarga. Además, en este salar hicieron sus experimentos de evaporación Grilli et al, con los que confirmaron el comportamiento evaporativo detectado por Mardones, que relaciona la evaporación con la profundidad del nivel estático y el tipo de costra. El salar de Llamara tiene como afluentes las quebradas desde Huatacondo por el norte hasta Mal Paso y otra por el sur. El área del salar es de unos 800 km², lo que significa que podría evaporar entre 800 y 1000 l/s.

5.6.2.- Evaporación desde los cauces

Para la estimación de las pérdidas evaporativas en los cauces, se asume lo señalado en el estudio del Balance Hidrológico II^a Región, donde se estima que hay evaporación de cauces desde Calama hacia aguas abajo, es decir, en los ríos Salvador y Loa bajo. Dicha evaporación se estima en 136 l/s en el río Loa entre Chintoraste y junta con el río San Salvador, en 129 l/s en el río San Salvador, lo que totaliza 265 l/s en el sector entre Yalquincha y junta Loa-San Salvador, y en 375 l/s en el Loa desde la junta con el Salvador hasta la desembocadura. Es posible que estos valores estén algo sobreestimados para la situación actual, en que el Loa lleva menos recursos superficiales. Por esta razón se ha adoptado los mismos 265 l/s para el tramo entre Yalquincha y la Junta Loa-San Salvador, y 250 l/s en vez de 375 l/s (valor que parece algo excesivo), en el Loa bajo.

5.6.3.- Comentario

Se puede observar que la evaporación desde salares y desde cauces parecen ser considerables, totalizando unos 300-600 l/s desde salares y unos 500 l/s desde cauces, en la cuenca del Loa, y unos 800-1000 l/s desde el salar de Llamara.

Estas pérdidas se reducirían fuertemente al deprimir los niveles de los acuíferos, pues se alejarían los recursos del efecto de la atmósfera. En el caso de un aumento de la explotación, por lo tanto, es necesario tener en cuenta la reducción de pérdidas que se produciría, y que significará poder destinar mayor cantidad de recurso al uso productivo. De esta forma se procede en el balance de escorrentía y usos que se presenta a continuación.

De todas formas, al respecto es necesario tener en cuenta dos aspectos:

- por un lado, es difícil estimar nuevos valores de pérdidas en escenarios de mayor explotación, en ausencia de información específica destinada a tal efecto,
- y por otro lado, hay que considerar que el hecho de reducir las pérdidas evaporativas, a través de la reducción de las aguas expuestas a la atmósfera, o del descenso de niveles estáticos, podría tener algún efecto ambiental que será necesario evaluar.

5.7.- Balance global de escorrentía y usos

Con la información presentada, se ha procedido a establecer un balance global, para la situación actual, en el que se conjugan la escorrentía, los usos efectivos de los derechos, y los usos in situ (evaporaciones). Es necesario hacer énfasis en que tanto la escorrentía de entrada a las subcuencas, como la escorrentía resultante en cada punto de cierre, es siempre la escorrentía total, superficial y subterránea.

El objetivo de determinar la escorrentía resultante de un balance de la cuenca, es el de detectar si existe alguna disponibilidad de recursos hídricos, de modo de que sea posible constituir nuevos derechos en la cuenca.

El balance de escorrentía y usos ha tomado como información de entrada, la siguiente:

- por un lado, la escorrentía generada en cada una de las subcuencas analizadas. Al respecto, cabe señalar que se ha modificado la escorrentía de entrada resultante para el río Salado, elevándola de 1630 l/s a 1800 l/s, para asimilarla a la escorrentía determinada en el estudio del Balance Hidrológico de la II^a Región, y en lo posible no pecar por defecto en las estimaciones.
- Por otro lado, se ha usado la información de entrada correspondiente a los usos de los derechos tanto superficiales como subterráneos, y los usos in situ, que son las evaporaciones desde salares y cauces, con las consideraciones antes anotadas.

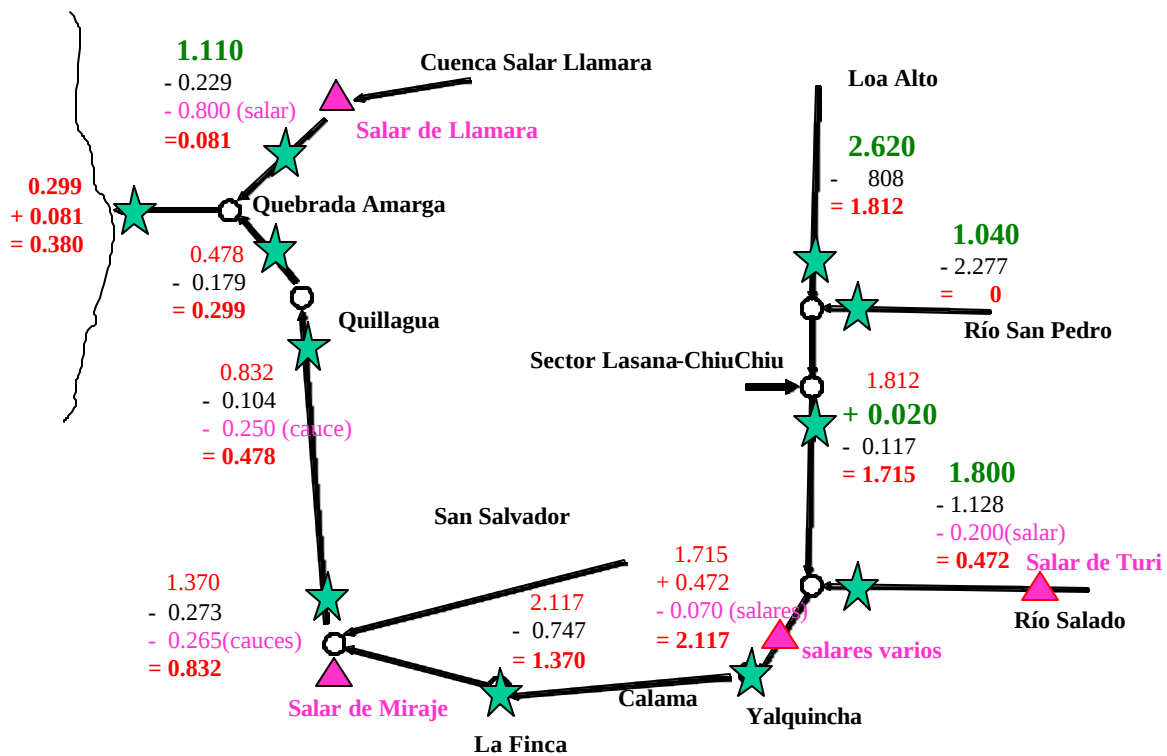
El balance de escorrentía y usos se presenta en la Tabla N° 5.5, adjunta, y también, en forma gráfica, en la Figura N° 5.1.

En la Figura N° 5.1, se muestra el resultado de la escorrentía en los mismos puntos de cierre que en la Tabla N° 5.5. Debe recordarse que se trata de la escorrentía total, superficial y subterránea.

Tabla 5.5
Balance de escorrentía y usos en situación actual, y en situación futura.
Separación de la escorrentía total en superficial y subterránea

	Escorrentía	Uso efect	Escorrentía	Escorr.	Escorr.	Usos efect	Nueva Esco	Escorr.	Escorr.
Cuenca del Río Loa, Caudales en l/s	generada	actual	result. Total	Superficial	Subterránea	adicional	result.total	Superficial	Subterráneas
				(*)				(*)	
Escorrentía total Loa Alto	2620.0		2620.0				2620.0		
Usos superficiales de riego		25.8							
Usos superficiales de AP		557.6							
Usos subterráneos mineros		225.0							
Total usos Loa Alto		808.4				0.0			
Loa antes junta San Pedro (Lequena)			1811.6	596	1215.6		1811.6	596	1215.6
Escorrentía total San Pedro	1040.0								
Usos superficiales de riego		10.0							
Usos superficiales mineros + FC		600.0							
Usos superficiales mineros eventuales		450.0							
Usos subterráneos mineros		1217.3							
Total Usos San Pedro		2277.3							
San Pedro antes junta Loa (San Pedro)			0.0	12	0.0	0.0	0.0	12	0.0
Loa después junta San Pedro (Conchi)			1811.6	608	1203.6		1811.6	608	1203.6
Lasana-ChiuChiu	20.0		1831.6				1831.6		
Usos superficiales de riego		116.8							
Total usos		116.8				0.0			
Loa antes junta Salado			1714.8	759	955.8		1714.8	759	955.8
Escorrentía total Salado	1800.0								
Usos superficiales de riego		25.4							
Usos superficiales AP Toconce		499.2							
Usos superficiales minería		580.0							
Usos mineros subterráneos		23.3					0.0		
Evaporación Salar de Turi (más baja)		200.0							
Total usos Salado		1327.9				0.0			
Salado antes junta Loa (Ayquina)			472.2	484	0.0		472.2	484	0.0
Loa después junta Salado			2186.9	1165	1021.9		2186.9	1165	1021.9
Evaporación desde Salares		70.0				0.0			
Loa en Yalquincha			2116.9	1371	745.9		2116.9	1371	745.9
Loa sector Calama									
Usos superficiales de riego		559.6							
Usos superficiales mineros		4.5							
Usos subterráneos mineros		183.0							
Total usos Sector Calama		747.1				480.0			

FIGURA N°5.1 Balance de **escorrentía generada, usos y escorrentía total resultante** en fucsia: evaporaciones



Como resultado de este balance, se observa claramente cuatro cosas:

- La escorrentía total (superficial y subterránea) del río San Pedro, está totalmente comprometida con los derechos superficiales y subterráneos ahí constituidos, y no hay caudales excedentes hacia el río Loa.
- El río Salado antes de la junta con el Loa, tiene una escorrentía disponible, no comprometida en la cuenca propia, de 472 l/s efectivos.
- El río Loa antes de la junta con el Salado, tiene una escorrentía disponible de 1715 l/s.

- De los 2187 l/s que suman los recursos disponibles en la junta del Loa con el Salado, hay, hasta la desembocadura, 1303 l/s comprometidos para los usos de los diferentes derechos, y alrededor de 585 l/s que se pierden por evaporación. Esto significa que quedan disponibles, en la cuenca del Loa, 300 l/s efectivos.
- En la cuenca del Salar de Llamara, quedan disponibles, al final de la cuenca, después del salar, unos 80 l/s efectivos.

Como conclusión de lo anterior, se desprende lo siguiente:

- No hay ninguna posibilidad de seguir constituyendo derechos en la subcuenca del río San Pedro.
- Hay disponibilidad para constituir nuevos derechos en la cuenca del río Loa o Salado, hasta un máximo absoluto de 300 l/s efectivos, que es la esorrentía renovable disponible al final de la cuenca. Esta disponibilidad incluye todos los caudales, superficiales y subterráneos, y es la misma, desde el río Salado hacia aguas abajo por el río Loa y San Salvador, puesto que no hay más aportes de recursos aguas abajo del Salado, hasta Quebrada Amarga, cerca de la desembocadura. Este valor se puede considerar aumentarlo en el valor correspondiente a la disminución de la evaporación desde cauces, en la nueva situación.
- Si se considerara que las pérdidas evaporativas pudieran reducirse aproximadamente a la mitad, los recursos disponibles en la cuenca del Loa aumentarían en unos 260 l/s.
- Hay disponibilidad para constituir nuevos derechos en la cuenca del Salar de Llamara. Si se constituyen aguas abajo del salar, pueden llegar hasta 80 l/s. Aguas arriba del salar podrían constituirse más, disminuyendo entonces las pérdidas evaporativas desde el salar, y posiblemente, también, el caudal de salida.

En este punto es conveniente recordar que estas disponibilidades se refieren todas a la esorrentía renovable, y no comprometen los recursos almacenados en los acuíferos.

5.8.- Separación de la escorrentía total en superficial y subterránea

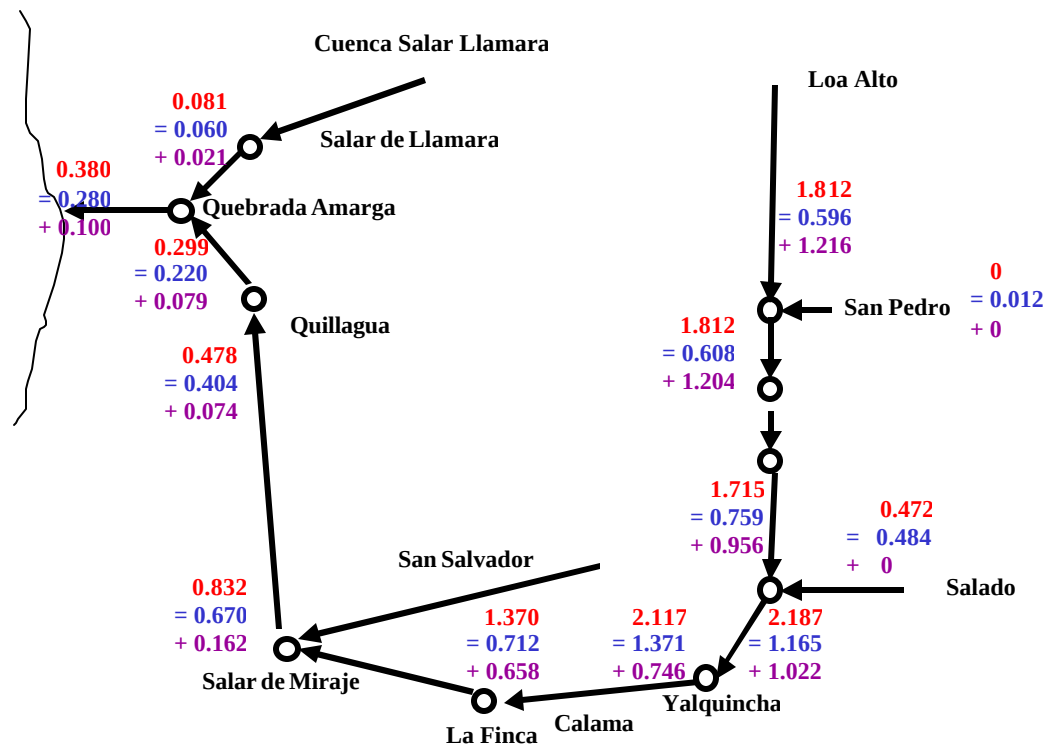
En la misma Tabla N° 5.5, se presentan a continuación del balance en situación actual, dos columnas adicionales, en las que se separa la escorrentía total, en superficial y subterránea. Esto se ha logrado para aquellos puntos en los que hay tanto información de escorrentía total, obtenida del balance, como información sobre el escurrimiento superficial. La información de escurrimiento superficial se ha obtenido fundamentalmente del estudio realizado por la PUC para Soquimich, “Caracterización de recursos superficiales del río Loa, Diagnóstico actualizado para el año 1999”, en el cual se presentan los caudales superficiales en diversos puntos del río. Sólo en la estación Salado en Sifón Ayquina no se ha tomado en cuenta los resultados del mencionado estudio, sino que los valores medidos por la DGA, por considerarse más adecuados. La información de escorrentía total es la que proviene del balance.

Al respecto de esta separación de la escorrentía total en superficial y subterránea, es necesario tener presente que ambas están muy intercomunicadas. Hay zonas donde hay un fuerte intercambio río-acuífero, ya sea por afloramientos del acuífero al río, ya sea por infiltraciones desde el río al acuífero. Esto no dificulta el análisis, siempre que se parta de un concepto de escorrentía total, y se conozca en algunos puntos la escorrentía superficial. A través del balance, tal como está planteado, se puede apreciar que es posible obtener una idea de cómo funciona el sistema acuífero.

En la Figura 5.2 se presenta gráficamente el resultado de la separación de la escorrenrtía total en superficial y subterránea.

FIGURA N°5.2

Separación de la **escorrentía total** en:
Escorrentía superficial y **Escorrentía subterránea** (m³/s)



La separación de la escorrentía total en superficial y subterránea, permite observar lo siguiente, en cuanto a caudales medios, y en cuanto a la interacción río acuífero, en la cuenca:

- El río Loa lleva superficialmente unos 600 l/s a la altura de Lequena. Allí existe un acuífero no despreciable, el cual, hasta antes de la junta con el San Pedro, tendría un caudal de unos 1200 l/s.
- El río San Pedro prácticamente no aporta escorrentía superficial al río Loa, ni tampoco hay un acuífero importante que pudiera aportar caudales de interés.
- Antes de la junta con el río Salado aumentan algo los caudales superficiales en el Loa, hasta unos 760 l/s. Es posible que esto se deba a la reducción del acuífero, que entrega aguas al río en este tramo, llegando a unos 960 l/s de flujo propio.

- El aporte de la cuenca del Salado hacia el Loa, es fundamentalmente superficial, de unos 470 l/s. No habría caudales subterráneos de importancia afluyendo hacia el Loa, desde el río Salado.
- Después de la junta con el Salado, el Loa tiene caudales superficiales de unos 1170 l/s, y el acuífero unos 1000 l/s. Hacia aguas abajo, el caudal superficial va en aumento, por los aportes que le llegan desde el acuífero. Esta entrega paulatina en este sector se observa claramente en la Angostura, a través de las múltiples vertientes.
- A la altura de Yalquincha, se estima que el acuífero se ha reducido a unos 740 a 750 l/s, mientras que el caudal superficial se incrementa hasta unos 1370 l/s. En este punto, la combinación de aguas superficiales y subterráneas es importante, puesto que los 740 l/s del acuífero se toman como caudal de entrada al modelo hidrogeológico de Calama. De todas formas, el caudal total sería de alrededor de 2100 l/s en este punto.
- Frente a Yalquincha también nace el río San Salvador, en base a los aportes del acuífero en este sector. No hay recursos nuevos en la formación del río San Salvador.
- Entre Yalquincha y La Finca (sector de Calama), el sistema, que contaba con unos 2100 l/s de escorrentía total, pierde unos 750 l/s en usos, fundamentalmente en riego, llegando con unos 1370 l/s aguas abajo de La Finca. Si en la Finca se miden alrededor de 710 l/s superficiales, esto significa que habría alrededor de 650 l/s subterráneos. El sistema, en este sector, se refiere a ambos ríos, el Loa y el San Salvador.(completar).
- Aguas abajo de la junta con el San Salvador, el sistema ha perdido otros 540 l/s por concepto de uso, y de evaporación desde los cauces, llegando a unos 830 l/s en total. En este punto, donde se encuentra también el salar de Miraje, el acuífero ya está muy minimizado, y sólo lleva unos 160 l/s. Se puede asumir que el acuífero tiene un desarrollo marginal aguas abajo del Salar de Miraje.
- Aguas arriba de Quillagua, la escorrentía es casi totalmente superficial, y se ha reducido por efecto del uso (poco) y de la evaporación desde cauces (importante), llegando a unos 480 l/s, de los cuales no más de 80 escurrirían por el acuífero.

- Aguas abajo de Quillagua, después de los últimos usos en la cuenca, hay unos 300 l/s que logran salir de la cuenca del río Loa. De éstos, 220 l/s saldría superficialmente. El acuífero sigue portando los restantes 80 l/s.
- Para la cuenca del Llamara, se puede identificar un caudal de salida del salar, que constituye la Quebrada Amarga, y que llevaría unos 80 l/s en total, 60 de los cuales escurren superficialmente, y los restantes 20 l/s, subterráneamente.
- Ambas salidas se juntan finalmente, para configurar los excedentes de la cuenca. Estos excedentes serían de unos 380 l/s en total, de los cuales 280 saldrían superficialmente, y 100 l/s subterráneamente.

5.9.- Disponibilidad para nuevos derechos

En la misma Tabla N° 5.5 se agregan más columnas, en las cuales se presenta un nuevo balance global, ya no para la situación actual, sino que para la situación futura, en que aparecen nuevos usos en los sectores donde se han solicitado derechos (subterráneos).

La condición para agregar nuevos usos es la de no generar caudales negativos en el río Loa aguas abajo de Quillagua, de modo de que puedan ser suplidos todos los requerimientos.

Por otro lado, en la nueva situación, se han supuesto reducidas aproximadamente a la mitad, las pérdidas por evaporación desde los cauces, lo que agrega unos 260 l/s de disponibilidad a los 300 l/s de caudal excedente a la salida del Loa.

En la realidad, los sectores donde hay solicitudes por nuevos derechos, son tres: Calama, Pampa Llalqui y Quebrada del León.

La situación de Quebrada del León no está bajo análisis en el presente estudio. La gran cantidad de derechos solicitados en Calama (912 l/s, que corresponderían a un uso efectivo de 684 l/s), es anterior a los derechos solicitados en Pampa Llalqui, por lo que obliga a analizar primero estos derechos hasta agotar las posibilidades del balance.

Lo que se desprende a la luz del nuevo balance, es que en la cuenca podrían constituirse derechos nuevos por un uso efectivo de hasta un máximo de 560 l/s. Esto podría significar que una gran parte de los derechos superficiales de Quillagua terminarían por tener que extraerse del acuífero, agotándolo, lo que podría resultar no del todo aceptable. Si se desea mantener el acuífero frente a Quillagua, no debieran constituirse más de unos 480 l/s nuevos, efectivos.

Para hacer una estimación de cómo se separa la escorrentía en la nueva situación de usos, aumentada en 480 l/s aguas abajo de Calama, se ha asumido que el acuífero mantiene los mismos caudales que en la situación actual, mientras hay recursos disponibles, y que es la componente superficial la que primero mengua, como en realidad, en efecto, debe ocurrir. Cuando no hay suficientes recursos, y se ha secado el río, también se reduce el flujo en el acuífero. El resultado de cómo se conjugan el río y el acuífero en la nueva situación de usos, se presenta en las dos últimas columnas de la Tabla N° 5.5.

Al respecto sólo se puede agregar que hasta la junta del río Loa con el Salado, no hay cambios en relación con la situación actual. Aguas abajo de Calama, sin embargo, la mayor explotación subterránea hace disminuir los recursos superficiales conjuntos de los ríos Loa y San Salvador, entre unos 480 l/s frente a La Finca, hasta unos 220 l/s aguas abajo de Quillagua, dejando el río seco a partir de este punto.

5.10.-Concepto del desarrollo posterior del estudio

En el capítulo que sigue, se hace un análisis del sector de Calama, en base a un modelo hidrogeológico de simulación desarrollado en conjunto entre el DEP de la DGA y la consultora de Equatorial, solicitante de gran parte de los derechos en el sector de Calama. Dicho modelo muestra qué caudales se pueden extraer del acuífero de Calama (en total, incluyendo los 183 l/s efectivos ya constituidos), manteniendo controladas y dentro de determinados límites, las afecciones a las aguas superficiales, ríos y vertientes, así como también el descenso simulado del acuífero.

El caudal posible de extraer sin generar afecciones mayores, ni al acuífero ni a las aguas superficiales, se obtiene de las simulaciones con el modelo. Este caudal debe entenderse compuesto de una parte de caudal renovable, y una parte proveniente del almacenamiento. La parte correspondiente al almacenamiento se obtiene también del modelo, en base al balance del acuífero. Si el caudal renovable (la diferencia entre caudal total y caudal del almacenamiento) resulta menor que el caudal de 480 l/s, la diferencia podrá otorgarse en la Pampa Llallqui, además del porcentaje correspondiente al almacenamiento.

6. ANÁLISIS SECTOR CALAMA

6.1.- Análisis de Antecedentes aportados por CCM Equatorial Resources

En octubre de 2002, Alamos y Peralta presentó un modelo hidrogeológico preliminar, concebido en VModflow, en apoyo de las solicitudes de derechos de agua de la empresa Equatorial en el acuífero de Calama. Al respecto de este modelo, se puede decir lo siguiente:

Según los antecedentes geológicos proporcionados hasta la fecha de recepción del modelo hidrogeológico existían claras deficiencias en la cobertura de los puntos de muestreo para la campaña de geofísica, dejando un sector al sur del Río Loa (Sector Aeropuerto – Pampa Moctezuma) sin perfilaje geofísico y analizado sólo con la información de algunos pozos perforados hasta el basamento. Por lo tanto, la configuración del basamento en este sector presenta cierta incertidumbre en el modelo numérico. Algo similar ocurre en el sector de la vertiente Ojos de Opache, y La Finca donde el perfilaje geofísico muestra propiedades que no son representadas en el modelo numérico.

Según los antecedentes geológicos en el sector de Calama se presentan cuatro series estratigráficas bien diferenciadas entre sí descritas en el apartado de geología. En el modelo numérico original estos estratos fueron ingresados sólo con valores referenciales de conductividad (Bibliografía) sin encontrarse respaldados por ninguna prueba de bombeo. A pesar de esto, se conoce la existencia de una prueba de bombeo de larga duración (Aprox 3 meses) realizada por la empresa WATERSTONE mencionada en el estudio “Geophysical Data Interpretation and Updated Hydrogeological Conceptual Model for the Calama Aquifer, Region II, Chile”, 27 Marzo 2002. La determinación de los parámetros elásticos mediante alguna prueba de bombeo permite minimizar la incertidumbre inicial dentro del proceso iterativo de calibración del modelo numérico. Relacionado a esto, el modelo original presentaba claras deficiencias en el sentido que la distribución de las permeabilidades iniciales obedecía a una distribución en forma de franjas convenientemente ubicadas en los bordes de carga constante con la finalidad de cuadrar el balance másico propuesto inicialmente. A su vez, no existen antecedentes del área estudiada que respalden los valores propuestos para los coeficientes de almacenamiento. Estos valores son referenciales y obtenidos de la bibliografía. Estos valores fueron corregidos mediante el proceso de calibración.

Relacionado a la Hidrología del sector, si bien existe gran cantidad de información disponible relativa a caudales superficiales existen algunos puntos a mencionar.

Existen ciertas discrepancias en los valores entregados en estudios realizados por la misma empresa. En el “Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Calama”, Septiembre 1999 realizado por Alamos y Peralta, la vertiente Ojos de Opache

aparece con un caudal promedio aforado de 256 l/s como promedio anual desde fines de 1994 a 1999. A su vez, el valor que ingresa como recarga producto del sistema de riego hacia el acuífero es 230 l/s. Por su parte, el “Estudio Hidrológico del Río Loa – Sector Yalquincha Junta con Río San Salvador”, Noviembre del 2002 realizado por Alamos y Peralta, entrega un valor promedio de 530 l/s para la vertiente Ojos de Opache en el período Ene-2000 Ago-2002. Por su parte, el valor calculado en el “Estudio de Riego para la Zona de Calama”, Noviembre del 2002 realizado por Alamos y Peralta, entrega una recarga al acuífero en el rango de 405–456 l/s. Si bien las condiciones de cálculo son diferentes, queda de manifiesto el rango de variación en los dos estudios para la estimación de la recarga al acuífero producto del sistema de riego.

Los valores calculados según los antecedentes para las recuperaciones del río Loa (100 – 200 l/s) y los caudales aproximados para el Río San Salvador (20 – 100 l/s) se encuentran dentro del esquema del balance hidrológico global presentado en este estudio.

Por otro lado, los caudales subterráneos de entrada efectuados para respaldar el modelo no se encuentran enmarcados en un contexto a nivel de cuenca. (Si bien el cálculo de los caudales subterráneos entrantes considera los gradientes efectivamente medidos en la sección de entrada, la sección transversal considerada y la permeabilidad pueden variar a lo largo de la sección). Esto relacionado con los balances hidrológicos realizados a nivel de cuenca en el Río Loa. De esta forma los caudales subterráneos de entrada calculados originalmente (2100 l/s) no coinciden con el balance hidrológico a nivel de cuenca realizado en el marco de este estudio (700 – 750 l/s).

En relación a la implementación del modelo numérico se consideran los siguientes aspectos:

- 1.- Presenta una grilla irregular de celdas de 250x250m y 500x500m no suavizada en todo el dominio, ni refinada en el sector de los pozos de explotación. En la grilla original existen sectores desactivados en el estrato superficial lo que impide el cálculo de la cota piezométrica en dichas celdas. Se procedió a activar todo el estrato superficial. Se suavizó y refino la grilla alcanzando un tamaño de celda cercano a 130x130m.

Por otro lado, el desconocimiento del comportamiento y la falta de mayores antecedentes en el sector La Finca hicieron en primera instancia no considerar ese sector a través de la desactivación de una gran área del dominio. Esto se consideró inapropiado debido a que en este sector se producían flujos ficticios hacia el centro del área modelada.

- 2.- Las superficies (terreno, fondo layer (1), fondo layer (2) y basamento) ingresadas al modelo presentan singularidades producto del tamaño de las celdas y del método de interpolación utilizado. Se corrigió basado en la información de cartografía y visitas a terreno y utilizando otros algoritmos de interpolación.
- 3.- El Río San Salvador se presenta ingresado al modelo numérico como un elemento River. A su vez la vertiente Ojos de Opache se ingresó al modelo como un pozo de explotación de 500 l/s. Se consideró inapropiado dichas representaciones dado que el río San Salvador según los antecedentes se considera como una zona de descarga del acuífero. A su vez, la representación de la vertiente Ojos de Opache como un pozo de explotación no permite observar posibles mermas en su caudal producto de la interferencia que producirían los pozos de explotación evaluados en los distintos escenarios de simulación.
- 4.- Las condiciones de borde para los flujos de entrada y salida en el modelo original corresponden a condiciones de carga constante. Las condiciones de entrada y salida de aguas subterráneas se reevaluaron basado en los siguientes criterios. (1) Balance hidrológico a escala de cuenca que determina flujos subterráneos pasantes en el rango de 700 – 750 l/s para la sección aguas arriba de Calama. (2) la existencia en el modelo original de flujos inversos en la sección de salida que estaban ingresando al dominio modelado.

6.2.- Hidrogeoquímica Sector Calama

6.2.1.- Objetivo

En este acuífero se pretende establecer la relación existente entre las aguas de su acuífero profundo y el superficial, así como, la relación de dependencia de éstos con respecto al acuífero profundo de Llalqui. Lo anterior con el objeto de establecer posibles efectos en los flujos de entrada al acuífero de Calama debidos a una eventual explotación desde el acuífero profundo de Llalqui.

6.2.2.- Antecedentes hidroquímicos

Para el análisis se ha considerado la siguiente información:

- Estadística mensual de conductividad, pH, T° y nivel freático, para el año 2002, entre marzo y Noviembre, de 4 pozos profundos (pozos n°1,3,4, pozo CMG-1 o pozo 9 y de 4 pozos superficiales (pozos n° 6,7,10 y 11). Todos pertenecientes a la Compañía Minera Lomas Bayas y emplazados aproximadamente a 4 Km al sur de Calama, cercanos al curso del río Loa.
- Cinco análisis parciales de la calidad de agua del acuífero profundo obtenidas desde el pozo CMG-1, de marzo, abril, mayo, julio y diciembre del 2002. Inicialmente este pozo tuvo como objetivo la observación del acuífero inferior de Calama, con una profundidad de 303 metros y habilitación entre los 225 y 297 m, sin embargo, para suplir necesidades de consumo se requirió su posterior explotación. Las muestras de agua fueron obtenidas con el pozo en operaciones.
- Un análisis completo de calidad de agua del acuífero profundo, de julio del 2001, muestra obtenida desde el pozo PBC-2, perteneciente a Antofagasta Mineral. Su profundidad es de 350 m y su habilitación entre los 181 y 342 m, se agrega a esto su estratigrafía.
- 19 análisis de calidades de aguas completos del acuífero superficial, obtenidos desde pozos independientes, pertenecientes a CCM-Leonor y CCM- Equatorial. La profundidad de estos pozos no sobrepasa los 60 m de profundidad.
- Como datos de referencia, se han utilizado cuatro análisis de calidad de agua del acuífero superior de Pampa Llalqui, y tres del acuífero inferior, todos aportados por Nazca SA, así como, datos de calidad de vertientes en Calama , del río San Salvador y del propio río Loa, de diferentes fuentes cuya información detallada se encuentra explicitada en la Tabla final

6.2.3.- Análisis de la información

A partir de la estadística de conductividad se ha confeccionado el gráfico N° 6.1

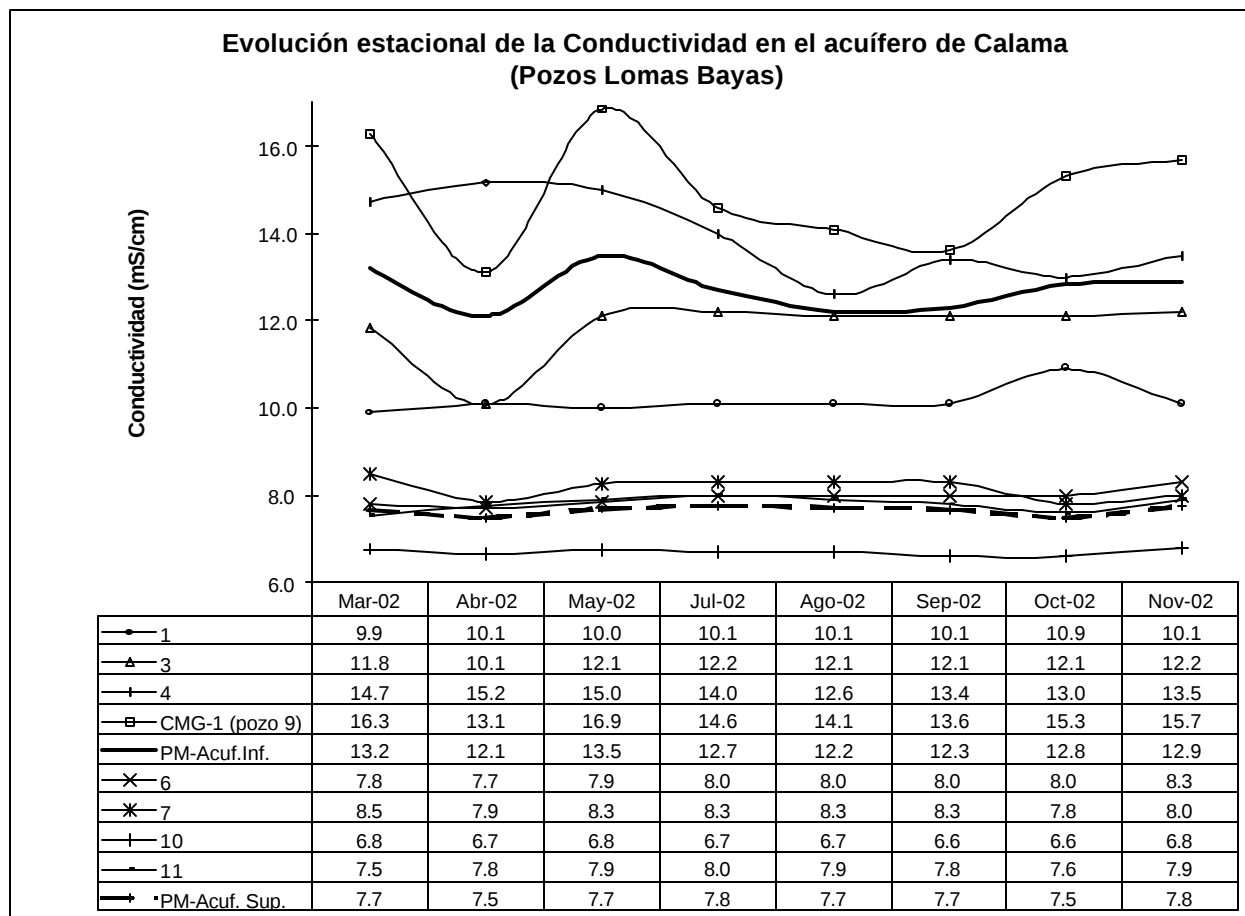


Gráfico 6.1

De este gráfico se desprende que el acuífero superficial, representado por los pozos 6,7,10 y 11, muestran una gran regularidad espacial y temporal en el valor de su conductividad, todos los valores no sobrepasan el rango entre los 6.5 a 8.5 mS/cm, con promedio en 7.7 mS/cm. Por el contrario, el acuífero inferior, presenta una variabilidad estacional y espacial en un rango definido entre los 10 a 17 mS/cm, con promedio en 12.7 mS/cm.

Con el objeto de identificar la condición hidrogeológica que explique la variación de conductividad observada para el acuífero profundo, se procedió a comparar en el gráfico N° 6.2 la variación de la conductividad en el pozo de observación CMG-1 (pozo 9), representativo del acuífero inferior, y la altura de carga entre ambos acuíferos, considerando como representativo del acuífero superior al pozo 7, situado en la misma área (parcela 11).

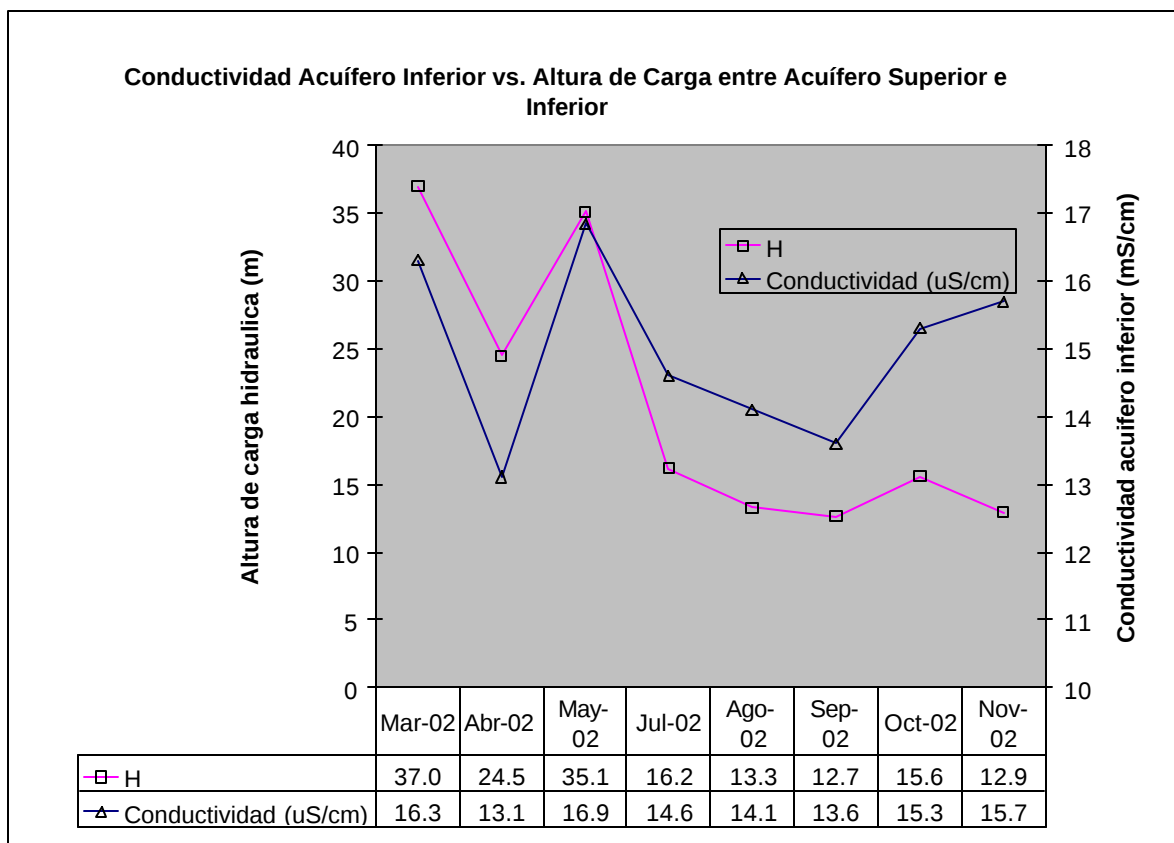


Gráfico N° 6.2

Para efectos del análisis debe hacerse presente que de éstos sólo el pozo N° 7 cumple objetivos de observación, en el pozo N° 9 existe una renovación forzada de sus aguas debido a su explotación. Consecuentemente con esto, la dilución observada en el acuífero profundo se debe al aporte del acuífero superior de menor salinidad, cuyo aporte es mayor al ser mayor la altura de carga. Respecto del acuífero superior, se puede establecer que su recarga proviene principalmente desde los flujos laterales subterráneos y del río Loa.

Respecto del tipo químico de estas aguas, como ya se dijo, se dispone de un análisis de agua con determinación completa de iones principales (pozo PBC-2 de Antofagasta Mineral), a partir cual se establece que el acuífero inferior es del tipo Ca-Na-Mg / Cl-SO₄-(HCO₃) y seguiría una vía Sulfatada Cálcida.

En el siguiente diagrama triangular (Gráfico N° 6.3) se han graficado, en conjunto con la muestra del acuífero inferior de Calama, todos los tipos de aguas de referencia que podrían estar interactuando con éste. Para un mayor entendimiento se ha utilizado el promedio de los datos de referencia cuya dispersión no es significativa para los efectos del análisis.

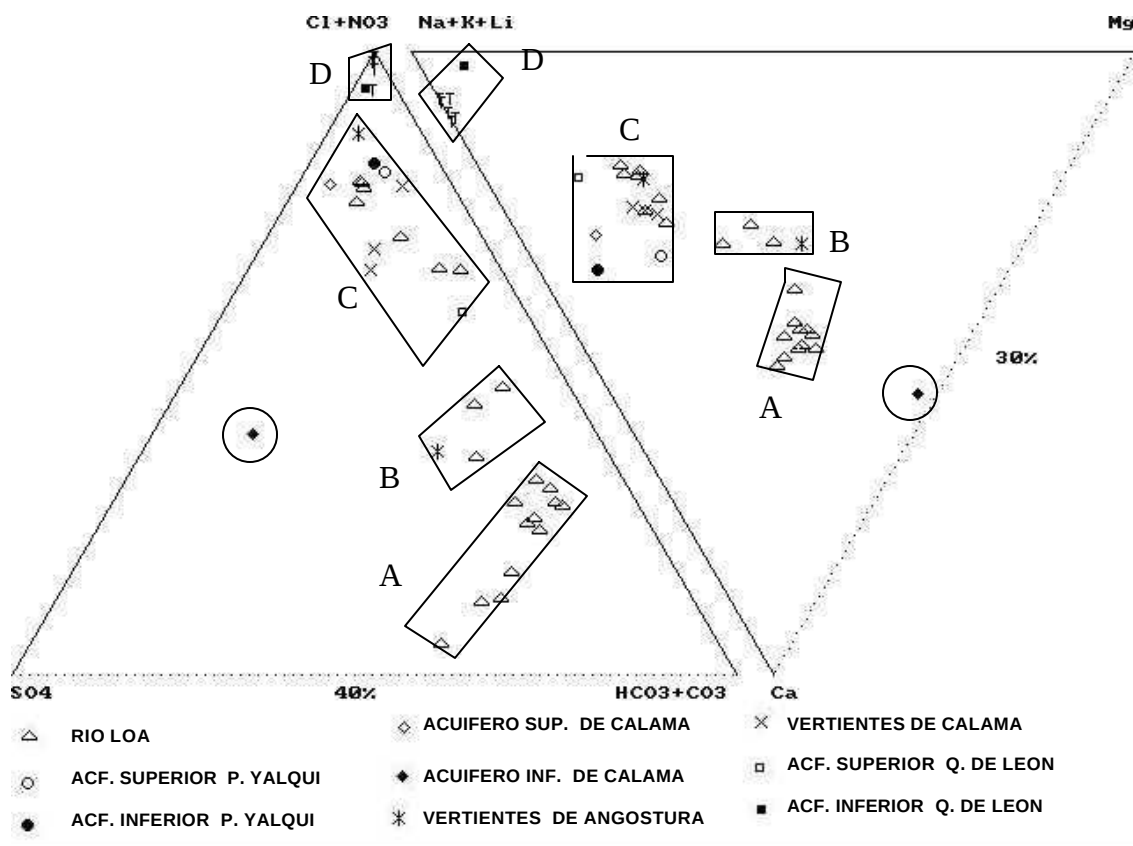


Gráfico 6.3

En este diagrama se han agrupado los distintos puntos de acuerdo a la secuencia de evolución geoquímica existente dentro de la cuenca (A-B-C). Como se aprecia, esta secuencia coincide con el desarrollo geográfico del río Loa salvo la calidad del acuífero inferior de Calama (encerrado en círculo).

Sin ninguna posibilidad de mezcla con algunas de las aguas del sector, que explique la composición química del pozo PBC-2 en la secuencia anteriormente indicada, se presume que ésta respondería a una estrecha interacción con los sedimentos situados en profundidad. Verificada la estratigrafía del pozo PBC-2 se pudo comprobar la existencia de abundante cantidad de yeso en la base inferior de la Formación Loa (aproximadamente bajo los 100m). Este estrato estaría aportando sales evaporíticas (entre ellas, aproximadamente 10 mmol/lit de CaSO_4) por disolución, suficiente para obtener el tipo de agua del pozo PBC-2 indicado en la figura anterior, al menos respecto de las razones Cl/SO_4 y Na/Ca . No obstante lo anterior, la conductividad eléctrica asociada a este pozo no sobrepasa los 6 mS/cm, cantidad muy inferior a los 12.7 mS/cm que se observan como promedio en otros pozos habilitados en este acuífero profundo situados más al sureste. El aumento de salinidad indicado para estos pozos respondería a una mayor residencia local e interacción de estas aguas con las evaporitas de la Formación Loa.

Para verificar la situación anterior, se ha procedido a graficar las razones SO_4/std , Ca/std y SO_4/Cl del acuífero inferior de Calama, a partir de los análisis de agua “parciales” y pozo PBC-2, en conjunto con las calidades de agua relacionadas en el sector.

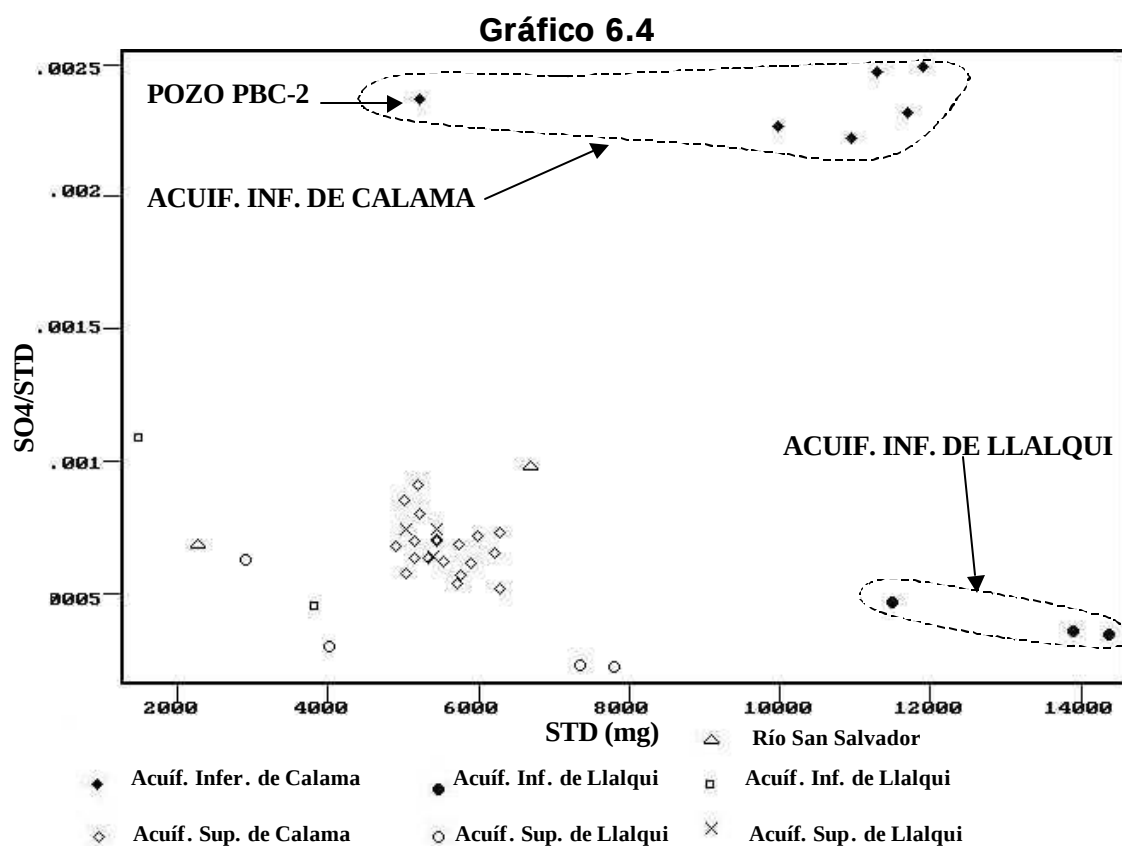


Gráfico 6.5

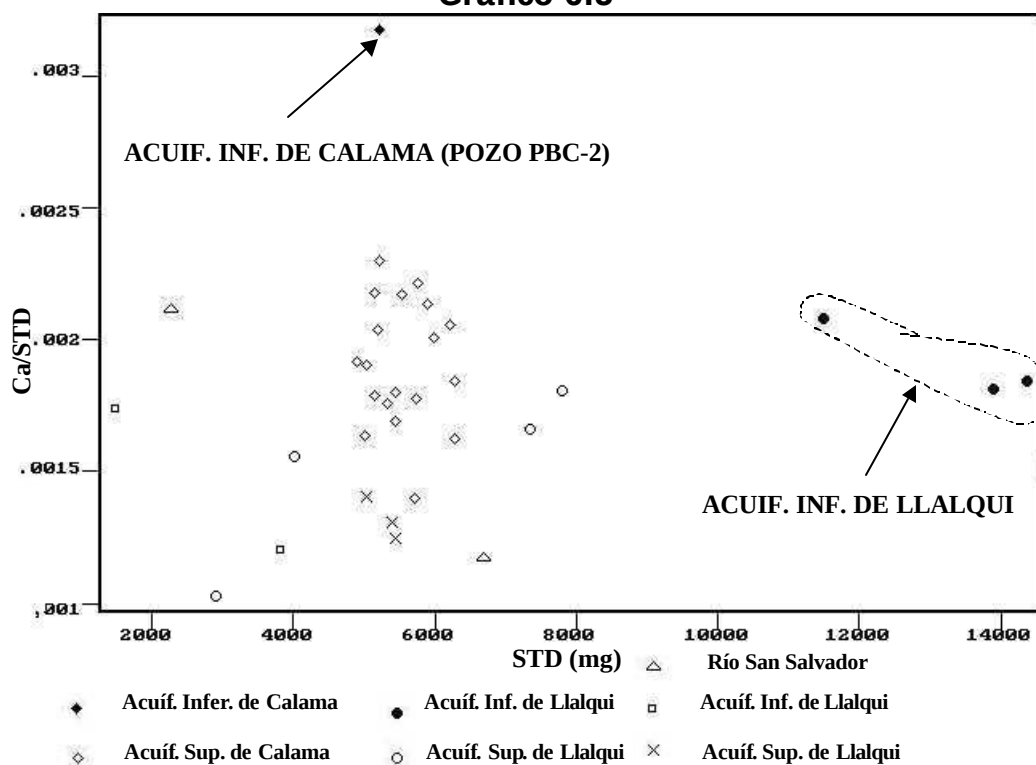
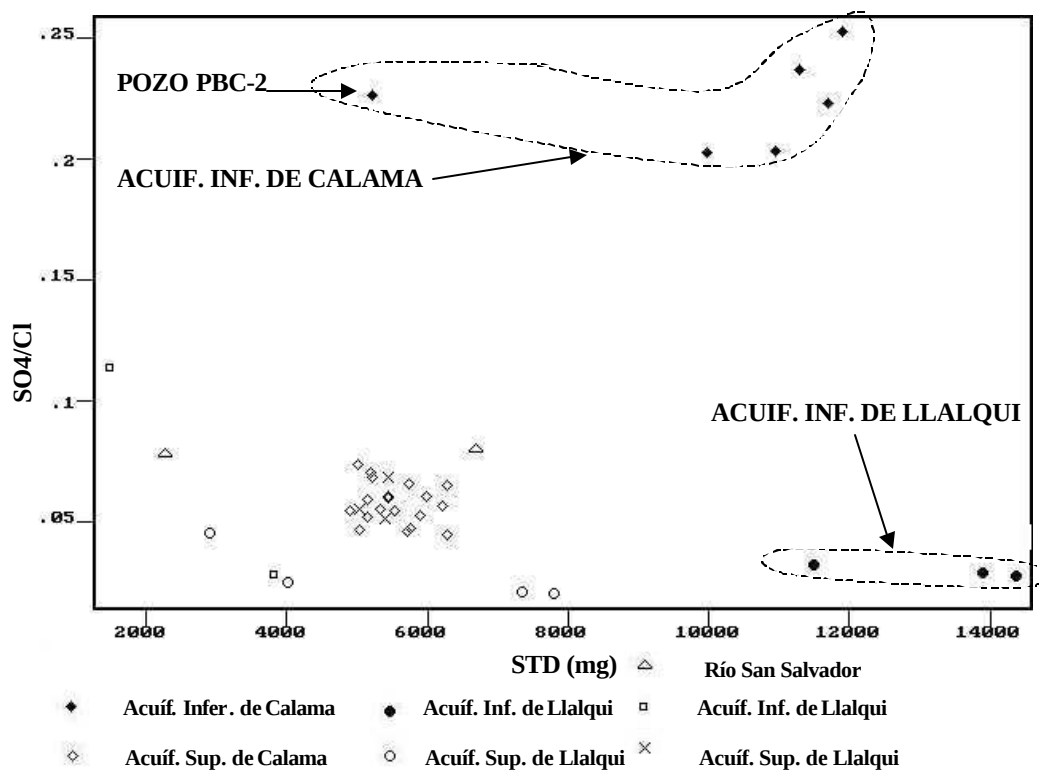


Gráfico 6.6



En estos gráficos queda claramente ilustrado que el acuífero inferior de Calama tiene un incremento porcentual de los componentes SO_4 y Ca respecto de las aguas localizadas en el sector. Específicamente, llama la atención que aún en el agua más salina de este grupo de referencia, la del acuífero inferior de Pampa Llalqui, la razón de SO_4 y del Ca respecto de los STD, sea notoriamente menor al acuífero inferior de Calama. Indudablemente esto permite asegurar que Llalqui inferior no tiene relación directa con la recarga del acuífero inferior de Calama. Por otro lado, los acuíferos superiores de ambos sectores tienen una clara afinidad. Si se tuviera que definir un modelo para la dinámica de los flujos de agua subterránea entre los acuíferos de estos dos sectores, podríamos decir que el acuífero inferior de Llalqui descarga en confinamiento sobre el acuífero superior del mismo sector, sin caudales significativos pero con una salinidad tal que refleja su calidad en él. Posteriormente en el tramo entre Angostura y Calama, el flujo profundo es bloqueado ya sea por singularidades del basamento rocoso o por menores conductividades hidráulicas horizontales, provocando un efecto vertedero en el flujo pasante. A lo anterior, se agrega el hecho que los mayores aportes subterráneos, de acuerdo al balance, ingresan desde el Norte (cuenca alta del Loa) a la depresión media y en menor medida desde el Este (subcuenca del Salado).

6.2.4.- Conclusión

Finalmente se establece que la recarga del acuífero inferior de Calama no tiene una dependencia directa ni significativa del acuífero inferior de Llalqui, que su elevada salinidad se debe a procesos de disolución de evaporitas del sector situadas en profundidad, distintos de los observados en Pampa Llalqui, que corresponden a dilución de salmueras residuales.

6.3.- Modelo Hidrogeológico Calama

6.3.1.- Descripción General

El área modelada se presenta en la Figura.6.1 y está conformada por el polígono de coordenadas cuyas esquinas opuestas son E:499.500, N:7.508.000 y E:512.500, N: 7.518.750. Esta área de estudio considera por el este al río Loa desde el sector denominado Yalquincha, en una línea imaginaria que baja desde el cerro Calama; el sector la Finca por el oeste (también conocido como Chintoraste); el cerro la Cruz por el norte; y un límite ficticio por el sur representado por una línea horizontal definida por la coordenada UTM 7.508.000 Norte. La superficie aproximada del modelo Calama es de 190 km² (Alamos y Peralta 1999)

La modelación hidrogeológica del sector de Calama se efectúa mediante la utilización del software VISUAL MODFLOW 3.0.0.180. Este programa permite la simulación de un sistema acuífero resolviendo la ecuación de flujo impermanente restringida a condiciones de borde especificadas por el usuario. Para mayor detalle referirse a Visual Modflow User's Manual 2002- Waterloo Hydrogeologic Inc.

En relación con el área modelada, el acuífero sector Calama abarca un sector mas pequeño que el sector Llalqui y para esquematizar esta situación, se presenta la Figura 6.2 con el dominio a escala de ambos sectores. (Además, ver figura 2.1)

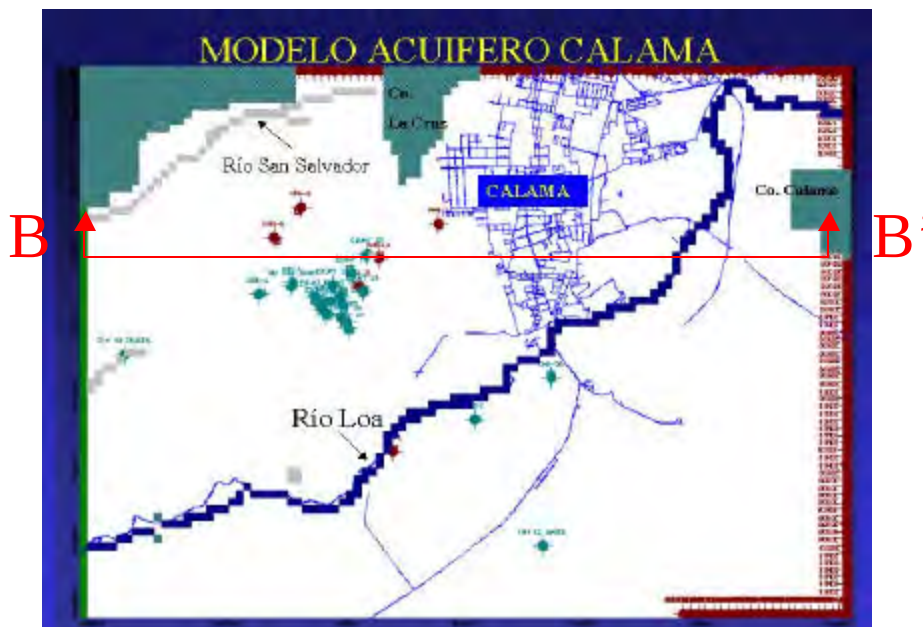


Figura 6.1: Area Modelo acuífero Calama

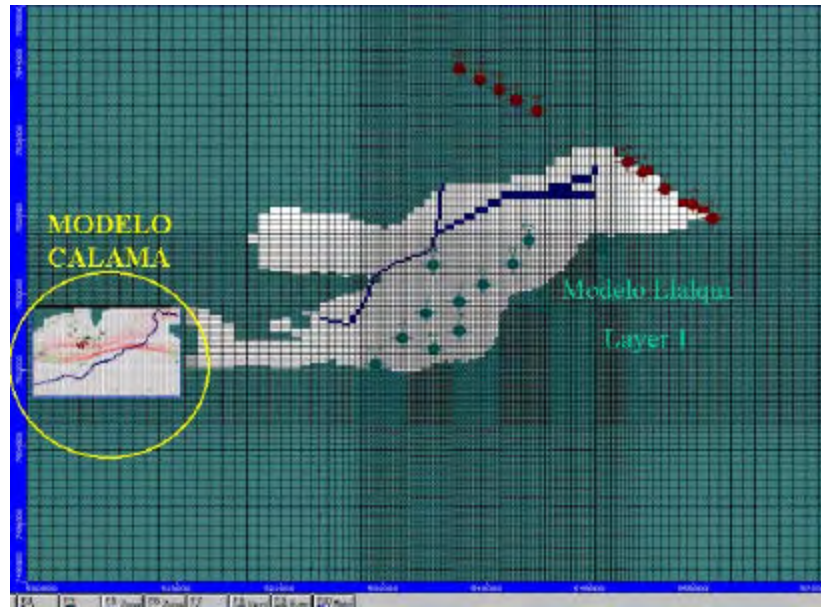


Figura 6.2: Dominio modelo Calama y área explorada Llalqui.

Los principales elementos identificados en el sector y en el modelo son: el río San Salvador, el Río Loa, Vertiente Ojos de Opache, Sector Yalquincha, Sector La Finca, Cerro Calama, Cerro La Cruz, Sectores de Regadío, y las Zonas de Vegas y Bofedales.

La zona se caracteriza desde el punto de vista estructural por fallas de bloque y fallas transcurrentes subverticales de tipo “Wrench” asociados, fallas normales y ensamblajes predominantes de fracturas y pliegues conjugados que se pueden ver claramente en las formaciones de calizas mas competentes (Waterstone 2002).

El área modelada pertenece al acuífero del Loa y contiene las formaciones Loa y Calama, las que subyacen (en este sector) a un estrato de Calizas Karstificadas. Estas últimas, corresponden a limos y arcillas con intercalaciones de diatomitas que tienen alto contenido de yeso y/o cloruro de sodio.

Con la información entregada por la Cía. Contractual Minera Leonor y además con información propia de la Dirección General de Aguas, se generaron perfiles estratigráficos del sector de Calama, los que sirvieron para apoyar y ratificar la distribución espacial-vertical de cada uno de los estratos. En la Figura 6.3 se puede apreciar el corte B-B’ señalado en la Figura 6.1., obtenido del mismo modelo ya implementado y recalibrado.

De los antecedentes mencionados, se puede decir que la Formación Calama es muy variable en espesor, pero que en la zona de afloramientos ésta alcanza espesores que varían entre 30-120 m. Para el sector de sondajes, la formación Calama presenta una potencia máxima de 290 m. La formación El Loa presenta

rangos de espesor entre 50-100 m, pero con potencias máximas del orden de 200 m. Por último, la formación de Calizas, muy variables en su disposición a lo largo de la zona de estudio, podrían distribuirse en una profundidad que varía entre los 10 a 85m.

Basados en interpretaciones propias de la DGA de los perfiles estratigráficos y geofísica proporcionados por la empresa Waterstone, se puede señalar que las calizas presentes en este sector tienen una distribución muy variable en sentido tanto vertical como horizontal, es decir, es discontinua en el sector estudiado, y no atravesaría el río. Además, se hace notar la existencia del gran número de fallas entre el río San Salvador y el río Loa.

El área del modelo, se encuentra condicionada por el angostamiento que producen los cerros Co. Calama y Co. La Virgen, producto del alzamiento del basamento rocoso (zona Este del modelo Calama, entrada al sector del modelo). Ver Fig.6.3.

Los principales ingresos de aguas subterráneas al dominio se producen en los bordes laterales Norte y Este, y las principales salidas subterráneas se producen por el borde lateral Oeste.

El área se caracteriza por tener zonas de regadío en los sectores aledaños a la ciudad de Calama, los que sin duda generan una recarga por riego al sistema. Además, la presencia de vegas, generarían una salida por evapotranspiración importante también de considerar en la modelación.

Los principales elementos de recarga al sistema lo constituyen las entradas subterráneas que se manejan en un rango de 700-750 l/s, provenientes del sector Este (sector de Pampa Llalqui) y otra de la parte Norte (San Salvador- Co. La Cruz). Además se tienen las recargas superficiales, las que se manejan en un rango de 300-350 l/s, producto del riego y del aporte de los ríos.

También es importante destacar el sistema de vertientes existentes en la zona, compuesto por las vertientes de Ojos de Opache, Likantatay y La Cascada, las que en conjunto estarían arrojando un caudal de 250 a 350 l/s.

Los principales flujos de salida del sistema corresponden al flujo subterráneo cuyo valor, según los antecedentes hidrológicos, estarían comprendidos entre 600-650 l/s, y a las recuperaciones de los ríos Loa con variaciones de 100-200 l/s y San Salvador con caudales de 20-100 l/s. (Todos estos antecedentes anteriores se encuentran fundamentados por la información hidrológica DGA, datos de terreno y del estudio Hidrogeológico acuífero Calama de Alamos y Peralta 1999.)

6.3.2.- Descripción Modelación Hidrogeológica

El modelo hidrogeológico se encuentra conformado por cuatro estratos característicos sobreyacentes entre sí, extendidos sobre todo el dominio, y en algunos sectores particulares controlados por fallas de carácter local o de carácter regional. Estos estratos identificados son (desde la superficie hacia abajo): Estrato1, de calizas karstificadas; Estrato 2, serie de arcillas, limos y arenas denominado Formación Loa; Estrato 3, gravas, ó Formación Calama; y Estrato 4, basamento rocoso indiferenciado. En la Figura 6.3 se puede apreciar cada uno de estos estratos modelados.

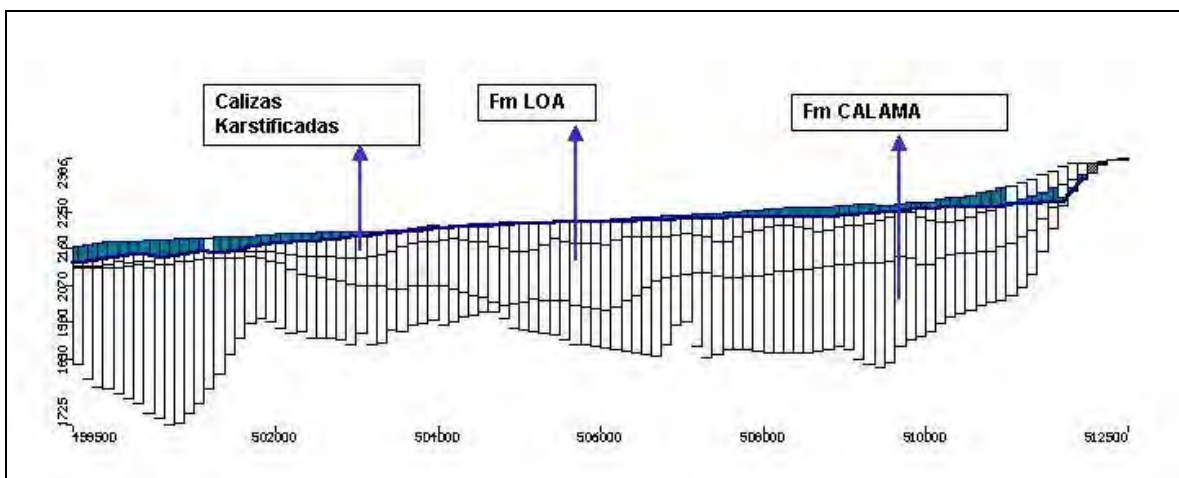


Figura 6.3: Estratos en Perfil Longitudinal Modelo Hidrogeológico Calama

En relación a la discretización temporal de los datos, éste se modeló contemplando un período de stress de 5 años, completando un total de 10 períodos de stress, es decir, 50 años de modelación, para cada uno de los escenarios que se describirán mas adelante. Esta discretización permaneció igual que el modelo original.

En cuanto a la discretización espacial, ésta fue modificada en relación con el modelo original, refinándose a una malla regular de dimensiones aproximadamente 130 x 130 m. cubriendo el dominio definido originalmente. Posteriormente, la grilla fue suavizada aprovechando las propiedades del algoritmo de interpolación Kriging incluido en el programa Surfer. Cada una de estas acciones se realizó para las cuatro superficies ingresadas (Terreno, Fondo Calizas, Fondo Arenas + Arcillas, Basamento).

La piezometría inicial para el período de calibración, fue modificada en relación con la proporcionada con el modelo original. Esto, puesto que habían muchos puntos inciertos, que habían sido extrapolados y que actualmente no estaban reflejando los procesos reales del sector. Ahora bien, la piezometría para la calibración en régimen transiente y para la simulación de los escenarios, es la obtenida como resultado del proceso de calibración en régimen estacionario para el modelo recalibrado.

Como se mencionó en los aspectos generales, las calizas tienen una distribución discontinua en el área modelada, concentrándose principalmente en el centro del área en estudio.

Para el Río San Salvador, que originalmente estaba concebido en un sector con celdas inactivas, se redefinieron las celdas a activas en el sector con la finalidad que este río pudiera extraer el caudal propuesto en el modelo conceptual de 50 – 100 l/s (fuente: datos hidrológicos DGA e información Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Calama – Alamos y Peralta 1999) .

También se modificó la morfología en ciertos sectores, tal es el caso del sector La Finca, en donde basado en el análisis de información cartográfica, de terreno, y geológica, se procedió a efectuar (de manera conjunta con personal de la empresa Alamos y Peralta) un levantamiento del basamento rocoso siguiendo en forma aproximada la información relativa a perfiles geofísicos proporcionados por Waterstone (Perfiles N° 4, N° 5 y N° 6, Informe Waterstone 27/03/2002), con la finalidad de aproximar de mejor forma el sector, en comparación a la versión original.

Para los elementos modelados, se tomaron ciertas consideraciones y cambios basados en la información del balance hídrico y del balance salino, descritos en subcapítulos anteriores.

La vertiente Ojos de Opache fue incorporada a la modelación numérica como un elemento tipo dren, de cota aproximada a 2097msnm y con una conductancia de 12.000 m²/d, considerando la naturaleza fisurada de la formación geológica superior. La vertiente la Cascada, fue modelada como una condición tipo dren, de elevación 2160 m.s.n.m. y una conductancia de 1000 m²/d. Así mismo, la vertiente Likantatay se modeló como dren, con elevación de 2210 m.s.n.m. y una conductancia de 75 m²/d.

El río San Salvador fue incorporado también como un elemento tipo dren, de cota variable (2120-2200 m.s.n.m.) según el levantamiento topográfico del lecho, con valores de conductancia de 10 m²/d.

El río Loa fue incorporado al modelo numérico como un elemento tipo river, con una cota de eje hidráulico superior en un 1m a la cota del lecho del río definida según el levantamiento topográfico. La conductancia del río fluctúa entre valores de 7.5 m²/d y 75 m²/d.

El valor de recarga original, producto del riego en la zona, fue corregido para fluctuar entre valores cercanos a 300-350 l/s. Toda la información concerniente a los sectores de riego fue basado en el Informe Final “Estudio de Riego de la Zona de Calama, CCM EQR noviembre 2002”.

En el sector en estudio, existen vegas y bofedales, las cuales fueron modeladas como una zona de evapotranspiración, con una tasa de ET de 0,005 m/d y de una profundidad de extinción de 2 m.

En relación con las condiciones de borde del modelo, se colocaron pozos de inyección en los bordes norte, este y parte del sur, de manera de representar el flujo de entrada subterráneo, los que en total ascienden a 740 l/s y que fueron ajustados de acuerdo al balance hídrico. La condición señalada, se considera la mas apropiada, del punto de vista de la modelación, ya que una condición tipo nivel constante (que es como estaba originalmente concebido) significaría una entrada infinita de agua que no se podría regular con facilidad. El caudal de entrada estaría ingresando al sistema sólo por los dos estratos superiores, es decir, la formación de calizas y la formación Loa, en base a análisis de perfiles estratigráficos del sector.

Es importante señalar, que con fecha 7 de abril del presente, se recibió por parte de la oficina CCM Equatorial Resources, un informe aportando una corrección válida para el modelo y asumida por la Dirección, en donde se corrige la disposición de los caudales de entrada de los pozos, pero que no alteran el caudal neto de entrada ni la condición de borde. A raíz de esta observación, se buscó perfeccionar aún mas el modelo, modificando la piezometría inicial y utilizando la piezometría que arroja el último período de la calibración transiente sin bombeo como la inicial de los escenarios de modelación.

En cuanto a la condición de salida subterránea del sistema, ésta fue modelada como una condición tipo GHB (General Head Boundary), distribuido en todo el borde oeste del modelo, con conductancias que varían entre 10 y 30 m²/d. La ventaja de este tipo de condición de borde es que no actúa como una fuente infinita de agua (a diferencia de la condición Constand Head o nivel constante) permitiendo que si el nivel de carga simulado “hs” es menor que la cota de fondo del estrato “hc”, la celda que contiene la condición GHB se seque y se inactive su aporte. Esto permite evitar los gradientes inversos y elimina la posibilidad de que se produzcan flujos inversos (desde la sección de salida del modelo hacia el área modelada).

Una característica importante de señalar en el sector modelado, es la conformación que tiene el río Loa en el sector de la Finca, en donde el lecho del río fluye encajonado y por ende hubo que modelarlo de tal manera de poder representar este efecto, levantando el basamento y colocando algunas celdas con flujo cero, es decir, inactivas a través de todo los estratos acuíferos (Figura 6.1).

6.3.3.- Recalibración y Análisis de Sensibilidad

El modelo Calama fue calibrado primero en régimen estacionario, con el objetivo de ajustar las condiciones de flujo dentro de los rangos mencionados en los apartados anteriores y valores de permeabilidad, y en segundo lugar en régimen transiente, para verificar las condiciones de flujo de entrada y salida y además para ajustar los valores de almacenamientos.

Los valores de permeabilidad se manejaron entre 3 – 20 m/d para el estrato 1, entre 0.1 – 2 m/d estrato 2, y entre 0.1 – 20 m/d para el estrato 3. En las Figuras 6.4, 6.5 y 6.6 se pueden apreciar los diferentes zonas de permeabilidad.

Los valores de coeficientes de almacenamientos recalibrados son los siguientes:

Tabla 6.1: Valores de Coef. de Almacenamiento por capas

Layer	Ss (1/m)	Sy	Eff. Porosity	Tot. Porosity
1	0,00001	0,1	0,1	0,1
2	0,001	0,1	0,1	0,2
3	0,001	0,1	0,1	0,1

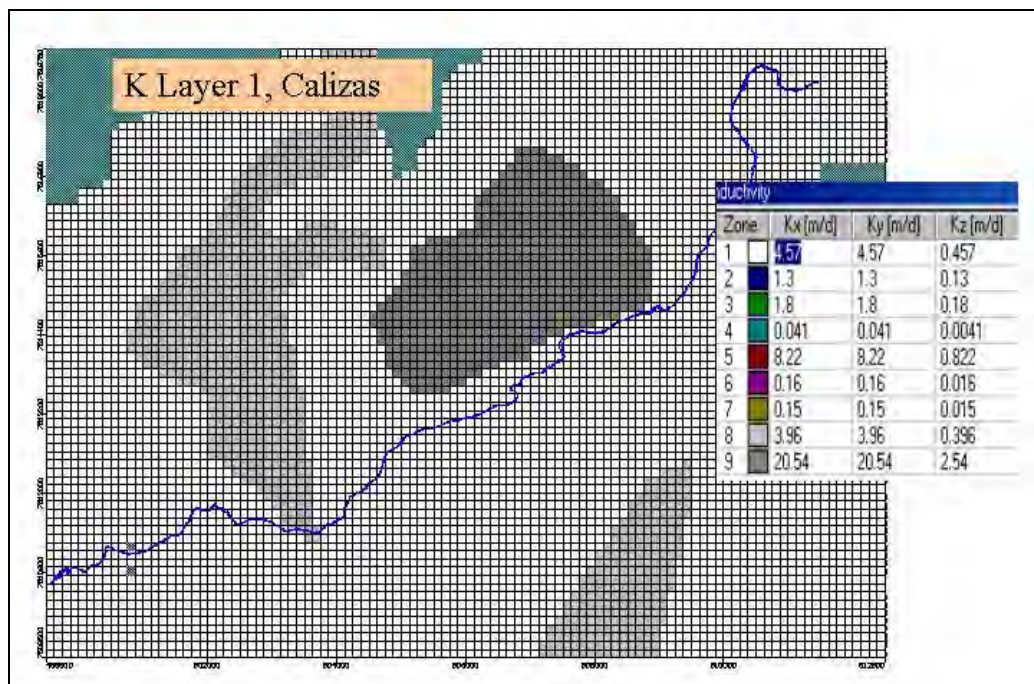


Figura 6.4: Distribución de Permeabilidades Layer 1, modelo Calama,

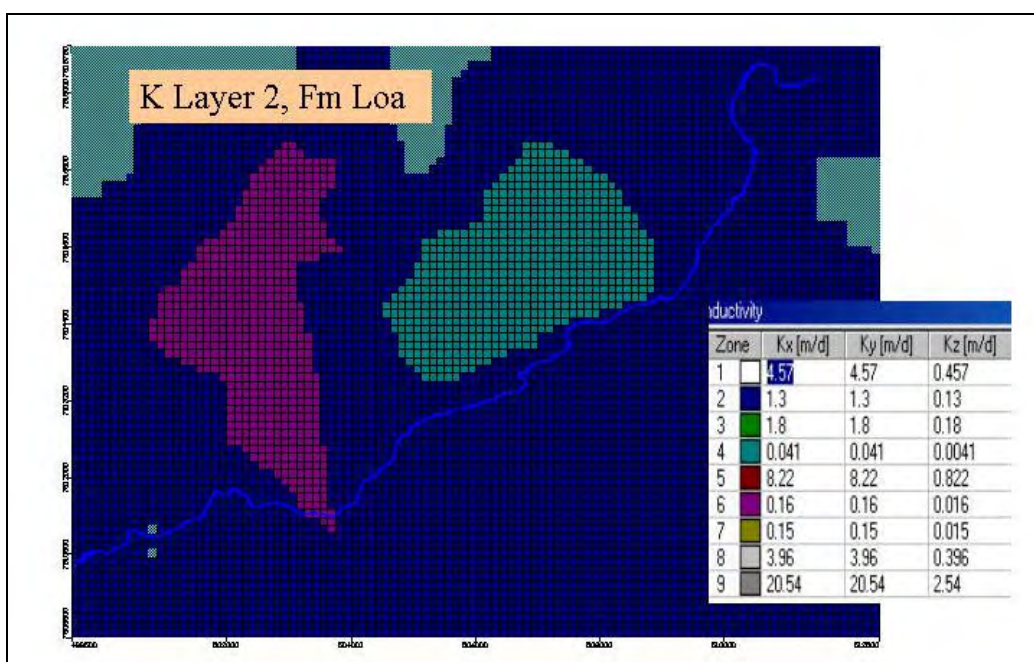


Figura 6.5: Distribución de Permeabilidades Layer 2, modelo Calama,

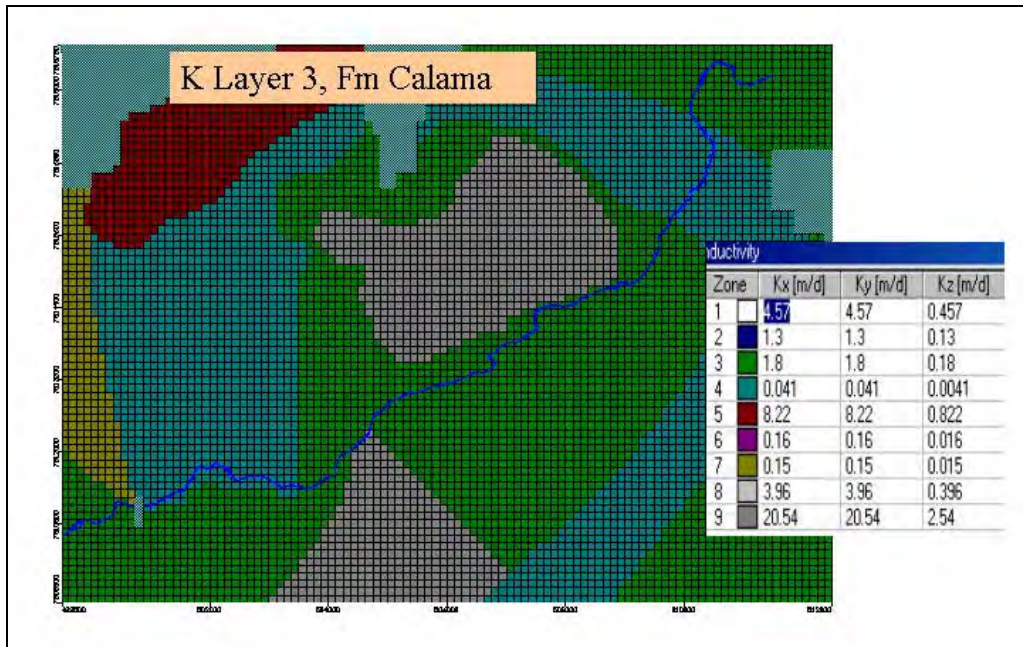


Figura 6.6: Distribución de Permeabilidades Layer 3, modelo Calama,

El proceso de calibración en una primera etapa consistió en ajustar los valores de permeabilidad en régimen estacionario.

Para esta etapa, la calibración entregó un error cuadrático medio normalizado de 3,46% (Normalized RMS) y un error medio absoluto de 3,5 m aprox. Ver Figura N°6.7.

En una segunda etapa, se procedió a calibrar en transiente pero sin bombeo, con el fin de ajustar de mejor manera la piezometría inicial para los escenarios de simulación.

Finalmente, se calibró en régimen transiente y con los bombeos actuales (183 l/s efectivos) para ajustar los demás parámetros (coef de almacenamiento, conductancias, etc.). Para el período comprendido en la modelación (50 años) los parámetros calibrados registran un error medio absoluto de 2.76 m y un error normalizado promedio de 3.01% (Ver figura 6.8)

Los valores de los componentes de flujo para la calibración se presentan en la Tabla 6.2.

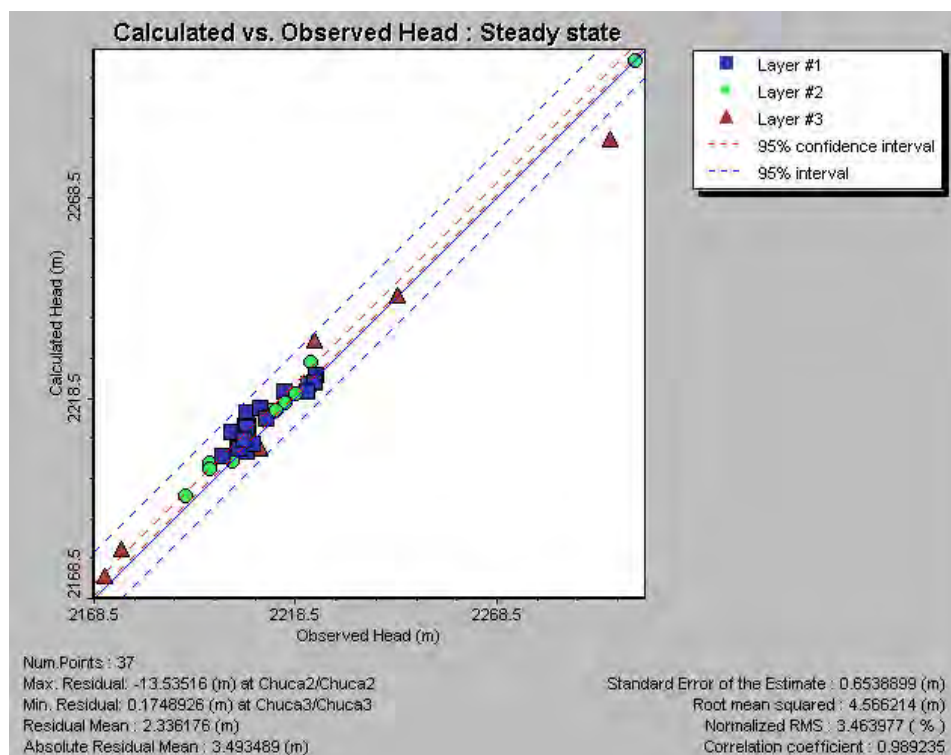


Figura 6.7: Resultados Calibración Régimen Estacionario Modelo Calama

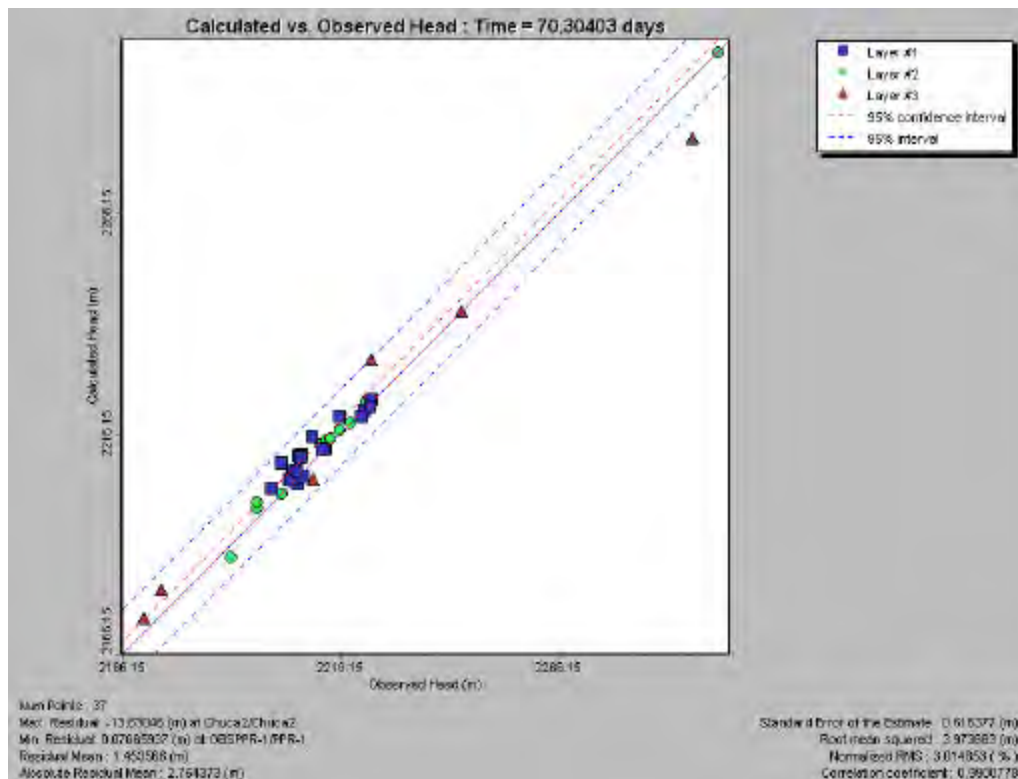


Figura 6.8: Resultados Calibración Régimen Transiente- Modelo Calama

Tabla 6.2: Valores de Flujo para la Calibración Modelo Calama.

	Componentes de Flujo	ESCENARIOS DE CALIBRACION		
		Steady State	Transiente	Reg. Transiente
		Sin bombeo	Sin bombeo	Base (183l/s)
ENTRADAS (l/s)	INFILTRACION LOA	88.49	88.49	96.39
	RECARGA RIEGO	321.44	321.44	321.44
	ENTRADAS SUBT	740.09	740.09	740.09
SALIDAS (l/s)	RECUPERACION LOA	229.64	229.76	204.80
	SALIDAS SUBT	473.75	474.10	459.50
	BOMBEO EFECT.	0.00	0.00	183.00
	SALIDAS DRENES	336.25	336.40	305.69
	ET	110.09	110.14	60.21
	Recuperación Neta río Loa	141.15	141.27	108.42
IN - OUT	IN - OUT (l/s)	0.28	-0.38	-55.30
RMS NORM	(%)	3.46	4.03	3.01
ABS RES MEAN	(m)	3.49	3.68	2.76

OBS: Para el caso de la simulación en régimen transiente, los valores corresponden a valores promedio en el período de 50 años.

De los valores entregados por la calibración, se desprende que los parámetros ajustados (K, S, Conductancias, etc.) permiten obtener valores de flujos para los componentes en la zona modelada que son coherentes con los rangos que se habían estipulado en un principio, es decir, por ejemplo, las vertientes se mueven en el rango de 250- 350 l/s tomando en cuenta que el río san salvador se encuentra incluido dentro de lo que son los drenes, pero aun así, (san salvador aprox. 50 l/s como dren) está dentro del rango: 250-280 l/s.

Las recuperaciones del río Loa se habían estipulado entre 100 - 200 l/s, lo que con la calibración se obtiene alrededor de 140 l/s (valor neto Recuperación-Infiltración). Quizás lo que más se ve subvalorado, es la salida de esta zona, la cual había sido estimada entre 600 – 650 l/s, lo que ahora es entre 450-500 l/s.

Todos estos valores, se encuentran sujetos a los parámetros y condiciones de borde que se le han impuesto, los cuales entregan un error cuadrático medio absoluto del 3%, equivalente a aprox. 3 m. entre los valores medidos y observados. Es importante recordar esta cifra para cuando se analicen los resultados y la validez de éstos.

De lo anterior, y basado en los rangos de error, se concluye que la modelación y sus parámetros así definidos se encuentran bien calibrados y se puede proceder entonces a la simulación. (RMS < 10% buena; RMS < 5% excelente)

Análisis de Sensibilidad

Con el objetivo de analizar la incertidumbre que presentan algunos parámetros y la variación que esto tiene en los resultados de la modelación, se efectúa el análisis de sensibilidad para las variables de (1) Conductancia en el río Loa y (2) Permeabilidades en las formaciones de Calama y Yalquinche (Loa). En las figuras 6.9 y 6.10 se pueden apreciar los gráficos de resultados para estas simulaciones.

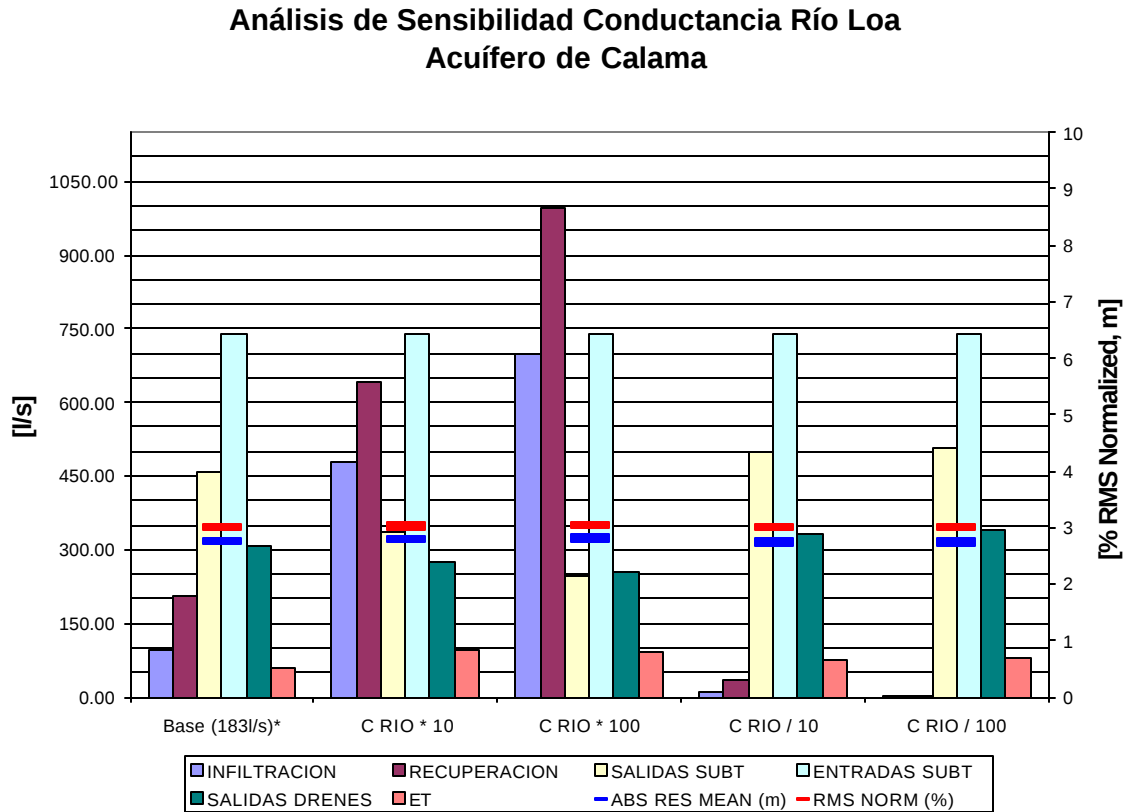


Figura 6.9

Tabla 6.3: Valores de los flujos sensibilidad de la conductancia.

ESCENARIOS	ENTRADAS (l/s)			SALIDAS (l/s)					IN - OUT (l/s)	RMS NORM (%)	ABS RES MEAN (m)
	INFILTRACION	Rec. Riego	ENTRADAS SUBT	RECUPERACION	SALIDAS SUBT	EXTRACC EFECT	SALIDAS DRENE	ET			
Base (183l/s)*	96.39	321.44	740.09	204.80	459.50	183.00	305.69	60.21	-55.30	3.01	2.76
C RIO * 10	477.44	321.44	740.09	641.51	336.67	183.00	275.37	96.69	5.73	3.03	2.80
C RIO * 100	697.12	321.44	740.09	994.83	247.80	183.00	252.50	91.11	-10.59	3.04	2.81
C RIO / 10	9.35	321.44	740.09	35.82	500.71	183.00	332.53	76.18	-57.36	3.01	2.75
C RIO / 100	0.93	321.44	740.09	3.92	507.70	183.00	339.06	80.07	-51.30	3.01	2.74

Para el caso de las conductancias en el río Loa, hay que recordar que este tiene conductancias que fluctúan entre los 7,5 y 75 m²/d.

Al modificar este parámetro y amplificarla en un orden de magnitud, las recuperaciones e infiltraciones responden como debiera ser, es decir, con un aumento en el agua que pasa a través del lecho hacia y desde el río, disminuyen las salidas subterráneas producto de que el agua aflora mas y las salidas de drenes también bajan su caudal, pero en menor cantidad. Un efecto distinto al que se podría suponer, es la respuesta de la evapotranspiración, la cual aumenta en magnitud. Esto se explica debido a que en el río, al existir diferentes zona de conductancias, diferentes zonas de permeabilidad y también debido a la topografía característica del lugar, la simulación entrega disminuciones de nivel de agua en ciertas zonas, pero también aumentos en otras. Las áreas de vegas se encuentran repartidas de manera no uniforme, por lo que hay zonas en las que el nivel de agua aumenta y por ende su evapotranspiración.

Al amplificar las conductancias por 100, se presentan los mismos efectos anteriormente descritos pero mayores en magnitud.

El resultado frente a la disminución de la conductancia del río Loa, provoca los mismos cambios que produce el aumento de éste pero con un efecto contrario en magnitud, respuesta que cabe dentro de lo esperado, salvo las ET que tienen un comportamiento particular que dependen de la disposición que tienen las vegas en el sector y de los aumentos y descensos de agua en el modelo.

Un punto importante de señalar, es que el %RMS de cada uno de los escenarios modelados para la sensibilidad está bajo el aceptable (10% de error) y es más, todos se concentran bajo 5% de error, lo cual es muy satisfactorio, ya que confirma la calibración de los demás parámetros e indica que la conductancia, si bien no es un parámetro del cual se posea información, el que se adoptó para la modelación es apropiado para reflejar las recuperaciones que el río Loa presenta en este sector.

En la Figura 6.10 se aprecia el gráfico de la sensibilidad para el caso de las permeabilidades en la Formación Calama y Yalquinche (Loa). En ésta se puede apreciar que los cambios realizados en las permeabilidades, son muchos mas sensibles y directos en la capa 2 (Fm Loa) que en la capa 3 (Fm Calama), salvo las salidas subterráneas las cuales se ven mucho mas afectadas en la Fm Calama frente a un cambio en la permeabilidad.

Al variar las permeabilidades en la formación el Loa (capa 2), cuando las recuperaciones bajan, la salidas por drenes aumenta y viceversa; esto se debe a que la disposición de las permeabilidades no son uniformes en el área y tampoco la ubicación de los drenes y ríos, por lo que los resultados arrojan resultados que caen dentro del balance global.

Entonces, se puede decir que, el análisis de sensibilidad nos da una orientación que es positiva en el sentido de los valores de los parámetros adoptados, los cuales entregan para ambos casos errores dentro de lo aceptable (< 5%) y que se encuentran sujetos a representar los caudales reales de cada uno de los elementos modelados en el sector.

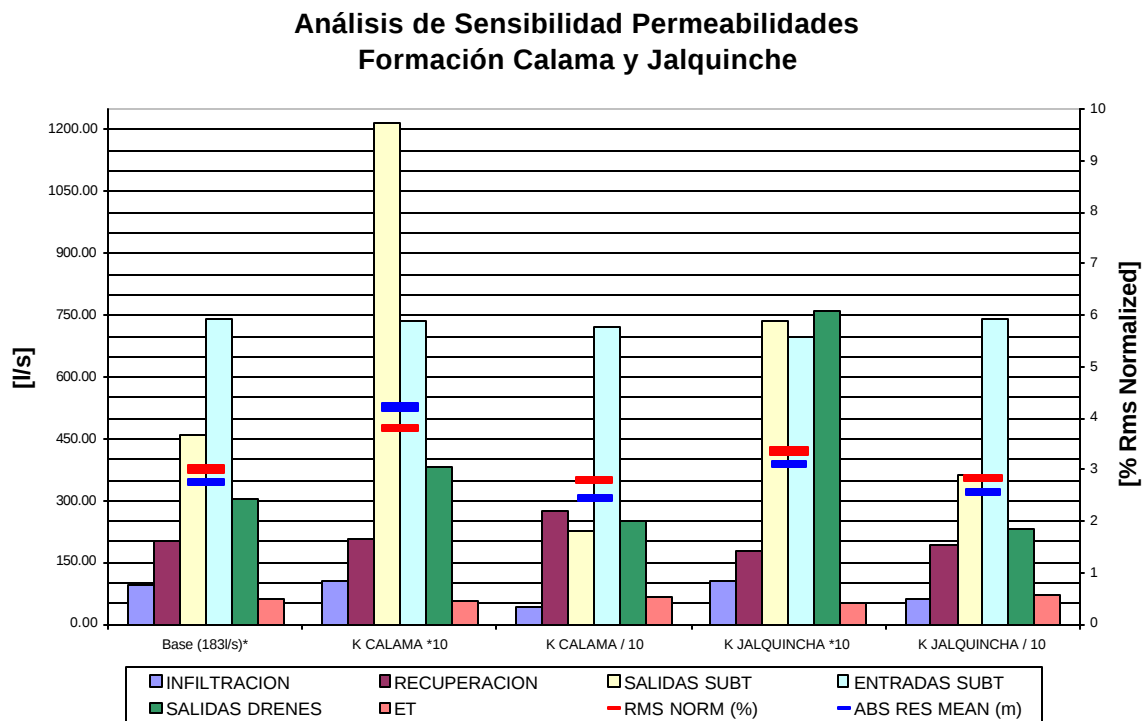


Figura 6.10

Tabla 6.4: Valores de los flujos sensibilidad de las permeabilidades.

ESCENARIOS	ENTRADAS			SALIDAS					IN - OUT (l/s)	RMS NORM (%)	ABS RES MEAN (m)
	River in	Recarga in	Pozos in	River out	GHB out	Pozos out	Drain out	ET out			
	INFILTRACION	Rec. Riego	ENTRADAS SUBT	RECUPERACION	SALIDAS SUBT	EXTRACC EFECT	SALIDAS DRENE	ET			
Base (183l/s)*	96.39	321.44	740.09	204.80	459.50	183.00	305.69	60.21	-55.30	3.01	2.76
K CALAMA *10	105.99	321.17	735.29	210.02	1217.44	174.09	380.25	56.82	-876.16	3.8	4.23
K CALAMA / 10	43.95	321.44	723.62	276.97	227.59	166.43	248.96	65.34	103.72	2.8	2.44
K JALQUINCHA *	102.99	321.39	695.44	180.77	737.01	183.00	762.26	51.15	-794.37	3.37	3.12
K JALQUINCHA /	63.07	321.44	740.09	193.44	361.24	183.00	229.93	72.32	84.66	2.84	2.58

6.3.4.- Escenarios de Modelación

Tal como se ha planteado en apartados anteriores, el modelo original ha sido modificado de acuerdo a los requerimientos técnicos propuestos por la Dirección General de Aguas y en base a nuevos antecedentes que han proporcionado una visión global de la cuenca del río Loa. Lo anterior significó que para el modelo Calama se efectuara un proceso de calibración en régimen estacionario y transiente en concordancia con los requerimientos técnicos propuestos, así como, de los antecedentes aportados por balances hidrológicos a nivel de la cuenca y de los análisis hidroquímicos específicos, tales como, balances salinos en tramos de río y relaciones de conectividad geoquímica entre acuíferos adyacentes o subyacentes. A su vez, se han efectuado análisis de sensibilidad de ciertos parámetros considerados relevantes en el comportamiento y ocurrencia de las aguas subterráneas de los acuíferos identificados en cada área de estudio.

En el presente capítulo se describen las diversas modelaciones, derivadas de una serie base de escenarios de explotación, de acuerdo a la demanda descrita en el capítulo 5, Balance de Usos y Derechos, para un horizonte de 50 años y con la demanda expresada como caudales efectivos, es decir, a los modelos se han incorporado los valores de caudal nominal multiplicados por el respectivo factor de uso utilizado por la DGA.

Serie Base de Escenarios Modelados

ESCENARIOS	CAUDAL DE EXPLOTACIÓN (l/s) Efectivos
ESC 1 (Base)	183
ESC 1A	241
ESC 1B	362
ESC 1C	460
ESC 2	533
ESC 3	808

Los escenarios 1, 2 y 3 nacen como consecuencia de definir un techo a las distintas peticiones de derechos de aprovechamiento y ordenarlas por fecha. Así, el escenario 1 corresponde a los derechos actuales constituidos por la Dirección, cerrando hasta el pozo CMG-1 de la Cía Minera Lomas Bayas (ND-0202-1454) de caudal efectivo 26,25 l/s. En esta primera fase, cabe hacer notar que existen 2 pozos: Chuca 6B y Chuca 10B que quedan fuera del área modelada por lo que no fueron incluidos en la modelación.

El escenario 2, de 533 l/s efectivos de explotación, llega hasta el pozo N°27 (ND-0202-1864) de la CCM Equatorial Resources y el escenario 3, de 808 l/s efectivos de explotación, llega hasta el pozo PBC-2 (ND-0202-2155) de Antofagasta Minerals S.A. (Los listados con esta información de los derechos pueden ser visualizados en la tabla 5.2 de este informe, Parte Calama)

Al simular los escenarios 1 y 2, y al ser tan extremos los resultados que se obtienen, es que se decide realizar simulaciones intermedias (1A, 1B y 1C) para así obtener resultados parciales y con menos rangos de variación en los parámetros analizados.

6.3.5.- Resultados de la Modelación

En este subcapítulo se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios descritos anteriormente, para el período de 50 años. Se analizan los balances globales, niveles y descensos de pozos del sector ubicados en el área de estudio.

Con el objetivo de tener una visión de la ubicación espacial de los pozos, tanto de observación como de explotación (que también sirven para observar la evolución de niveles), es que en las figuras A-6.1 y A-6.2 de los Anexos se muestra la disposición de ellos en el área del modelo. Los esquemas gráficos y espaciales de la evolución de los niveles e isodescensos para cada uno de los escenarios se muestran en el Anexo, desde las figuras A-6.3 a la A-6.21.

Los resultados gráficos hablan por sí solos, pero es importante hacer notar que en los gráficos de niveles, figuras A-6.3.5.18 y A-6.3.5.21, existen pozos que presentan un comportamiento extraño y los niveles de descenso caen a partir de cierto período. Esto se explica por el hecho de que ya con la explotación impuesta de pozos (Esc2 533 l/s y Esc3 808 l/s) se genera un secado de celdas en las zonas donde están algunos pozos de observación, lo que provoca la caída de los descensos, pero esto, en ningún caso significa un aumento en los niveles.

El análisis de los gráficos y descensos se verán con mas detalle en el apartado siguiente.

Los resultados del balance (flujos) para cada uno de los componentes del sistema, y para cada uno de los escenarios, se presenta a continuación, en la tabla 6.5. Además, se muestran también los resultados de estos balances de manera gráfica en las figuras 6.11, 6.12 y 6.13.

En la tabla de resultados, se muestran los flujos para cada escenario de simulación en primera instancia para el escenario base actual, es decir, para los derechos constituidos hasta la fecha pero vistos tras 5 años de modelación solamente. Estos datos son meramente referenciales, ya que todas las comparaciones se realizan en base al escenario Base a los 50 años.

La infiltración del río Loa se ve aumentada (las infiltraciones del río se producen en la parte alta del Loa principalmente, dentro del sector modelado) a medida que crece la explotación hasta llegar a aumentar en un 13 % en el Esc 3 lo que eran las infiltraciones del caso Base 50 años, mientras que las recuperaciones (la finca hacia abajo) van disminuyendo hasta llegar a casi un 60% menos de lo que son las recuperaciones del caso Base.

TABLA 6.5: Resultados de los componentes de Flujo para los escenarios simulados.

ESCENARIOS	ENTRADAS (l/s)			SALIDAS (l/s)					IN - OUT l/s	RMS %	ARM (m)
	River in INFILTRAC RIO LOA	Recarga in RECARGA RIEGO	Pozos in ENTRADAS SUBT.	River out RECUPERAC. LOA	GHB out SALIDAS SUBT.	Pozos out EXTRACC. EFECTIVA	Drain out SALIDAS DRENES	ET out ET			
Base año 5 (Actualidad)	92.37	321.44	740.09	219.12	472.73	183.00	325.17	75.05	-121.17	3.01	2.76
Año 50											
Base (183l/s)	99.20	321.44	740.09	197.54	453.59	183.00	297.18	54.41	-25.00	3.01	2.76
Esc 1A (241 l/s)	102.19	321.44	740.09	183.72	445.92	241.13	284.83	50.93	-42.82	2.96	2.64
Esc 1B (362 l/s)	103.30	321.44	740.09	156.73	427.52	362.41	255.04	46.67	-83.54	4.43	4.2
Esc 1C (460 l/s)	104.25	321.44	740.09	134.62	412.40	460.29	233.29	44.73	-119.55	4.7	4.83
ESC 2 (533 l/s)	105.99	321.44	740.09	121.88	406.17	498.34	225.58	43.36	-127.80	2.61	2.15
ESC 3 (808 l/s)	112.71	321.44	740.09	82.87	366.36	742.40	169.43	38.38	-225.21	3.01	2.94

TABLA 6.6: Resultados de los componentes de Flujo para drenes al detalle.

ESCENARIOS	SALIDAS DRENES			
	Drain out SALIDAS TOTALES	OJOS OPACHE	LIK + CASCADA	SAN SALVADOR *
Base año 5 (Actualidad)	325.17	240.14	27.41	57.62
Año 50				
Base (183l/s)	297.18	227.29	23.38	46.51
Esc 1A (241 l/s)	284.83	221.05	20.38	43.40
Esc 1B (362 l/s)	255.04	205.30	15.40	34.34
Esc 1C (460 l/s)	233.29	192.75	12.37	28.17
ESC 2 (533 l/s)	225.58	187.87	10.34	27.37
ESC 3 (808 l/s)	169.43	148.45	4.69	16.29

* El río San Salvador es modelado como una condición tipo Dren.

Resultados de los Escenarios **Flujos de Entrada (l/s) año 50**

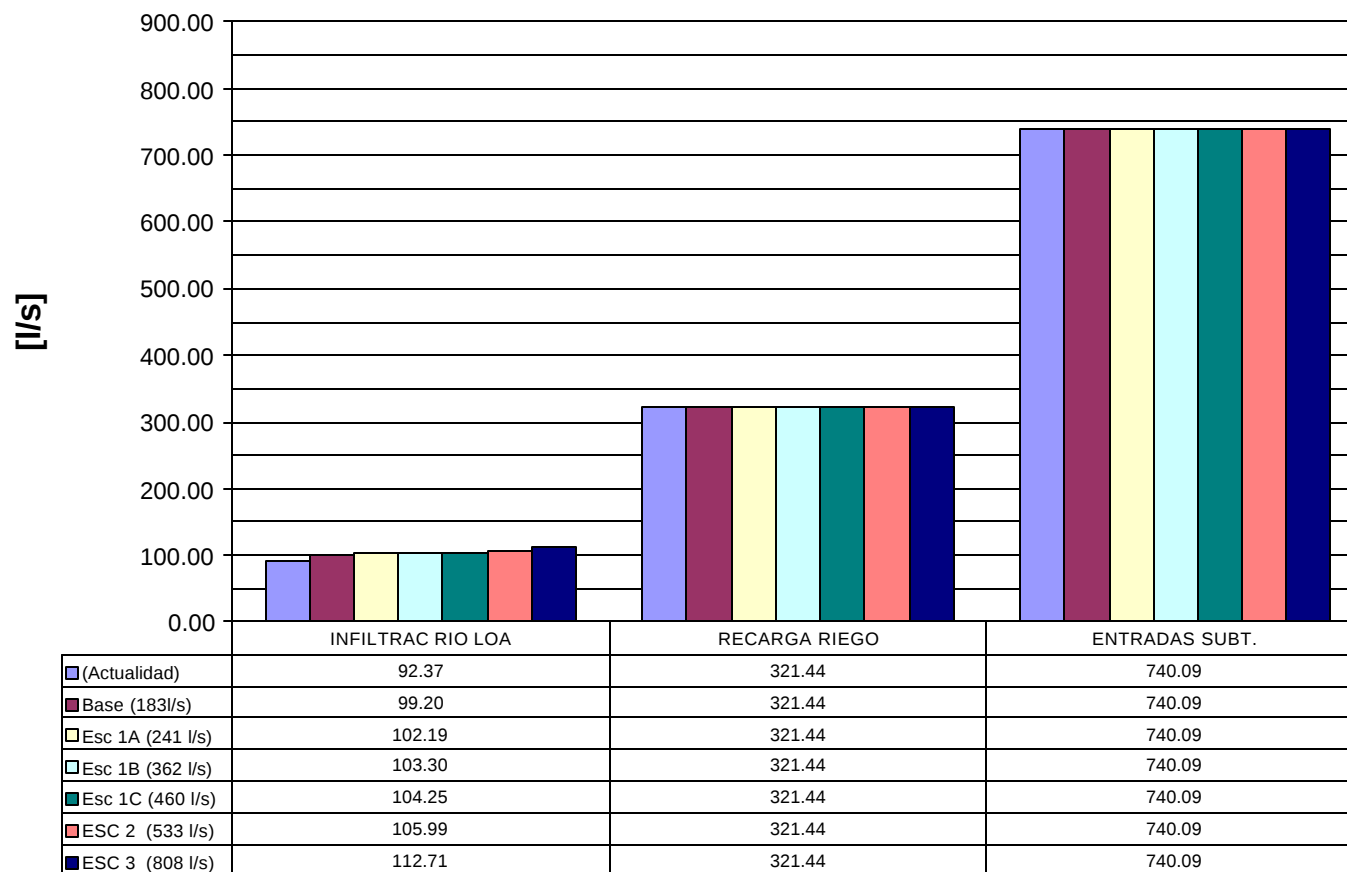


Figura 6.11

Resultados de los Escenarios

Flujos de Salidas (l/s) año 50

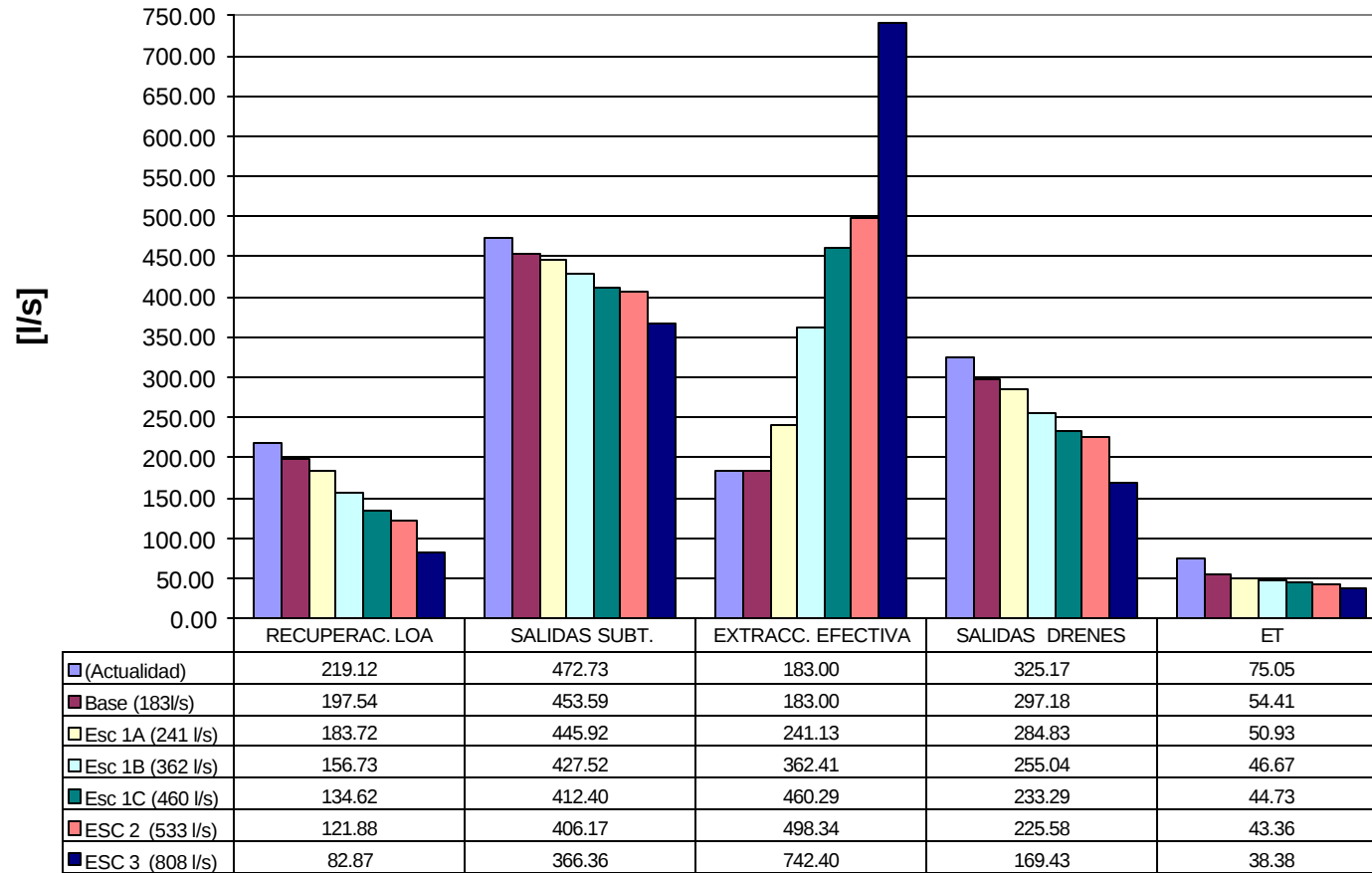


Figura 6.12

Resultados de los Escenarios Variación de Vertientes y Ríos (año 50)

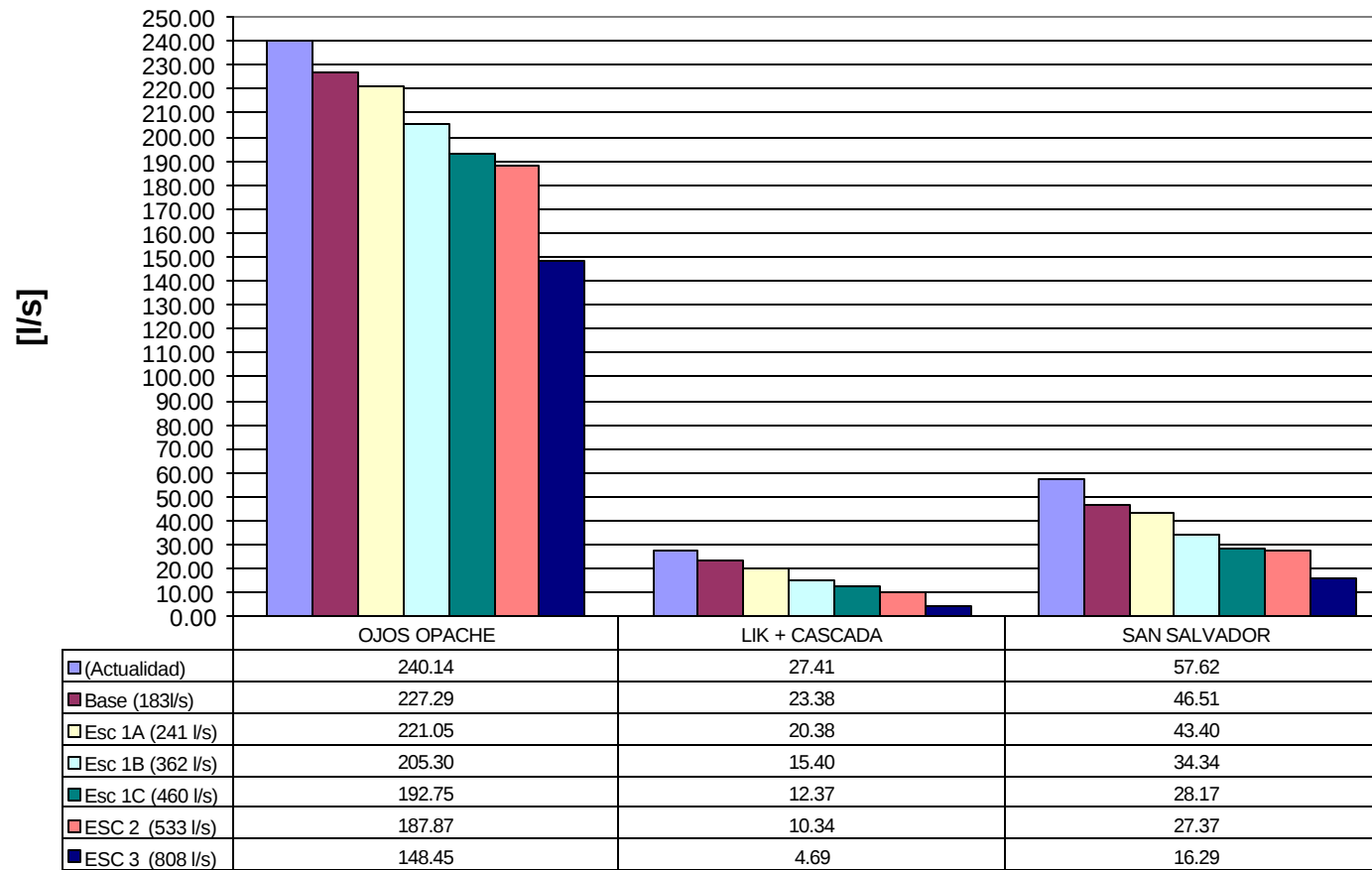


Figura 6.13

Para analizar el efecto que se tiene en el flujo del río Loa, se hace necesario comparar la recuperación neta del río, es decir, las recuperaciones menos las infiltraciones, con respecto al caudal en un cierto tramo del río. Este punto será analizado con mayor detalle en el subcapítulo 6.4 siguiente. (Ref. Tabla 6.9)

Las recargas de riego se mantienen constantes ya que son datos impuestos al igual que las entradas subterráneas (laterales).

En el caso de las salidas, los bombeos o extracciones efectivas impuestas para cada uno de los escenarios de simulación, siguen siendo las mismas impuestas sólo hasta el escenario 1C. Posterior a este, el modelo no es capaz de mantener los bombeos impuestos, llegando solo a mantener el 90% de ellos.

Las salidas subterráneas también se tornan menores a medida que se aumenta el bombeo, afectando hasta un 20% (en el Esc 3) el valor de las salidas del caso Base. Sin embargo, si se mira el Esc 2 (533 l/s), éste sólo se ve afectado en un 10%.

La Evapotranspiración de las vegas modeladas en el sector, en el caso base Actual son de 75 l/s (25% menos que en el caso sin bombeo), en el caso Base a los 50 años bajan a 54 l/s (28% menos que el Base actual) y con bombeos de 533 l/s efectivos la ET baja un 20% comparado con el caso base a los 50 años. En consecuencia, la reducción de ET producida por los nuevos bombeos no es mayor que la reducción que se produce por los actuales bombeos efectivos ya constituidos.

Para analizar los resultados obtenidos para las vertientes y para el río San Salvador, es conveniente mirar la Tabla 6.6, en donde se han entregado de manera separada los resultados de los flujos para cada una de las vertientes: Ojos de Opache, Likantatay + La Cascada y el río San Salvador, este último modelado también como una condición tipo dren, por su particular característica de recuperación de caudal en todo el tramo modelado. La obtención de los caudales de flujo para las vertientes y el río San Salvador por separado, fue logrado mediante la definición de zonas de balance dentro de Visual Modflow, así Ojos de Opache está representado por la zona de balance 6 (ZB6) y el río San Salvador por la Zona de Balance 4 (ZB4). (El cálculo del flujo de afloramiento para las vertientes Likantatay y la Cascada se calcula entonces, como la diferencia entre la salida total de drenes menos la salida ZB6 y ZB4. Es por esta razón que Likantatay y La Cascada se plantean siempre juntas).

De las tres vertientes modeladas, Ojos de Opache resulta ser la menos afectada por el aumento de los bombeos, llegando hasta un 30% de reducción en relación con el caudal que tenía en el escenario Base. No así las otras mas pequeñas, donde Likantatay y La Cascada prácticamente se reducen desde un 10% a un 80%, dependiendo del nivel de explotación. (Ver tabla 6.7).

El río San Salvador nace en esta zona, producto del afloramiento de la napa y sigue alimentándose como consecuencia de las recuperaciones que tienen lugar en este sector. El efecto con respecto al caudal de afloramiento que se tiene en el caso base, varían desde 6% al 65% dependiendo de la explotación (tabla 6.7).

Si se observa la evolución del balance (Tabla 6.5), entradas menos salidas (IN-OUT) todos los escenarios presentan algún grado de vaciamiento. Los porcentajes de uso de almacenamiento respecto del volumen total de acuífero en la zona estudiada, se analiza en el siguiente apartado.

6.4.- Criterios para Evaluar el Comportamiento del Sistema Calama.

La finalidad de cada uno de estos escenarios, es proporcionar los antecedentes técnicos necesarios que permitan evaluar la sustentabilidad de los regímenes de explotación simulados en el largo plazo. Para ello, se han definido las siguientes líneas de análisis para los resultados de las modelaciones:

- a. Estabilización de niveles. Relacionado con el grado de estabilización del cono de isodescensos producido por la explotación, medido en metros por año.
- b. Porcentaje de extracción desde el almacenaje de los acuíferos. Relacionado con la razón porcentual obtenida entre el volumen total de agua almacenada en el acuífero y su disminución producto de la explotación. Medido en Porcentaje (%) de uso del almacenamiento.
- c. Afección a los cursos de aguas superficiales y vertientes. Relacionado con las modificaciones inducidas sobre el régimen natural de caudales de vertientes y ríos. Para vertientes medido en porcentaje relativo (%) al caudal de vertiente en el año actual y para ríos medido en porcentaje (%) respecto del caudal de río en un cierto tramo.
- d. Expansión del cono de isodescensos. Relacionado con la extensión del cono de isodescensos producido por la explotación, y su validez respecto de las condiciones de borde establecidas para los modelos. Basado en el error de cierre de la calibración en transiente, en este caso, se ha adoptado un máximo de 3m.

a) Estabilización de niveles

La estabilización de niveles tiene que ver con la tasa de descenso que presentan los niveles de los pozos de observación incluidos en el modelo. En este punto cabe destacar que tanto los pozos de observación como los de explotación se encuentran activados en el modelo como de “observación”. Además, se han agregado pozos de observación imaginarios con el fin de obtener registro de niveles en zonas en donde no se tiene información. En las figuras de los Anexos se pueden apreciar la evolución de los descensos para los diferentes pozos.

Así mismo, en la Tabla 6.10 se han resumido los valores estimados para las tasas de descenso en el rango de 50 años y en el período de los últimos 5 años. Para los 50 años, se presentan rangos de variación de niveles, producto de la disposición de los pozos en el sector no todos presentan la misma variación, sin embargo, para los últimos 5 años, la tasa de descenso es casi la misma para todos, por lo que se presenta el valor promedio de las tasas de descenso. También se agrega un dato referencial ($t \downarrow 1m$) que quiere mostrar en cuantos años con la tasa de descenso de los últimos 5 años los niveles bajarían 1 m.

A grandes rangos y observando las figuras de los anexos, se podría decir que el escenario 1C sería el máximo admisible, considerando que en los 50 años no se ve una clara tendencia a la estabilización. El descenso de 25 m en el período de 50 años, en la zona de pozos, es una clara evidencia de la fuerte utilización del recurso, pero que sin duda se verá sobrepasado por el criterio de uso del almacenamiento y de la condición de borde.

b) Porcentaje de extracción desde el almacenaje de los acuíferos.

Este criterio guarda relación con saber cual es el porcentaje de uso del almacenamiento, considerando como volumen de acuífero, el que contiene la zona modelada.

Para esto, se ha estimado el volumen de acuífero en 3.630 millones de m³ ($S_y=10\%$), mediante 4 métodos diferentes. El cálculo del volumen desembalsado se hace en base a los niveles piezométricos del último período (año 50) y el del año inicial. Para el layer 1 se calcula con el almacenamiento efectivo (S_y) y para el resto de las capas con el almacenamiento específico (S_s , para acuíferos semi-confinados).

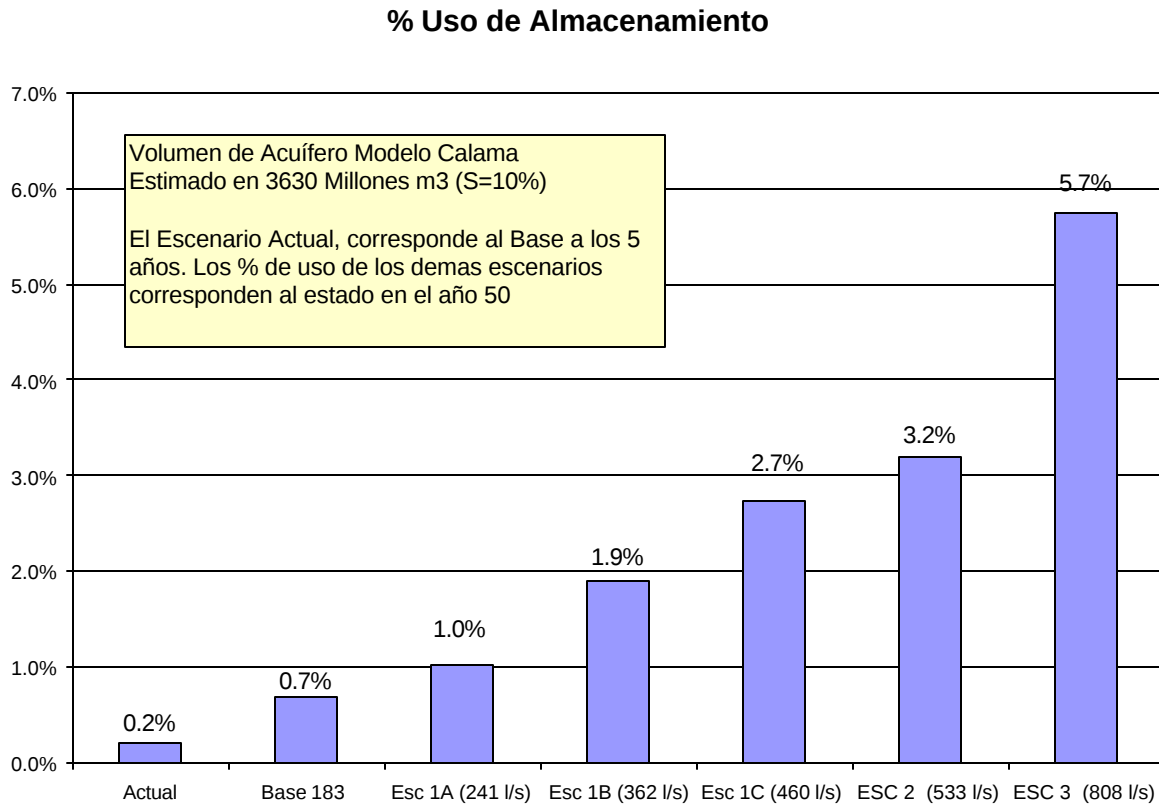


Figura 6.14.: Resumen del % de Uso del Almacenamiento para el acuífero del sector de Calama, para cada uno de los escenarios analizados.

c) Efectos en los cursos de aguas superficiales y vertientes

Este criterio pretende evaluar en que medida se ven reducidas las vertientes Ojos de Opache, Likantatay-La Cascada, el río San Salvador y el río Loa en el tramo en estudio.

En la tabla 6.7 se muestran los cálculos de los caudales y respectivos porcentajes de reducción, en base a: para el escenario base está calculado con respecto al caudal que recuperan las vertientes (o ríos) en el escenario actual y para todos los demás, está en base al caudal que recuperan las vertientes en el escenario base. Así, para todos los escenarios, las vertientes mas afectadas son las de Likantatay y la Cascada y la que menos se ve alterada es la de Ojos de Opache.

Tabla 6.7: Efecto en vertientes y río San Salvador.

Escenario	Afección a Vertientes por separado				Afecc. Río San Salvador	
	Ojos de Opache		Likantatay + Cascada		San Salvador	
	Q de afección (l/s)	(%)	Q de afección (l/s)	(%)	Q de afección (l/s)	(%)
Actual	-	-	-	-	-	-
Base 183	12.85	5.3	4.03	14.7	11.11	19.3
Esc 1A (241 l/s)	6.24	2.7	3.00	12.8	3.11	6.7
Esc 1B (362 l/s)	21.99	9.7	7.99	34.2	12.16	26.2
Esc 1C (460 l/s)	34.54	15.2	11.02	47.1	18.34	39.4
ESC 2 (533 l/s)	39.42	17.3	13.05	55.8	19.14	41.2
ESC 3 (808 l/s)	78.84	34.7	18.69	79.9	30.22	65.0

Los porcentajes aquí calculados, son en base al caudal aflorado en el escenario base 50 años

Ahora bien, si se miran las vertientes y su impacto de manera conjunta, se tiene el siguiente resumen:

Tabla 6.8: Efecto en vertientes

Escenario	Afección a Total de Vertientes ojos+cascada+lik		
	recuperación l/s	afección (c/r base)	
		l/s	%
Actual	267.55	-	-
Base 183	250.68	16.88	6.3
Esc 1A (241 l/s)	241.43	9.24	3.7
Esc 1B (362 l/s)	220.70	29.98	12.0
Esc 1C (460 l/s)	205.12	45.55	18.2
ESC 2 (533 l/s)	198.21	52.47	20.9
ESC 3 (808 l/s)	153.14	97.54	38.9

Para el río Loa el análisis se realiza de una manera un poco distinta. El cálculo del impacto que interesa conocer es el porcentaje de reducción que tienen las recuperaciones sobre el caudal que lleva el río Loa, y que corresponde a la última columna de la Tabla 6.9. El caudal del río Loa en el tramo en donde se producen las recuperaciones es entre el sector de la Finca (o Chintoraste) hacia aguas abajo hasta la junta con el río San Salvador, en donde el caudal histórico se mantiene aprox. en un valor de 710 l/s (Fuente: Caracterización de recursos hídricos superficiales del río Loa. Diagnóstico actualizado para el año 1999". PUC-DICTUC para SQM. Junio 1999).

Tabla 6.9: Efecto en vertientes

Escenario	Recuperación neta River out - River in (l/s)	Afección río Loa c/r al esc base		Afección c/r Q río Loa %
		(l/s)	%	
Actual	126.74	-		
Base 183	98.34	28.40	22.4	4.00
Esc 1A (241 l/s)	81.53	16.81	17.1	2.37
Esc 1B (362 l/s)	53.43	44.91	45.7	6.33
Esc 1C (460 l/s)	30.37	67.97	69.1	9.57
ESC 2 (533 l/s)	15.89	82.45	83.8	11.61
ESC 3 (808 l/s)	-29.84	128.18	130.3	18.05

Caudal río Loa entre sector la Finca 710 l/s
(Chintoraste) y junta con el San Salvador

En esta tabla se puede observar que las reducciones sobre el río varían desde el 2% hasta el 18% dependiendo de la explotación efectiva que se imponga.

d) Expansión del cono de isodescensos.

Este punto tiene como objetivo no restarle validez a las condiciones bajo las cuales se ha realizado la modelación, por lo que, se establece un máximo de descenso admisible para el borde Este de 3m (siendo el borde Este el borde por el cual entra el mayor porcentaje (80%) de agua lateral subterránea) basado en el error de cierre obtenido de la calibración en transiente. (Tabla 6.5)

Los valores máximos para cada una de las simulaciones se presenta en la tabla resumen 6.10 a continuación y se basan en las figuras de descensos obtenidos con la modelación. (Figuras de los Anexos)

Para analizar de manera mucho mas clara cada uno de los puntos de análisis que se han explicado en este apartado, se ha elaborado la Tabla 6.10 la cual resume cada uno de estos criterios.

Tabla 6.10: RESUMEN DE LOS CRITERIOS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CALAMA.

	a					b	c		d
Escenarios	Descenso Total en 50 años		Descenso ultimos 5 años			Uso almac %	% Afecc.Vert. c/r al esc base Ojos+Casc.+Lik	Afecc. Rio Loa c/r al Q río Loa %	Desc. max en B. este m
	(Rango) m	m/año	m	m/año	t↓ 1m				
Actual	-	-	-	-	-	0.2	-	-	< 0.1
Base 183	2 - 5.6	0.04 - 0.11	0.10	0.02	50 años	0.7	6.3	4.0	1
Esc 1A (241 l/s)	3.0 - 9.0	0.06 - 0.18	0.20	0.04	25 años	1.0	3.7	2.4	1.5
Esc 1B (362 l/s)	3.0 - 16.0	0.06 - 0.32	0.40	0.08	12.5 años	1.9	12.0	6.3	2.5
Esc 1C (460 l/s)	8.0 - 25	0.16 - 0.5	0.58	0.12	8 años	2.7	18.2	9.5	3.2
ESC 2 (533 l/s)	9.0 - 30	0.18 - 0.6	0.63	0.13	8 años	3.2	20.9	11.6	4
ESC 3 (808 l/s)	10 - 50.0	0.2 - 1	0.08	0.22	5 años	5.7	38.9	18.1	6

Si bien es cierto, que los diferentes criterios nos permiten tener una visión global del comportamiento del sector, considerando todos los elementos involucrados, también es cierto que, del punto de vista de los criterios por separados, se tendrían distintos escenarios posibles de aceptar.

Con los datos de la Tabla 6.10 se puede decir que el escenario 1B cumple con todos los criterios, sin dejar de mencionar que el 1C y Esc2 son posibles escenarios a explotar, teniendo presente los efectos que estos pueden producir en el sistema actual de vertientes y ríos y que la condición de borde dejaría de ser válida en el caso del Esc2.

7. ANÁLISIS SECTOR LLALQUI

7.1.- Análisis de Antecedentes aportados por Nazca S.A.

En relación con el modelo preliminar presentado por Nazca S.A. se puede decir que:

Según los antecedentes geológicos presentados, no es justificable ni respaldable un espesor de material de relleno máximo cercano a 700m. Esto no se encuentra debidamente documentado en los antecedentes proporcionados por Nazca y sólo se entregan antecedentes de lo explorado por dicha empresa. A su vez, se hace mención que el modelo hidrogeológico conceptual ha sido derivado de la interpretación de imágenes satelitales y perfiles estratigráficos de pozos mencionados en la Figura del Informe de Nazca (PLAN 1: Geological Map of the Calama Basin) pero que no han sido incluidos en dicho informe.

Por otro lado, no se considera apropiado que las condiciones puntuales obtenidas del análisis de las pruebas de bombeo realizadas en los pozos Nazca se extrapolen a un área tan extensa como el dominio modelado.

Según los antecedentes hidrológicos presentados en apartados anteriores el modelo hidrogeológico del sector Pampa Llalqui no está inserto en un contexto de balance hidrológico a nivel de cuenca.

En relación al modelo numérico, existen ciertas diferencias entre el modelo hidrogeológico conceptual y el modelo numérico desarrollado. A su vez, éste no representa los caudales de entrada subterránea al sector ni los caudales de recuperación del Río Loa estimados en el balance hidrológico (1000 – 1200 l/s y 400 – 500 l/s, respectivamente) presentado en este estudio, los cuales han sido respaldados en algunos tramos por los balances salinos presentados en la sección de Hidrogeoquímica.

En relación a la implementación del modelo numérico:

- 1.- Se considera apropiada la representación de la grilla, sin embargo, existen celdas inactivas para el estrato 1 en gran parte del dominio.
- 2.- La representación de los Ríos Loa y Salado responde en términos medios a valores aceptables, sin embargo, sus propiedades físicas ingresadas, resumidas en el parámetro conductancia, no son capaces de reproducir la hidrología histórica registrada en el sector.

- 3.- La condición de borde que representa las salidas subterráneas si bien se encuentra enmarcada dentro del balance hidrológico a nivel de cuenca (700 – 750 l/s), no permite darle continuidad al dominio modelado aguas abajo. Esto con la finalidad de extender el dominio del área modelada y ligarlo al modelo numérico del sector de Calama.

7.2.- Hidrogeoquímica Sector Llalqui

En este caso el análisis tiene como objetivo refrendar las hipótesis sostenidas por Nazca SA, o bien, establecer las discrepancias sobre la base de un análisis independiente de la información disponible.

El análisis del sector de Llalqui no puede hacerse en forma separada del análisis de la subcuenca del río Salado, y específicamente del acuífero de la Quebrada de León.

Acuífero de la Quebrada de León

En este caso, el análisis se centra en determinar la posible fuente u origen de la composición química de las aguas identificadas como del “acuífero inferior” (en adelante acuífero profundo) de la Quebrada de León. Informes previos, entregados por Nazca, indican que la composición química de las aguas de este acuífero no presenta la misma secuencia evolucionaria del denominado “acuífero superior” (en adelante acuífero superficial) del sector, ni tampoco algún grado de mezcla con este acuífero o alguna de las aguas superficiales, no obstante, si muestra indicios de un aporte de aguas geotérmicas demostrando así su aislamiento del acuífero superficial. Otros antecedentes hidroquímicos propuestos por Nazca, que complementan la hipótesis de acuíferos desconectados y fuentes de recargas independientes, se refieren a las altas concentraciones de NaCl, As y Li observadas sólo en el acuífero profundo, que indicarían una fuente hidrotermal.

Para verificar las afirmaciones indicadas anteriormente se ha procedido a graficar el comportamiento de Cl vs. Na, el promedio de todas las muestras de calidad de agua disponibles aguas arriba de los pozos representativos de los acuíferos de la Q. de León. Estos datos corresponden a los utilizados en mismo informe Nazca, más algunos obtenidos del estudio CHI-535. Principalmente corresponden a los cursos superiores de los ríos Toconce y Salado, y sus correspondientes afluentes, así como, de cursos de aguas que desembocan desde el nor-noreste en las Vegas de Turi.

En este gráfico (Figura 7.1) es posible apreciar que tanto el acuífero superior inferior de Q. de León, muestran una concordancia equimolar que no muestran el general de las otras muestras, con excepción de río Toconce en Toconce, río Toconce antes junta con Salado y Salado antes Toconce. Estas últimas muestras de agua, muestran salinidades y composiciones que confirman en parte las conclusiones de Nazca, en el sentido que las aguas subterráneas del acuífero superficial de Q. de León muestran las mismas características del caudal básico de las aguas superficiales sugiriendo la ocurrencia de procesos similares, como la recarga por precipitación seguida de la concentración evaporativa o disolución de

sales subterráneas, y que no hay evidencia de la presencia de aguas geotérmicas en el acuífero superficial.

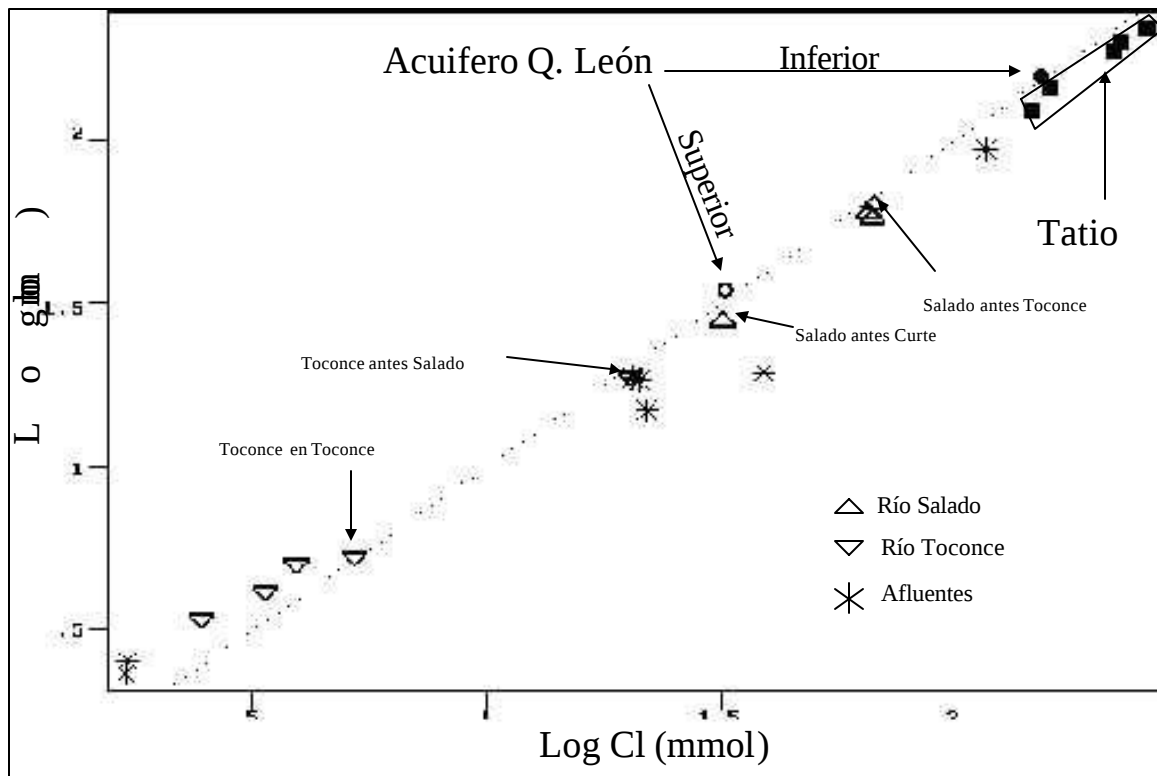
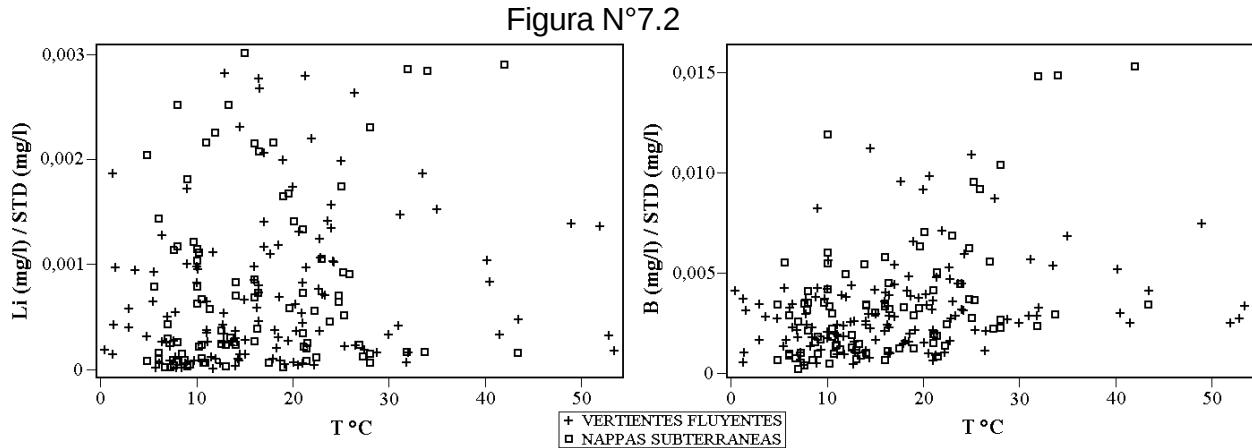


Figura N° 7.1

No obstante lo anterior, existe también otro aspecto interesante de observar en este gráfico, y es que las aguas geotérmicas, a pesar de tener salinidades similares a las aguas del acuífero profundo de Q. De León, difieren de éstas debido a que se desplazan bajo la recta equimolar $Cl = Na$, producto probablemente a la dilución de salmueras del tipo $Na+Ca/Cl$, típicas en formaciones sedimentarias del Norte de Chile y que se asocian a antiguos ambientes evaporíticos cubiertos bajo formaciones volcánicas más recientes.

Por otro lado, la baja concentración de Mg presente en las aguas geotérmicas del Tatio, respecto de las aguas del acuífero profundo de Q. De León, es otra característica que también aparece contraviniendo la hipótesis de un aporte geotérmico. Ahora bien, respecto de que concentraciones elevadas de As y Li en el acuífero profundo de Q. De León fuesen una indicación de aporte hidrotermal, se hace la aclaración que esta hipótesis no ha sido comprobada ni validada por la DGA en su último estudio de geoquímica efectuado en el norte de Chile. Estudio que cubrió casi la totalidad de las cuencas cerradas entre la I y III región, y cuya conclusión se basa en el análisis sobre un número de extraordinario de muestras de aguas de aporte (napas y vertientes fluyentes). Estas muestras fueron colectadas entre los 1500 y 4800 msnm, y un tercio de ellas, tienen una

temperatura superior a 20°C, y por tanto pueden ser consideradas como termales. En realidad la proporción debe ser superior, puesto que se tuvo más muestras por encima de 3000 m. Los resultados se aprecian en la figura 7.2 siguiente.



Complementariamente podemos acotar que Risacher y Fritz (1991) observaron la misma ausencia de relación entre termalismo y composición de aguas en el vecino Altiplano boliviano.

A partir de lo expuesto anteriormente, no existiría evidencia determinante para afirmar que las aguas del acuífero profundo de Q. De León tienen aporte o sean mezcla de aguas del sector, geotérmicas o no. Sin embargo, tampoco significa que no se relacionen de alguna otra manera, efectivamente, si se procede observando la equimolaridad entre Cl y Na, y la alta salinidad existente en las aguas del acuífero profundo, podemos considerar que esta diferencia de calidad no es mas que el efecto de la disolución de evaporitas ricas en Cl/Na, y que formarían parte de los sedimentos del acuífero profundo, a su vez también se explicaría las altas concentraciones de Li y As. Tomando esta hipótesis para el análisis, se procedió a diluir 120 mmol/l de NaCl en el agua del acuífero superficial de Q. De León, cantidad suficiente para obtener la misma salinidad del acuífero profundo. En los gráficos siguientes (Figuras N°7.3 – N°7.8) se muestra el desplazamiento obtenido para cada componente del equilibrio iónico.

Se puede observar con meridiana claridad, que para cada componente iónica considerada, el desplazamiento es hacia la concentración del acuífero profundo.

Finalmente, podemos concluir que el acuífero inferior de Q. de León es recargado por las mismas napas que el acuífero superior, y que su salinidad y composición se deben al tránsito por formaciones sedimentarias ricas en NaCl.

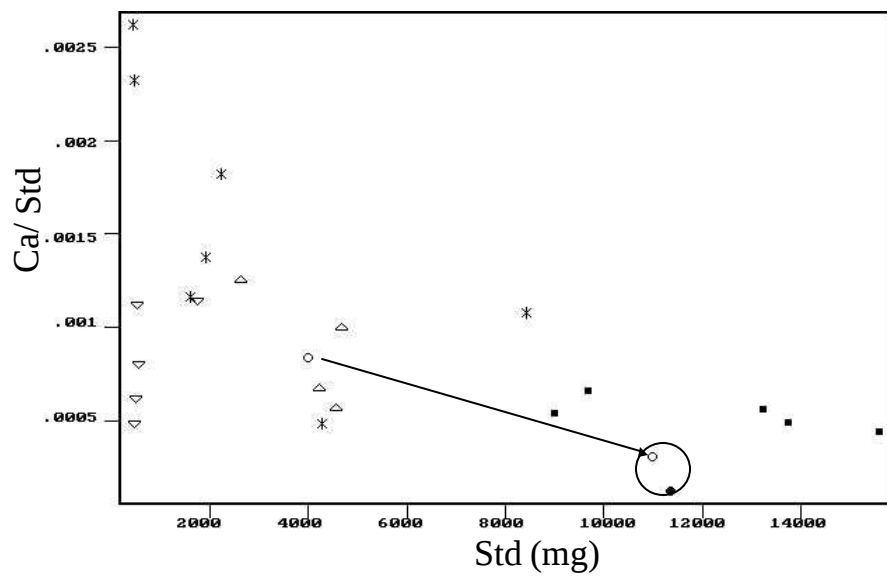


Figura N°7.3

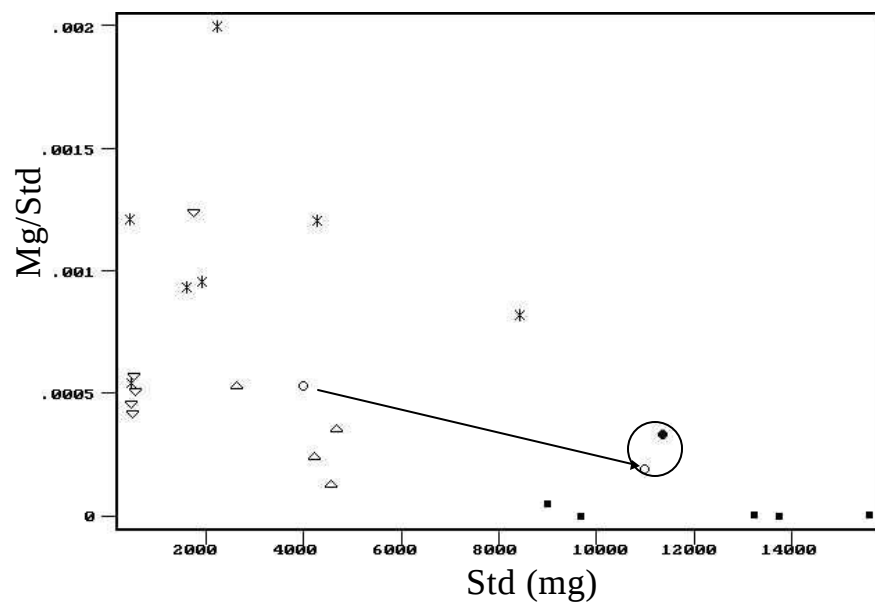


Figura N°7.4

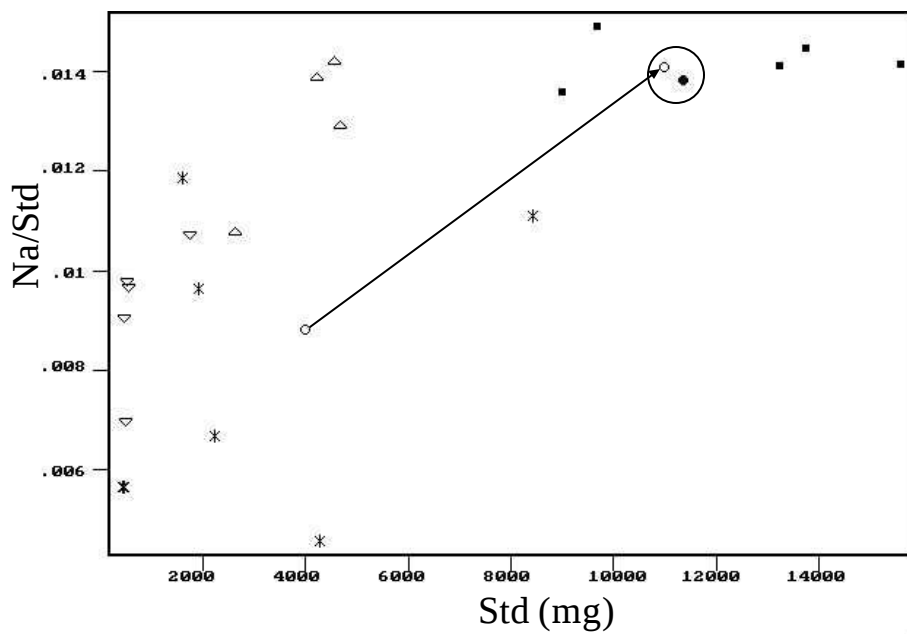


Figura N°7.5

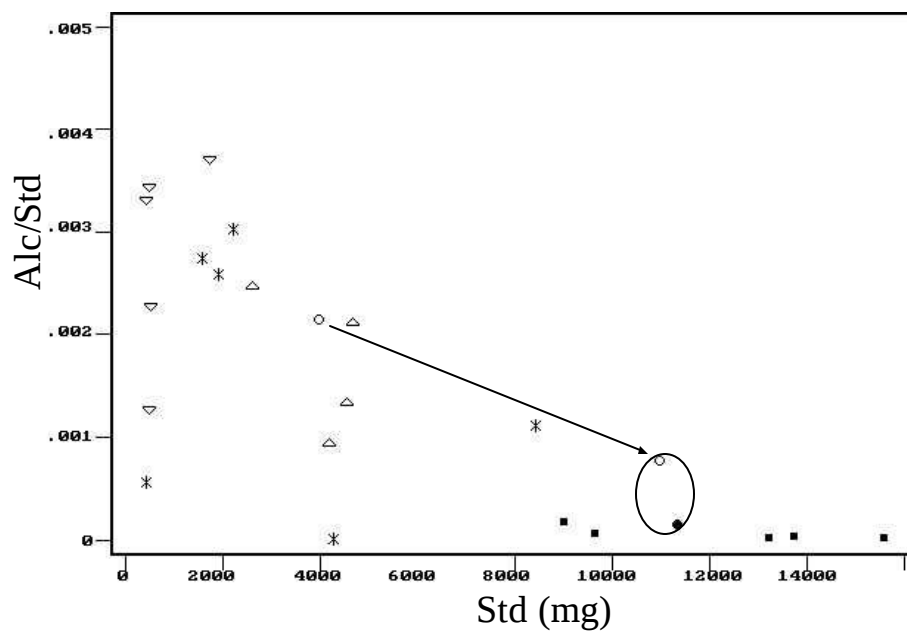


Figura N°7.6

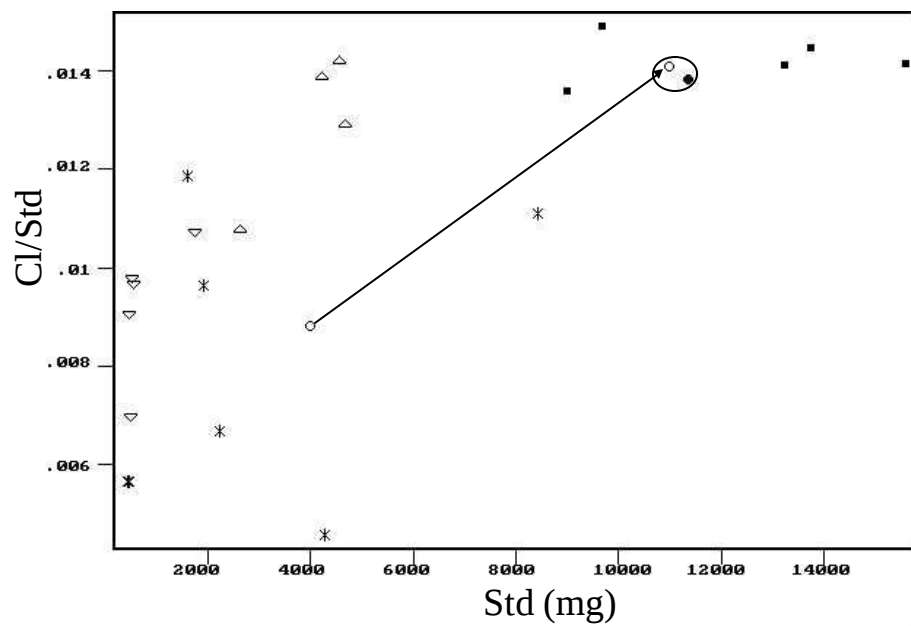


Figura N°7.7

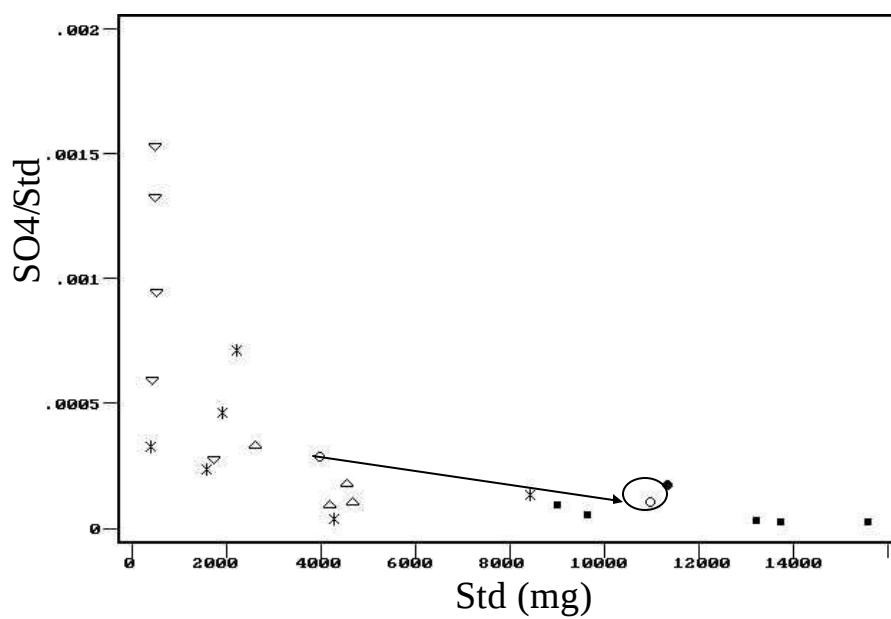


Figura N°7.8

Acuífero de Llalqui

En este caso el análisis se centra en distinguir el grado de conexión entre el acuífero inferior situado bajo la capa de material volcánico (Formación Sifón) y el acuífero superior o Formación Opache. Conforme a los antecedentes hidrogeológicos y al balance hidrológico efectuado con anterioridad, existe un flujo regional de agua hacia la depresión intermedia que para el sector de Llalqui tiene una dirección noreste suroeste, es decir, desde la subcuenca del río Salado. Como se puede observar en la Tabla N°3.4.2.1 resumen (adjunta al final del subcapítulo 3.4), la calidad de las aguas de los tributarios del río Salado tienen una gran dispersión de calidades y salinidades, y en consecuencia distintas vías evolutivas (CB, SA, SN y CA). No obstante, existen algunos patrones rescatables, las vías relacionadas al drenaje de formaciones volcánicas ricas en azufre (SA y SN) están localizadas preferencialmente en la parte norte y noreste de la cuenca, tanto así que las aguas del acuífero inferior y superior de León, altamente salinas tienen esas vías evolutivas. Las vías carbonatadas son menores y se restringen a las aguas con baja salinidad situadas muy en cabecera, las cuales rápidamente modifican su composición al mezclarse con otras cambiando a una vía sulfatada. La vía cálcica, es la predominante y la que se observa en el río Salado a partir de los aportes recibidos desde el sector suroeste de la cuenca.

Las aguas del Tatio, son altamente salinas y contienen una gran proporción de calcio, suficientes para con pequeños aportes modifiquen la vía evolutiva de un agua medianamente salina de SN a CA. Esta composición está asociada al drenaje de formaciones sedimentarias con alto contenido de salmueras del tipo Na+Ca/Cl, no sabemos su origen pero suponemos la existencia de antiguas formaciones sedimentarias bajo la cubierta volcánica. Este efecto también es observado en el costado Este de las cuencas de Ascotán y Carcote, lo que nos lleva a pensar en la existencia de una antigua formación sedimentaria de gran cobertura.

Lo anterior no implica necesariamente el ingreso de agua desde otras cuencas, sino más bien que para una misma disposición litológica se observan resultados similares.

En el siguiente diagrama triangular (Figura N°7.2.8) se han graficado las calidades observadas en el río Salado, río Toconce y del sector del Tatio en conjunto con la calidad del acuífero superior e inferior de Llalqui. Salvo las aguas del río Toconce, todas tienen vías evolutivas cálcicas. Se puede observar una tendencia evolutiva de las aguas del río Salado al avanzar en su recorrido hacia el río Loa con la calidad de las aguas del Tatio, lo cual estaría indicando un aporte subterráneo de esa misma calidad hacia los cursos inferiores del río Salado, por otro lado, no se observan grandes diferencias, salvo la salinidad, entre el acuífero superior y el inferior de Llalqui.

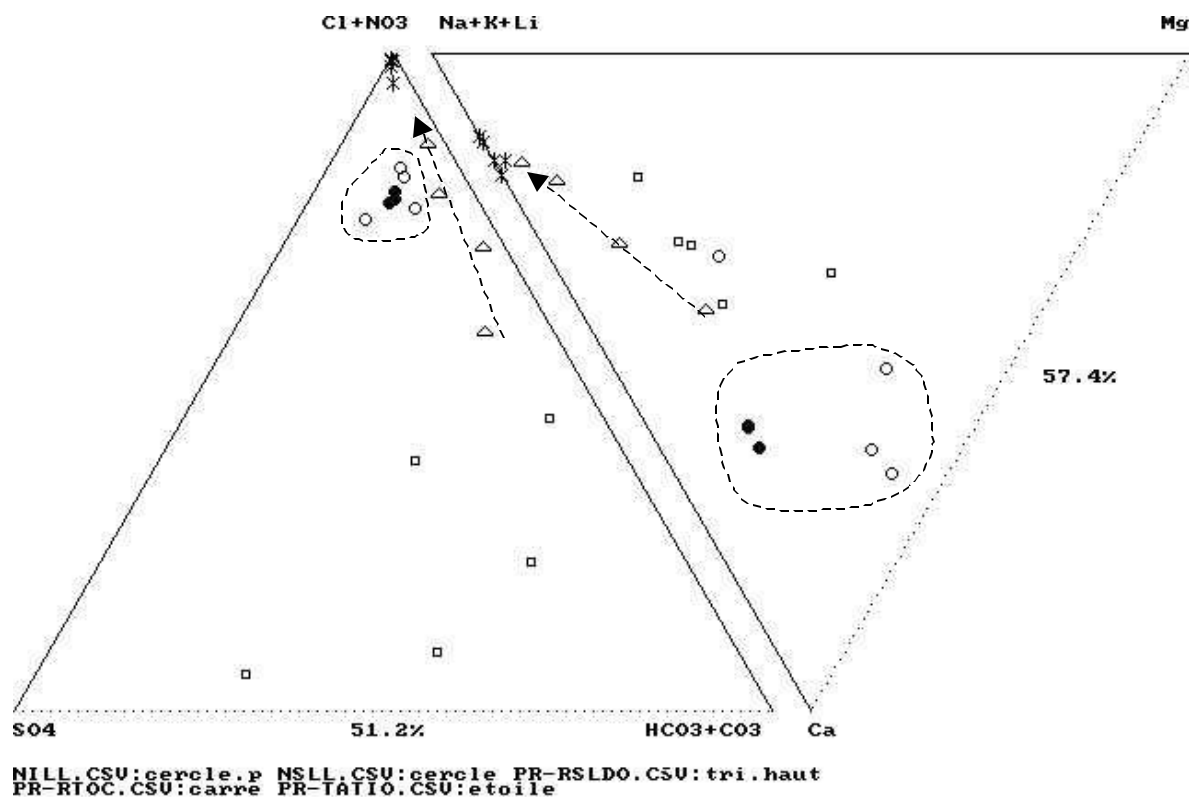


Figura N°7.9

En general, se puede concluir que las aguas del acuífero superior de Llalqui tienen una misma composición química pero una salinidad diferente que el acuífero inferior, lo cual se podría explicar por la contaminación en cantidades no significativas desde el acuífero inferior hacia el superior. Por otro lado, la calidad de las aguas presentes en el río Salado están fuertemente influenciadas por el aporte de aguas desde el Tatio.

7.3.- Volúmen Almacenado

Nazca SA, justifica sus solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas basado en la explotación del acuífero inferior del sector de Pampa Llalqui. Este acuífero está compuesto por las formaciones sedimentarias Calama y Loa, y se encuentra delimitado superiormente por la base de la formación volcánica denominada Sifón. Las características geométricas e hidrogeológicas han sido levantadas mediante la perforación de un número de 12 pozos que se encuentran emplazados en un área de aproximadamente 90 km². (ver Figura N°3.2)

En la Tabla 7.1 siguiente se resume la información extractada de cada pozo, necesaria para la cuantificación del volumen efectivamente prospectado de este acuífero inferior y que eventualmente puede ser utilizado para evaluar la disponibilidad de recursos de agua no renovables a partir de la extracción del 5% del almacenaje.

Tabla 7.1: Información Pozos Nazca S.A.

POZO	UTM		ALTURA m.s.n.m.	PROFUNDIDAD (m)		ESPESOR EFECTIVO ACUIFERO (m)
	E (m)	N (m)		PERFORACION	BASE SIFON	
E2	530295	7512629	2484	312	140	172
E3	545064	7518293	2558	336	68	268
P1	539662	7520852	2526	120	120	0
P2	534716	7517917	2494	120	120	0
Px	542237	7523061	2545	180	64	116
E1	543655	7525516	2552	190	68	122
W1	532641	7515374	2488	200	146	54
W5	537638	7516119	2512	195	85	110
W6	535387	7514189	2412	200	100	100
W2	537591	7519133	2616	210	83	127
W3	550015	7524522	2629	190	33	157
W5	537638	7516119	2512	195	85	110

Sin considerar los pozos P1 y P2, que sólo perforan la Formación Opache, la profundidad promedio de exploración del acuífero inferior de Llalqui es de 134 m. Así entonces el volumen efectivamente explorado alcanza los 12,06 km³. Considerando un coeficiente de almacenaje del 10%, aplicado sobre la base de una eventual explotación de largo plazo, el 5% del volumen de agua almacenado asciende a 60.300.000 m³.

La explotación sostenida de este volumen de agua en 50 años implica una tasa de extracción de 38 l/s. No obstante, se estima que esta evaluación es demasiado restrictiva, puesto que a pesar de que no existe información fundamentada que respalde una extrapolación de las coberturas encontradas, por otro lado también es poco factible que el acuífero sólo se limite al área de exploración.

En estas condiciones, se considera adecuado extender las características del acuífero al doble del área explorada, mientras no se cuente con la información pertinente, con lo cual el caudal no renovable factible de extraer desde el almacenamiento aumenta a unos 70 l/s.

8. CONCLUSIONES

1. El balance hidrológico muestra que las aguas de la cuenca del Loa se generan fundamentalmente en altitudes superiores a 4000 msnm.
2. En la cuenca completa, incluido el Salar de Llamara, se genera una escorrentía total renovable de 6,4 m³/s, de los cuales 1,1 m³/s corresponden a la subcuenca del salar de Llamara, y 5,3 m³/s al río Loa alto en conjunto con los ríos San Pedro y Salado.
3. A nivel de cuenca, considerando los usos efectivos actuales, se dispone de un caudal de **380 l/s**. Este valor incluye el caudal de unos 80 l/s que podría salir de la cuenca subterráneamente.
4. Se supone que, ante la intensificación del uso del agua, podría reducirse la evaporación desde cauces, con lo cual se estima que el recurso actualmente disponible en la cuenca del Loa, podría llegar a unos **560 l/s**, como escorrentía renovable disponible. Lo anterior considera todos los usos (derechos) de la cuenca.
5. El análisis de constitución de derechos se efectuó con primera prioridad para la cuenca de Calama, donde las solicitudes por derechos subterráneos son anteriores a las de las demás zonas en la cuenca.
6. Se utilizó un modelo Vmodflow, presentado a la DGA y mejorado, para hacer estimaciones de la explotación factible en el acuífero de Calama, explotación que debe cumplir con ciertas condiciones de no afección a aguas superficiales y vertientes, y de validez del modelo.
7. De acuerdo con la operación del modelo hidrogeológico, el caudal total explotable del acuífero de Calama, que cumple con las condiciones impuestas, es de alrededor de **460 l/s**. De este caudal, 120 l/s se obtienen del almacenamiento del acuífero, y significan una reducción del 2,7% del almacenamiento estimado, en 50 años. Los restantes 340 l/s corresponden a escorrentía renovable.
8. De los 460 l/s efectivos que se pueden explotar en el acuífero de Calama, hay 183 l/s constituidos a la fecha, por lo cual se pueden constituir 277 l/s efectivos adicionales en este acuífero.
9. De acuerdo con los resultados del modelo, en el escenario de explotación efectiva de 183 l/s (escenario base), 25 l/s salen del almacenamiento, y 158 l/s corresponden a escorrentía renovable.

10. Por lo tanto, si se constituyen 277 l/s efectivos adicionales en el acuífero de Calama, se estaría haciendo uso de $340 - 158 = 182$ l/s de los 560 l/s de escorrentía renovable disponible en la cuenca. Quedarían, por lo tanto, disponibles para ser constituidos en otro sector de la cuenca, $560 \text{ l/s} - 182 \text{ l/s} = \mathbf{378 \text{ l/s}}$ renovables y efectivos.
11. El sector donde corresponde constituir derechos a continuación es en la Pampa Llalqui, y específicamente en su acuífero inferior.
12. Para la Pampa Llalqui se ha realizado una estimación preliminar del caudal no renovable, que puede extraerse del acuífero inferior, de alrededor de 70 l/s. Se ha analizado el acuífero inferior, porque sobre este acuífero están solicitados los derechos.
13. Sumando el recurso renovable disponible de 378 l/s, con el recurso no renovable que podría extraerse en Pampa Llalqui, se totaliza un caudal efectivo de **448 l/s**, posibles de constituirse en el mencionado sector.
14. En relación a lo anterior cabe mencionar que el caudal efectivo indicado no se ha evaluado en términos de posibles condicionantes a las extracciones subterráneas. Esto debido a no disponerse de un modelo sustentado en antecedentes precisos y detallados que le otorguen una adecuada confiabilidad.
15. Lo señalado significa que, dada la ubicación de las solicitudes, y las porciones exploradas de los acuíferos, en la cuenca del Loa habría una disponibilidad adicional por un caudal efectivo total de **725 l/s**. De éstos, 560 son renovables, y 165 provienen del almacenamiento de los acuíferos de Calama (120 l/s-25 l/s) y Llalqui (70 l/s).
16. De acuerdo con los análisis del comportamiento hidrogeoquímico, el acuífero inferior de Pampa Llalqui no estaría en contacto directo con el acuífero de Calama, por lo que una extracción desde el primero no afectaría necesariamente al segundo.
17. Los valores de recargas a los acuíferos podrán ser precisados en base a información de infiltración de crecidas, tema sobre el que hasta el momento no hay datos confiables ni relevantes.
18. Los valores de almacenamiento podrán ser reevaluados cuando se disponga de una exploración más detallada, que genere información relevante sobre los acuíferos a explotar.

ANEXOS

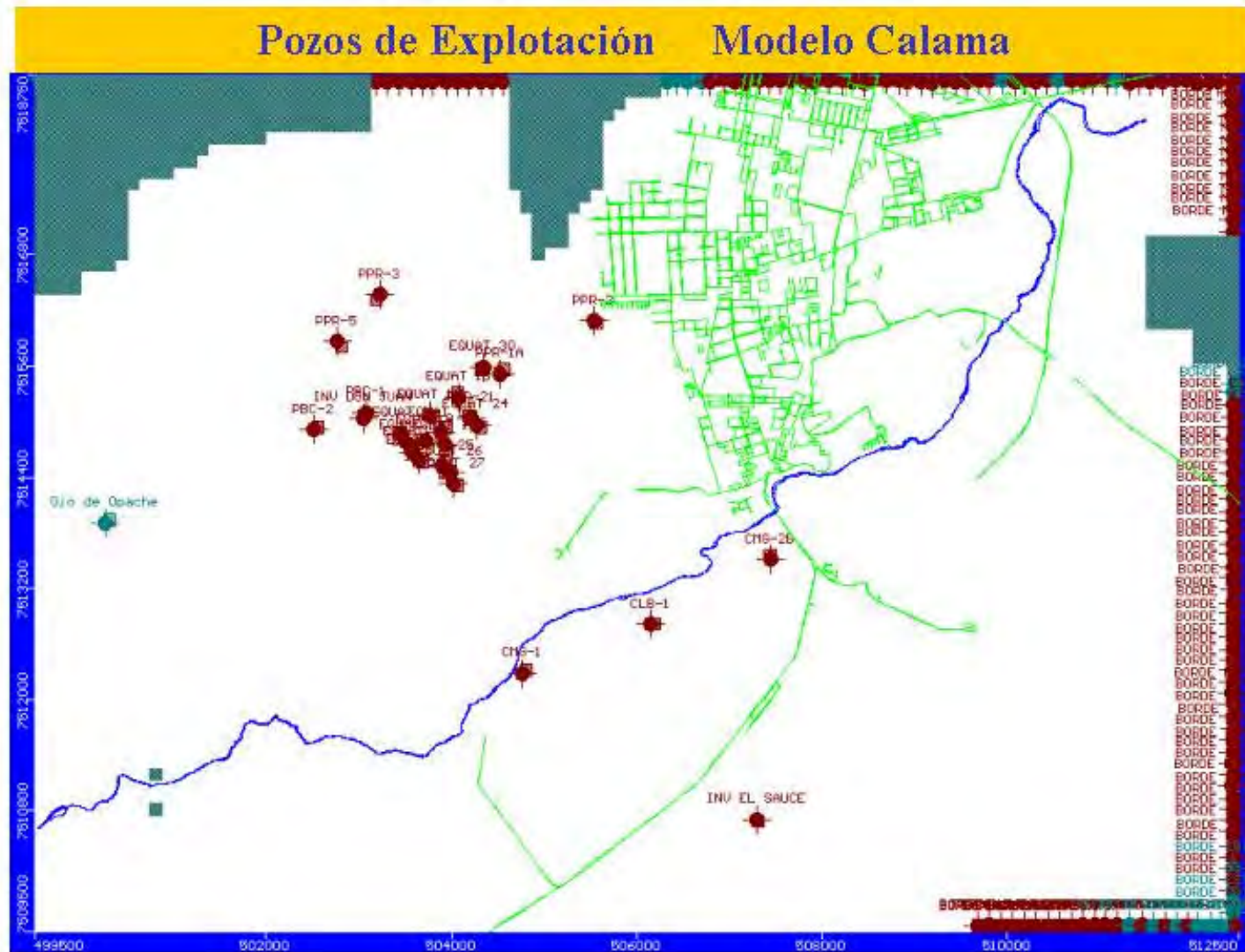


Figura A-6.3.5.2

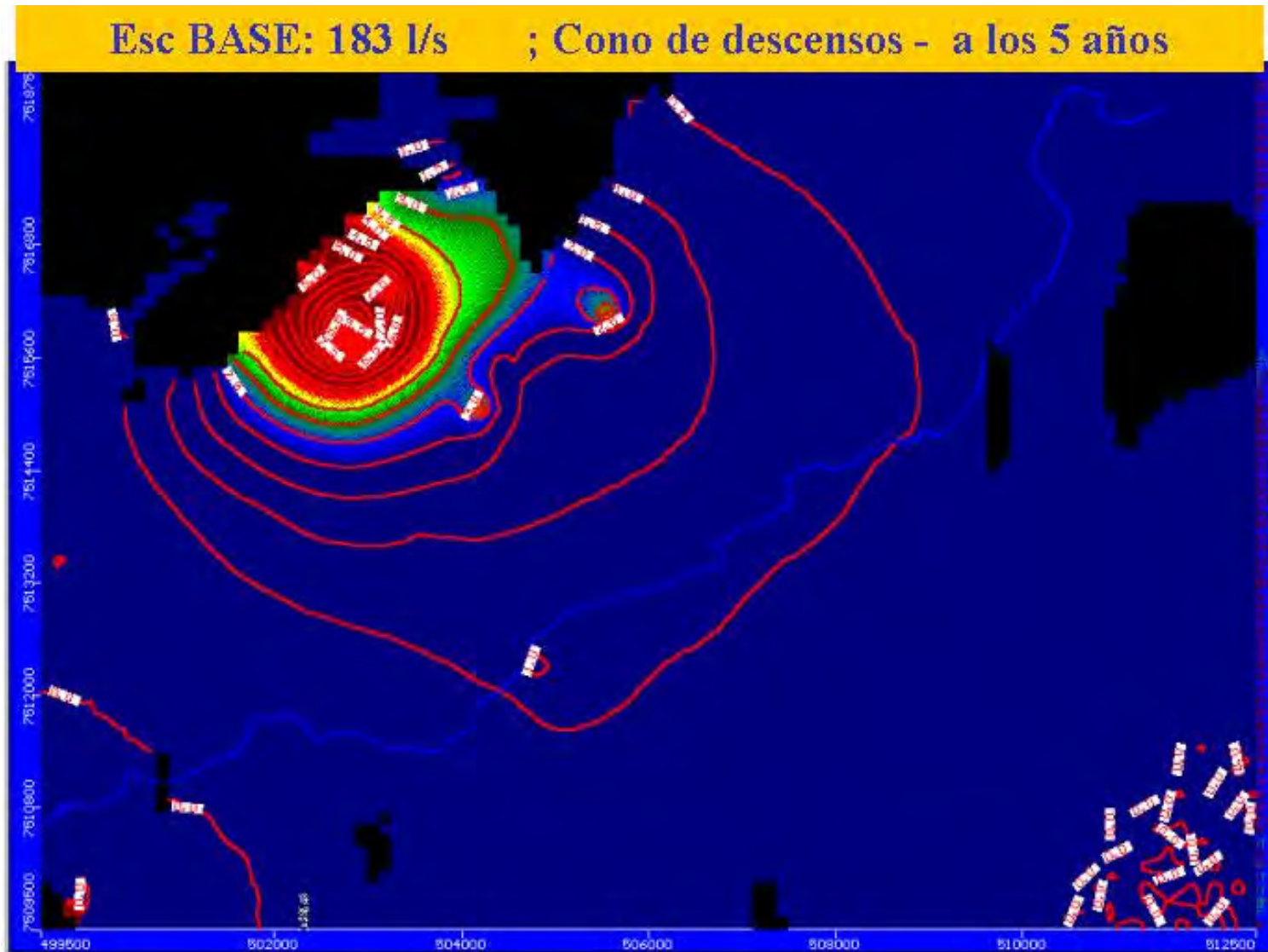


Figura A-6.3.5.3

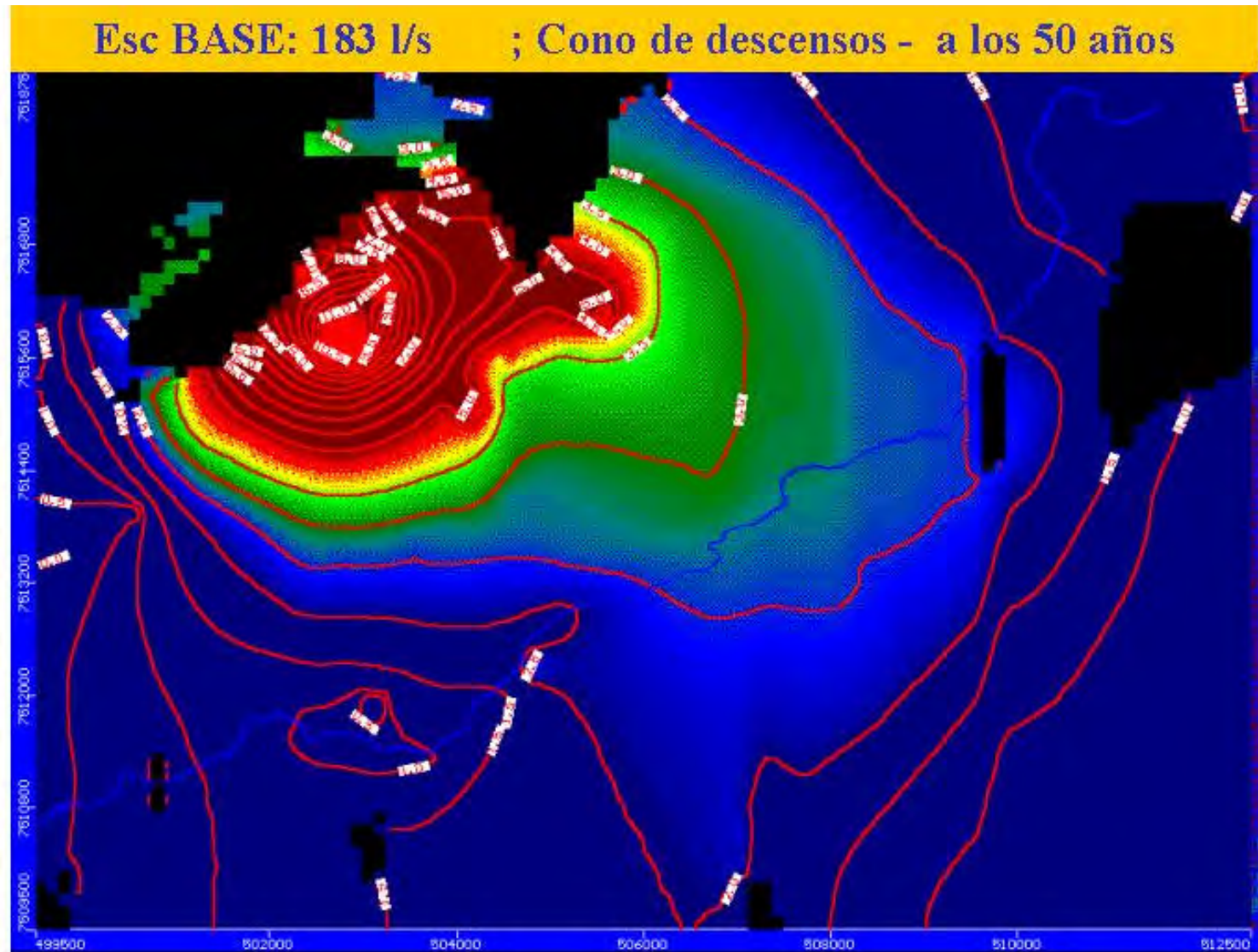


Figura A-6.3.5.4

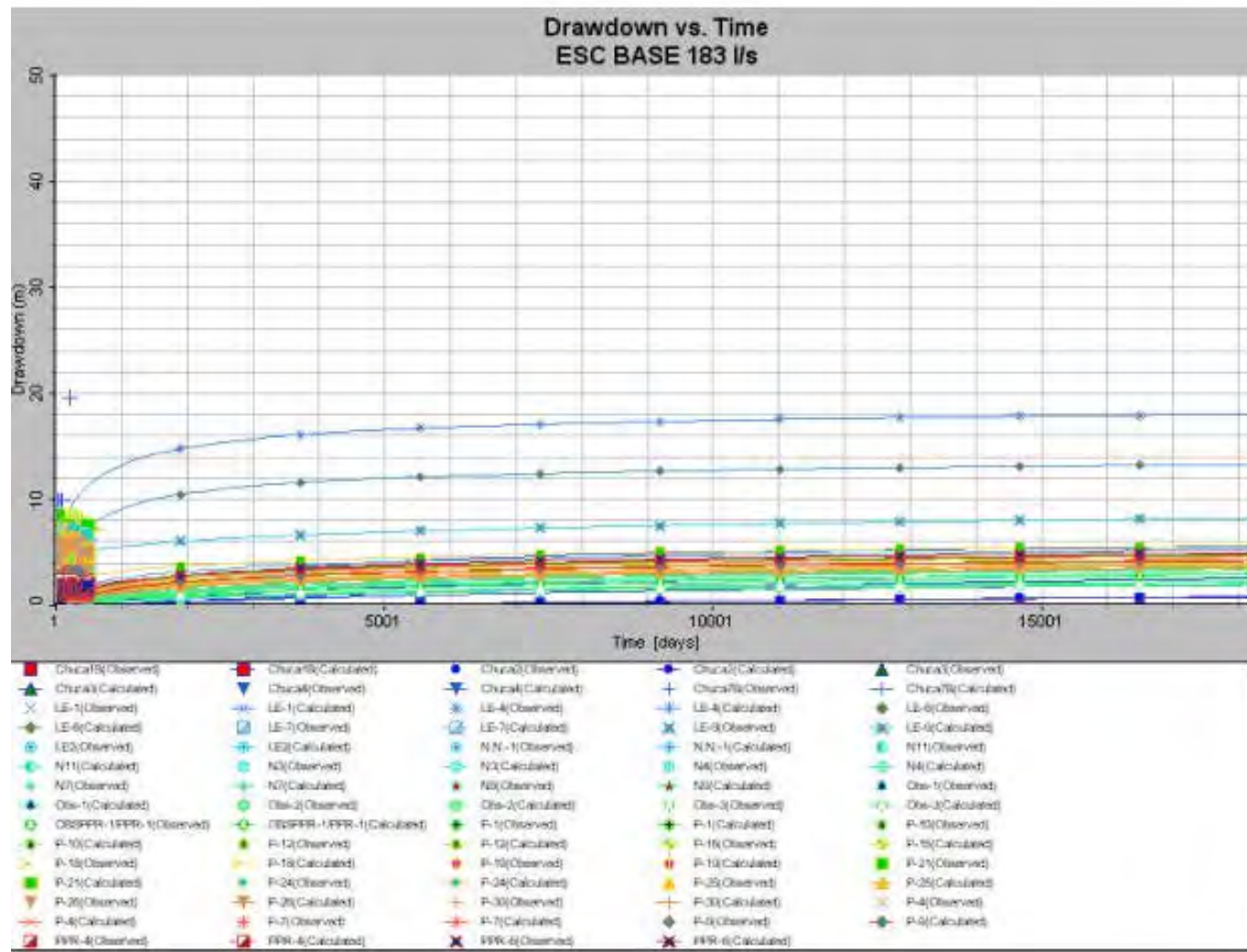


Figura A-6.3.5.5

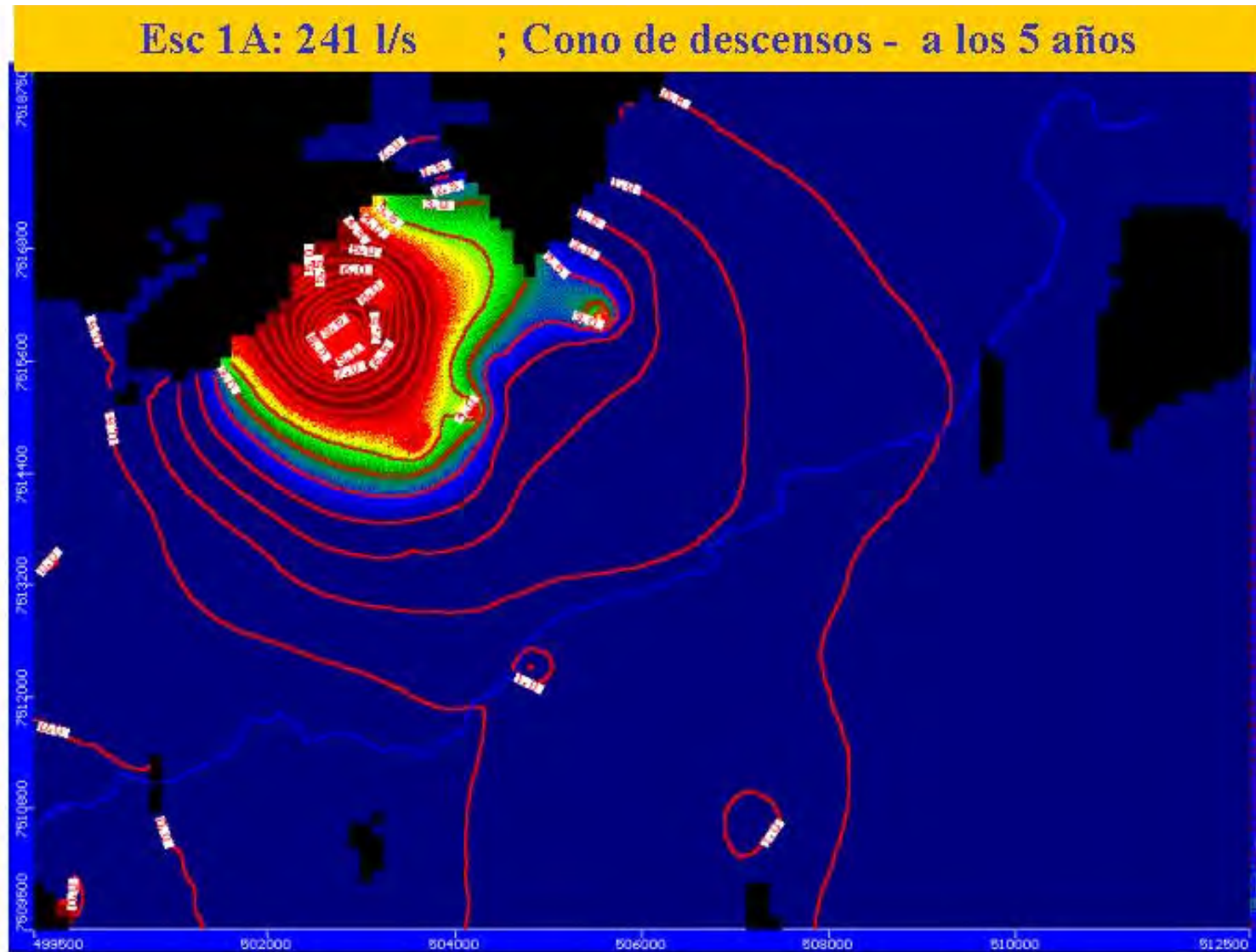


Figura A-6.3.5.6

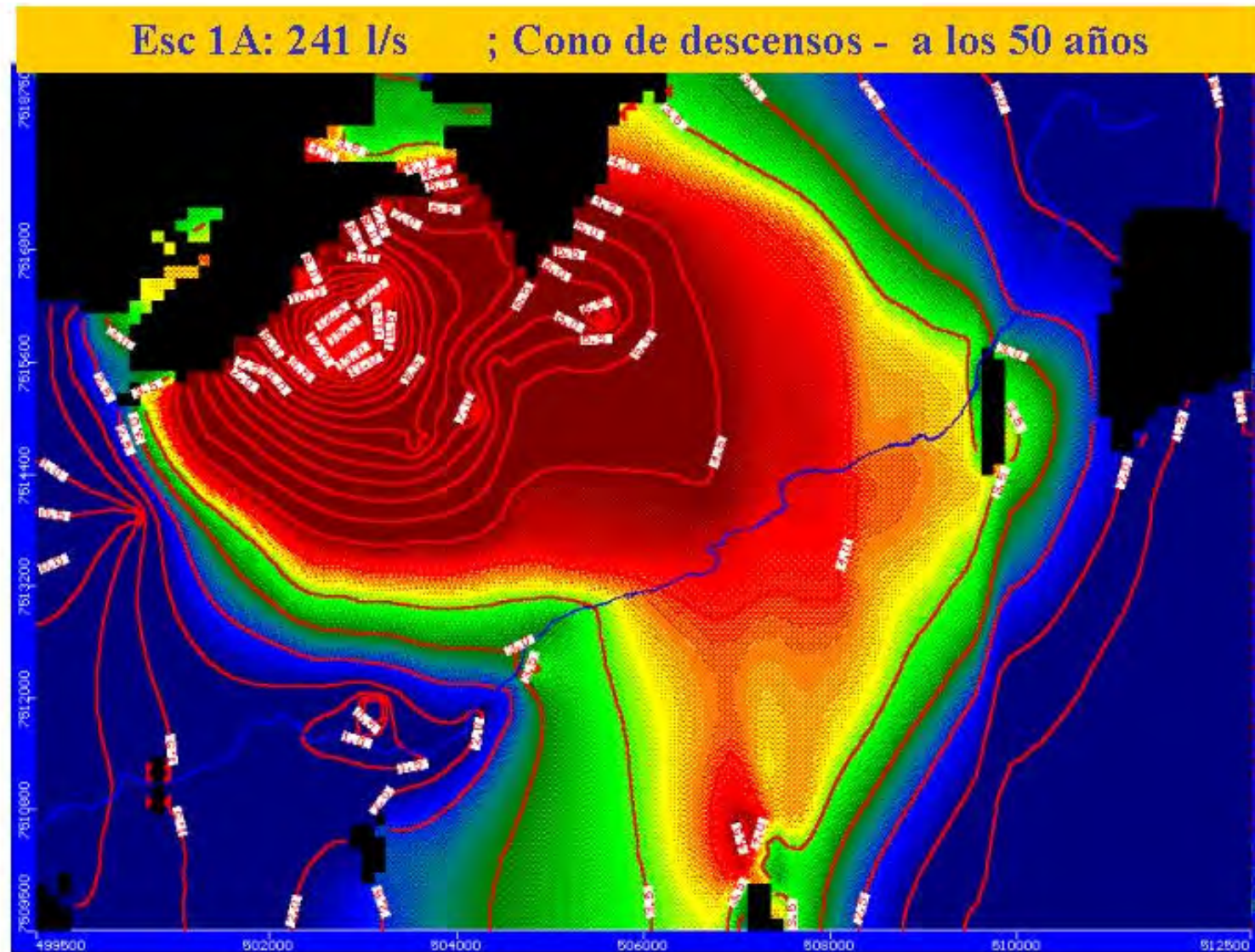


Figura A-6.3.5.7

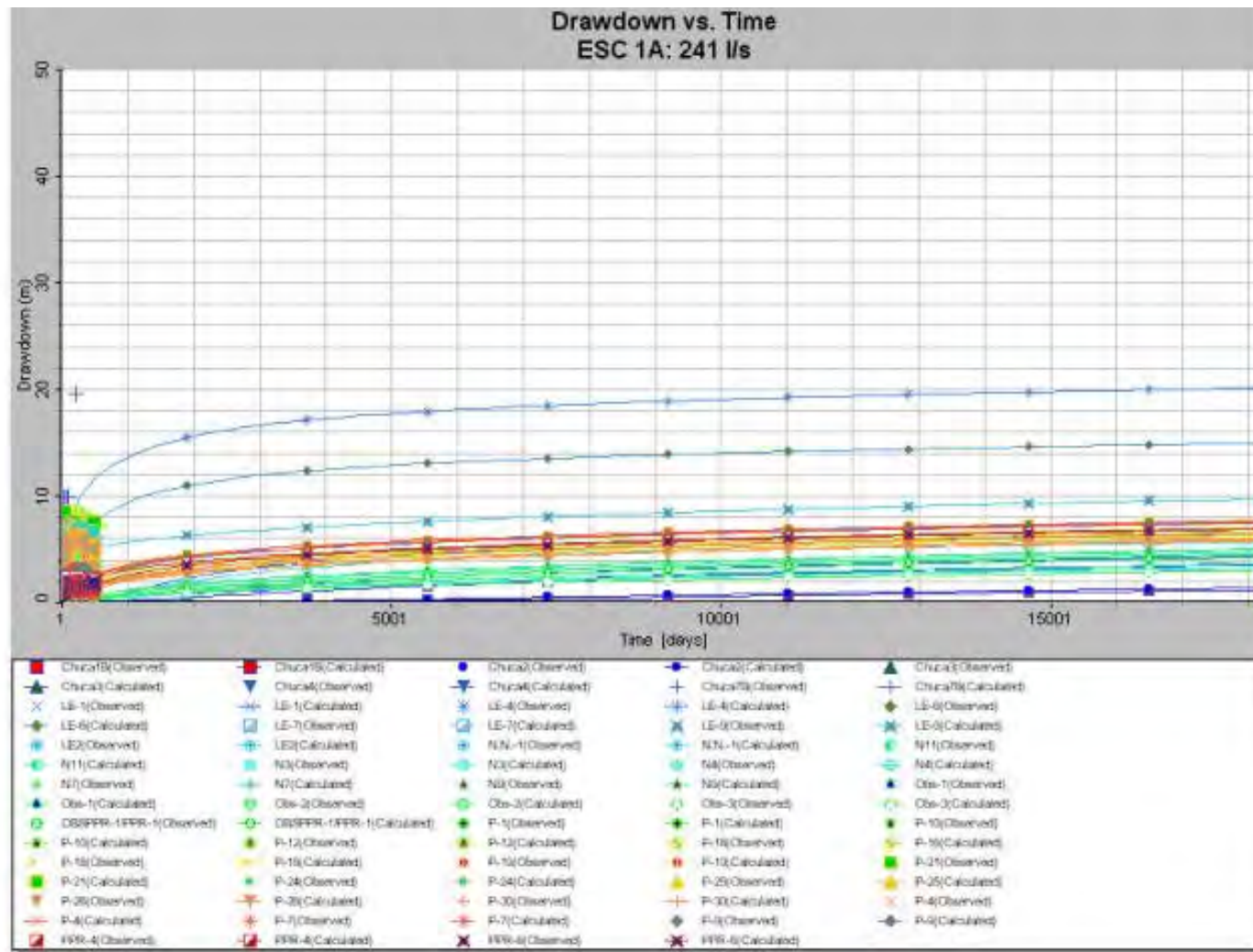


Figura A-6.3.5.8

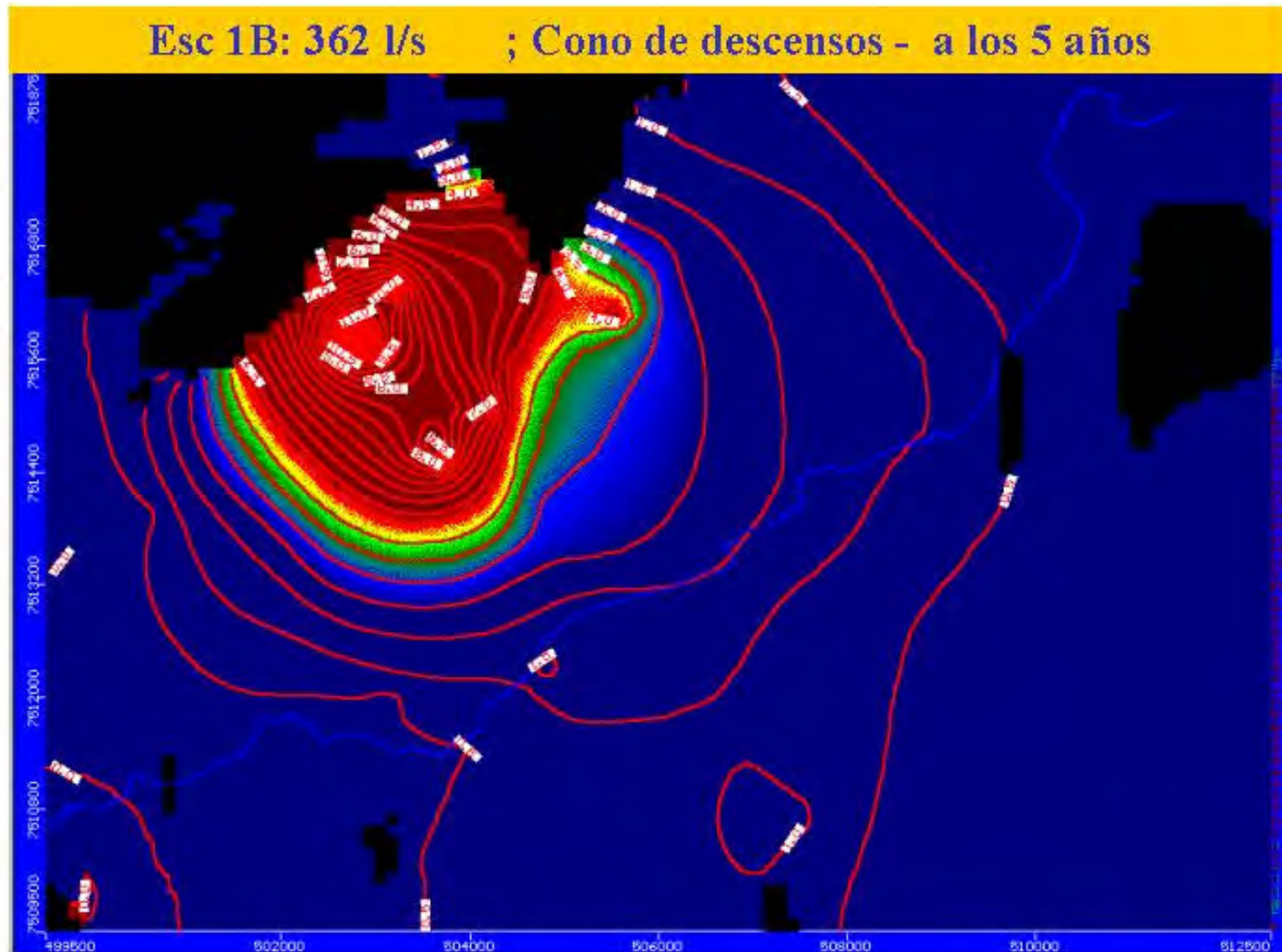


Figura A-6.3.5.9

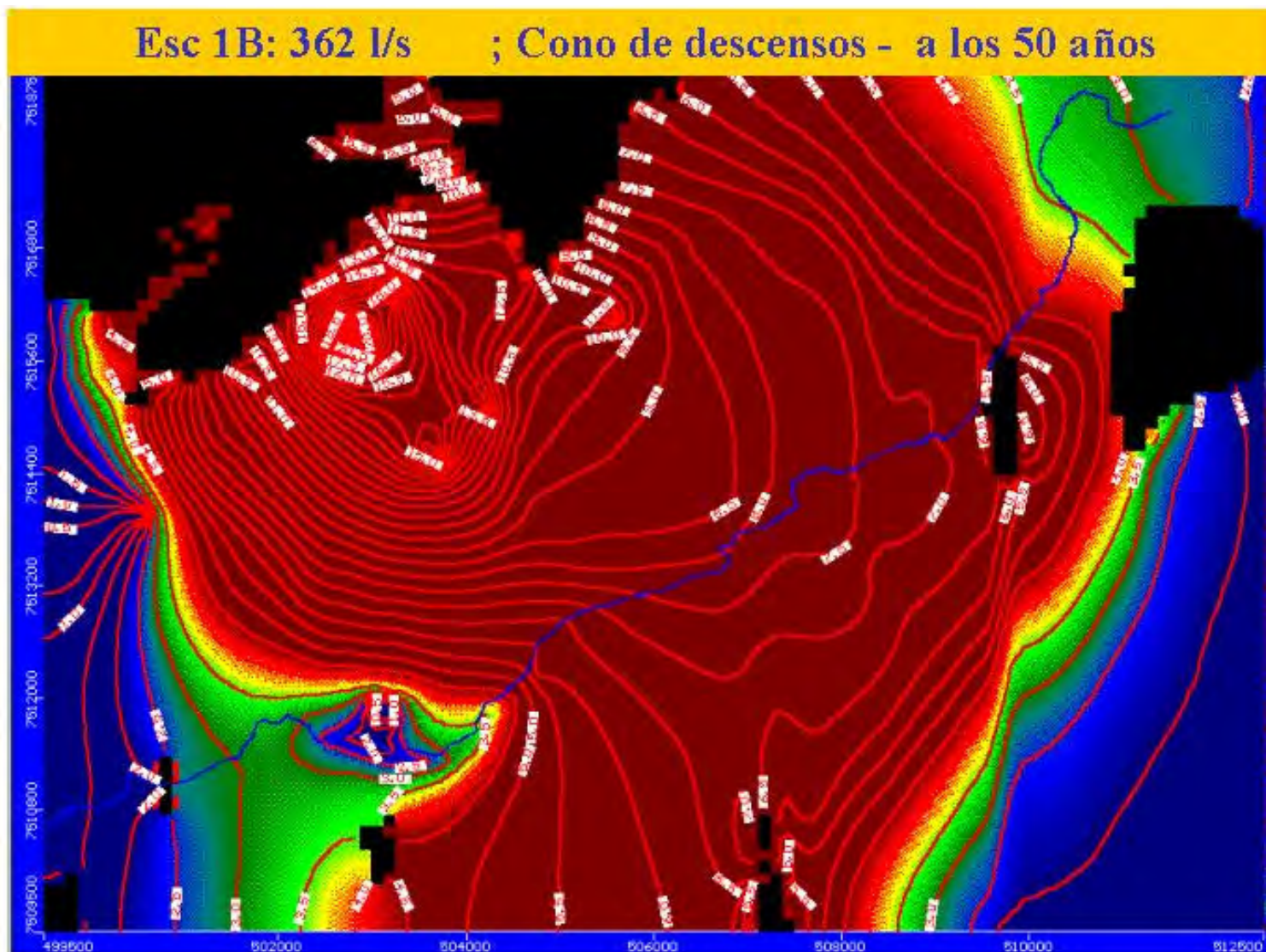


Figura A-6.3.5.10

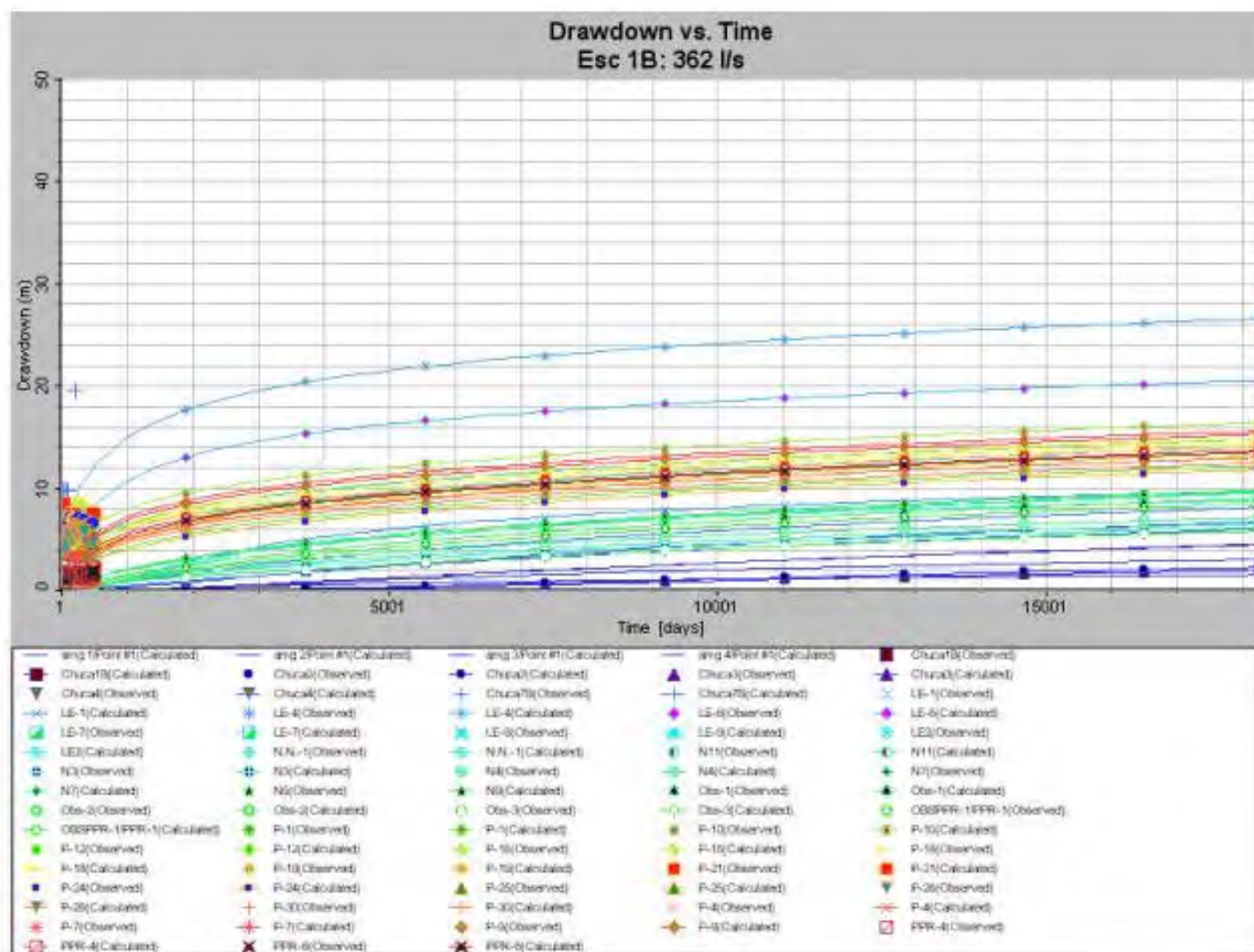


Figura A-6.3.5.11

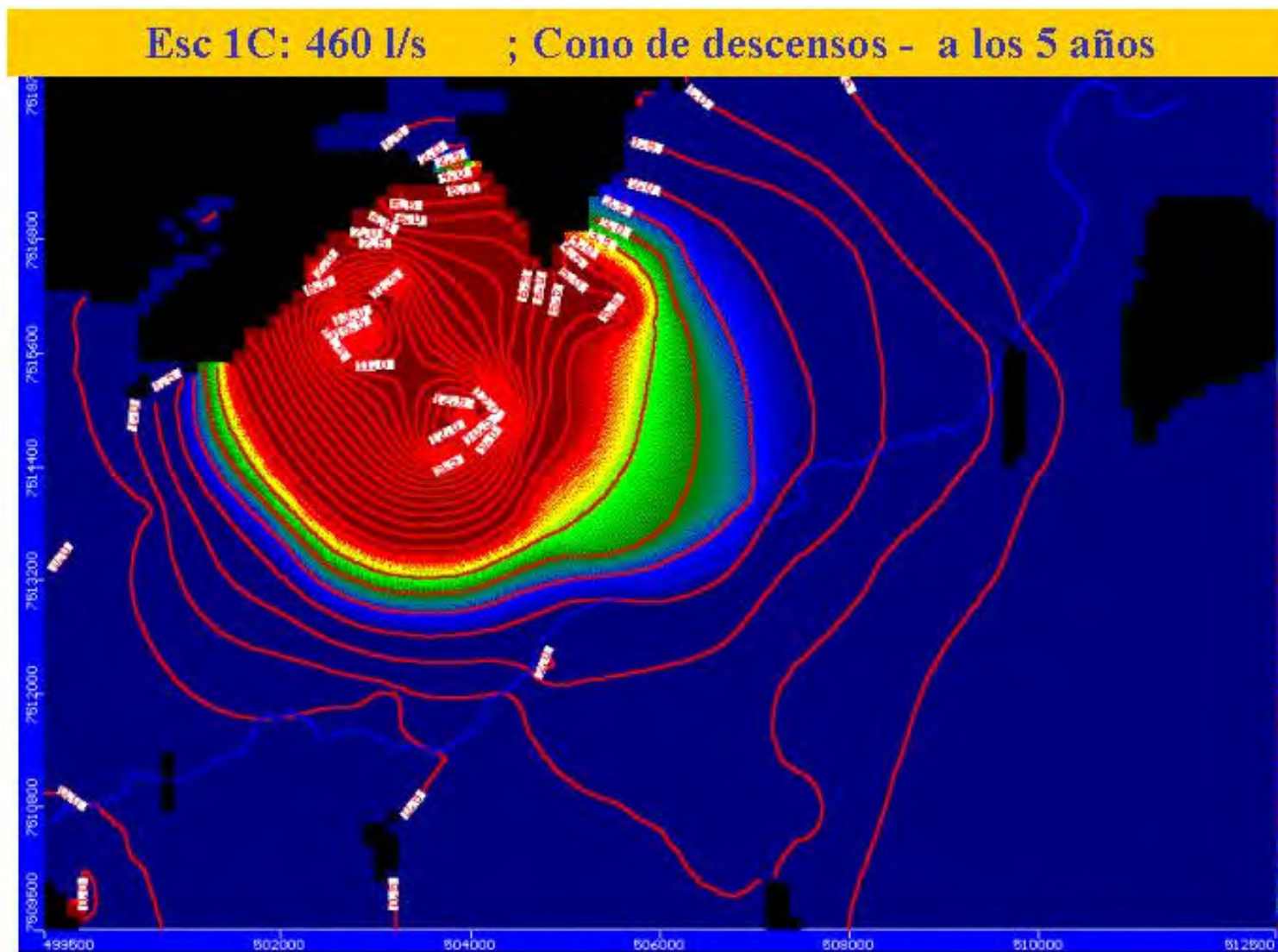


Figura A-6.3.5.12

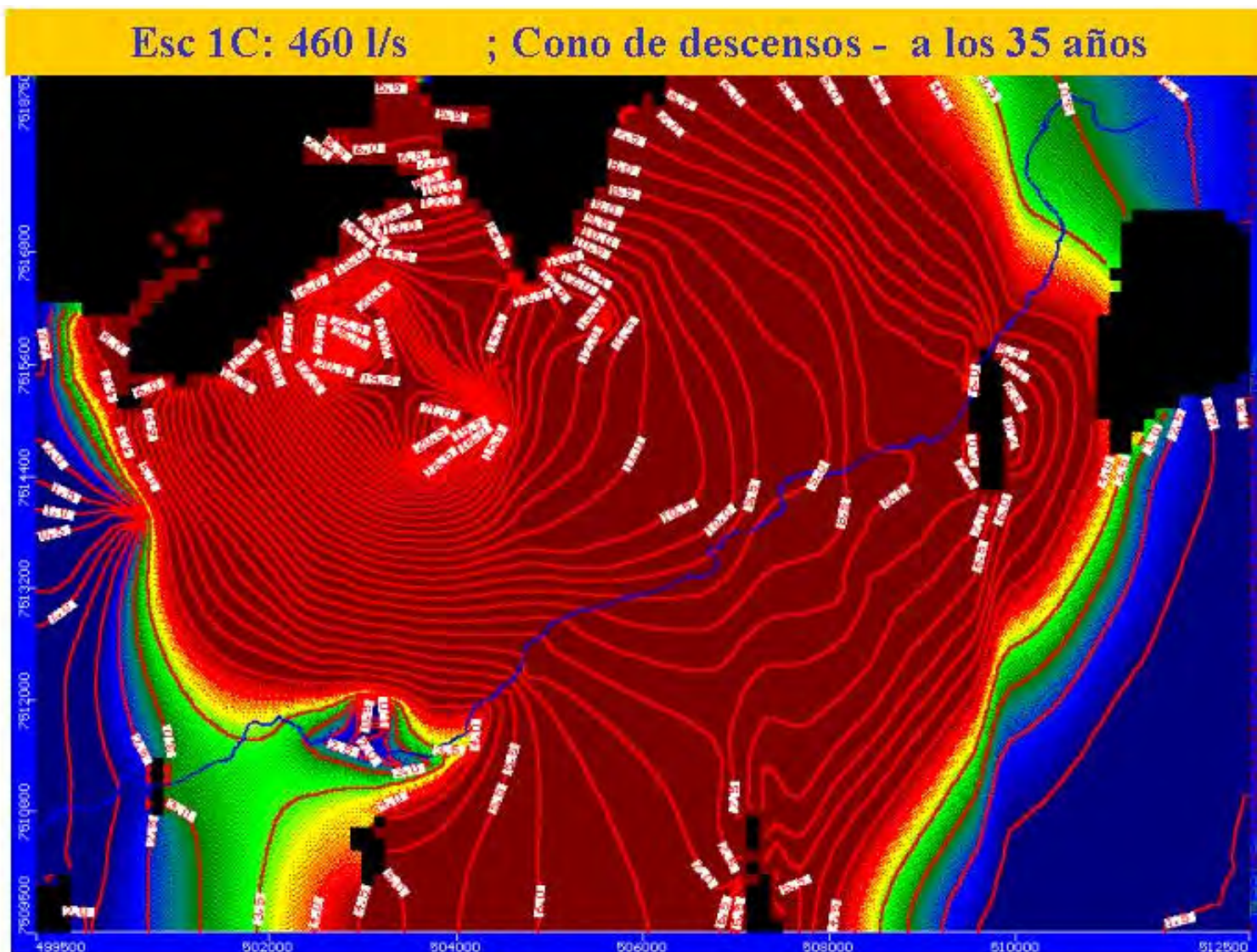


Figura A-6.3.5.13

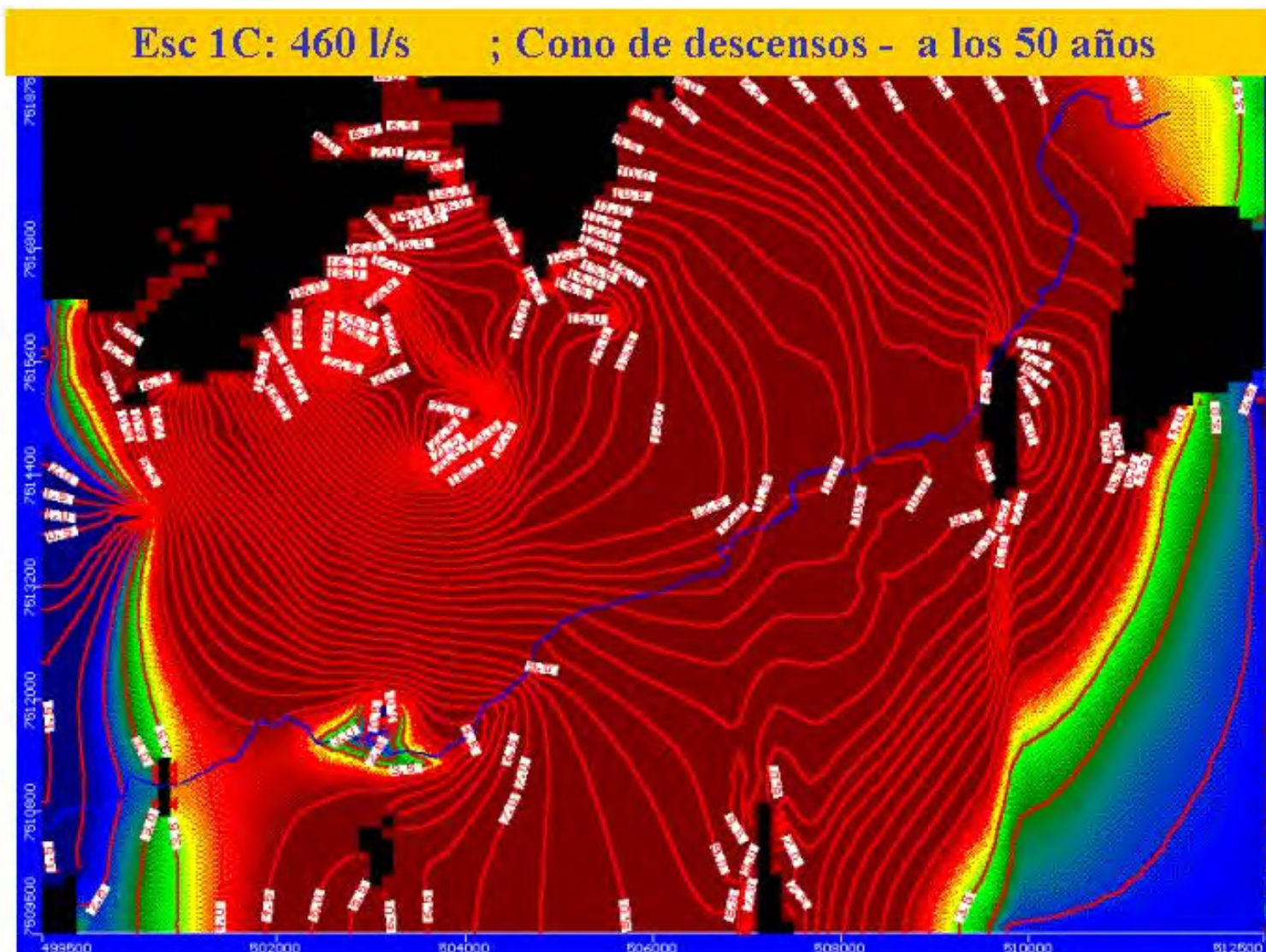


Figura A-6.3.5.14

Figura A-6.3.5.15

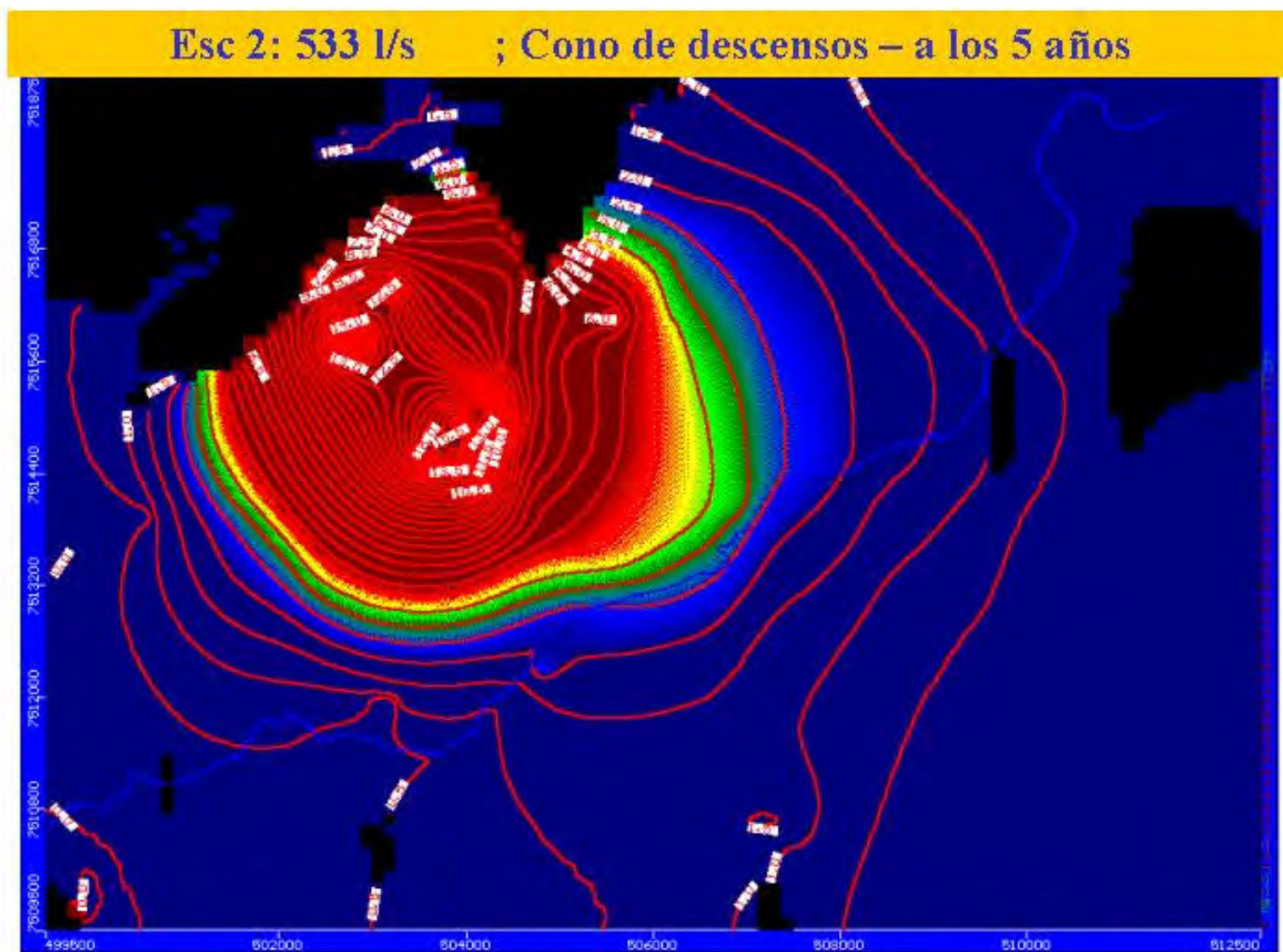


Figura A-6.3.5.16

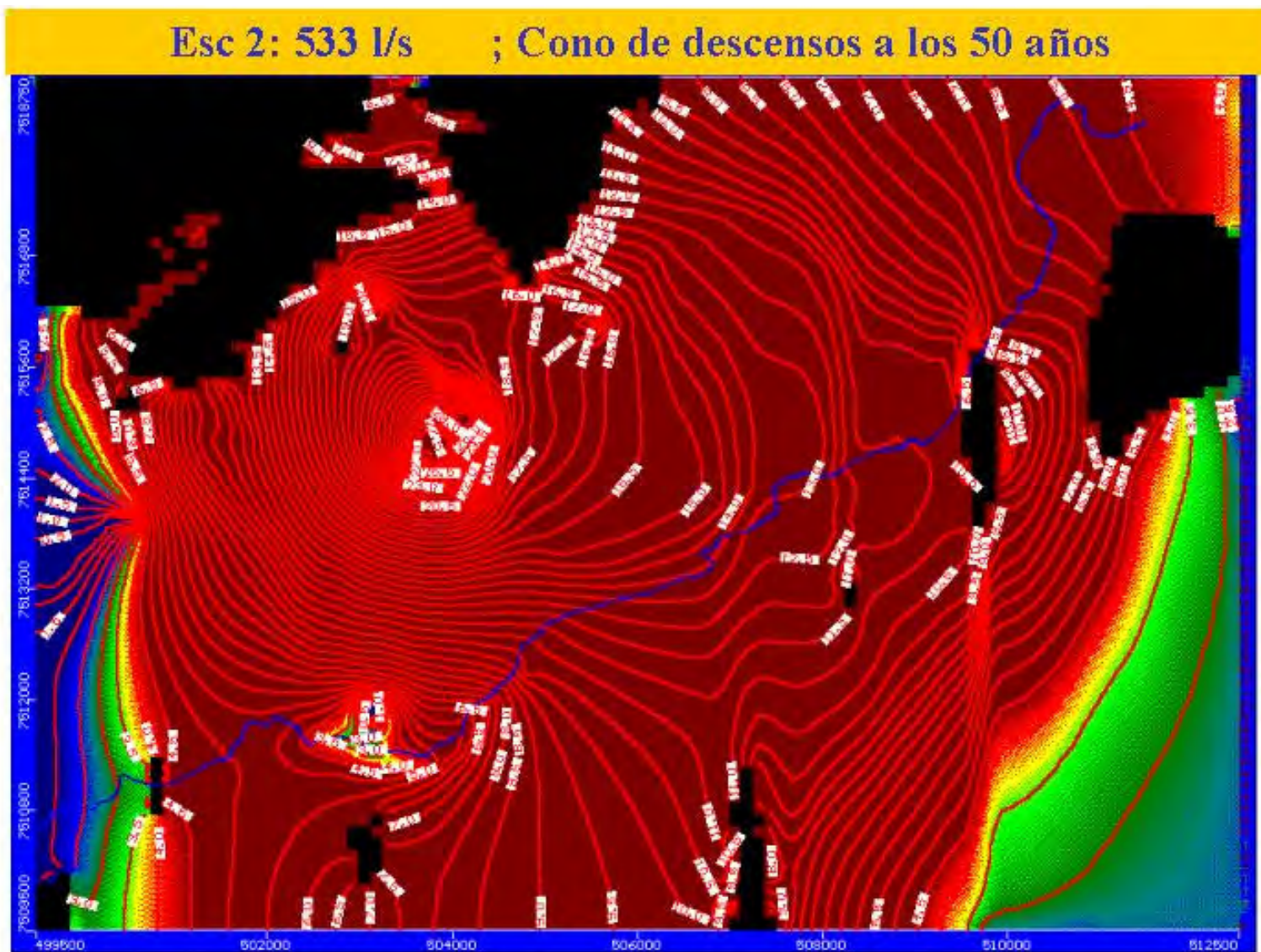


Figura A-6.3.5.17

Figura A-6.3.5.18

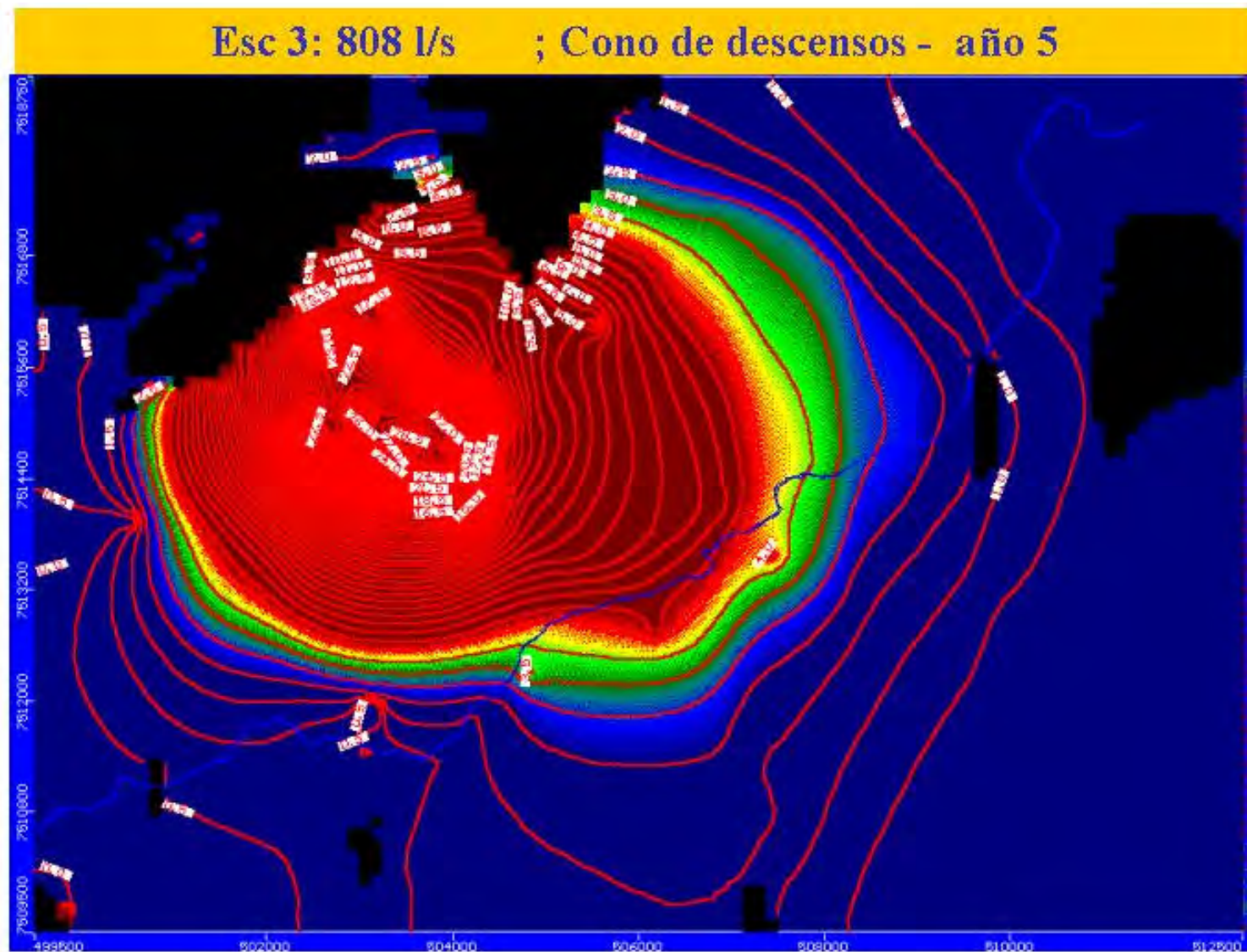


Figura A-6.3.5.19

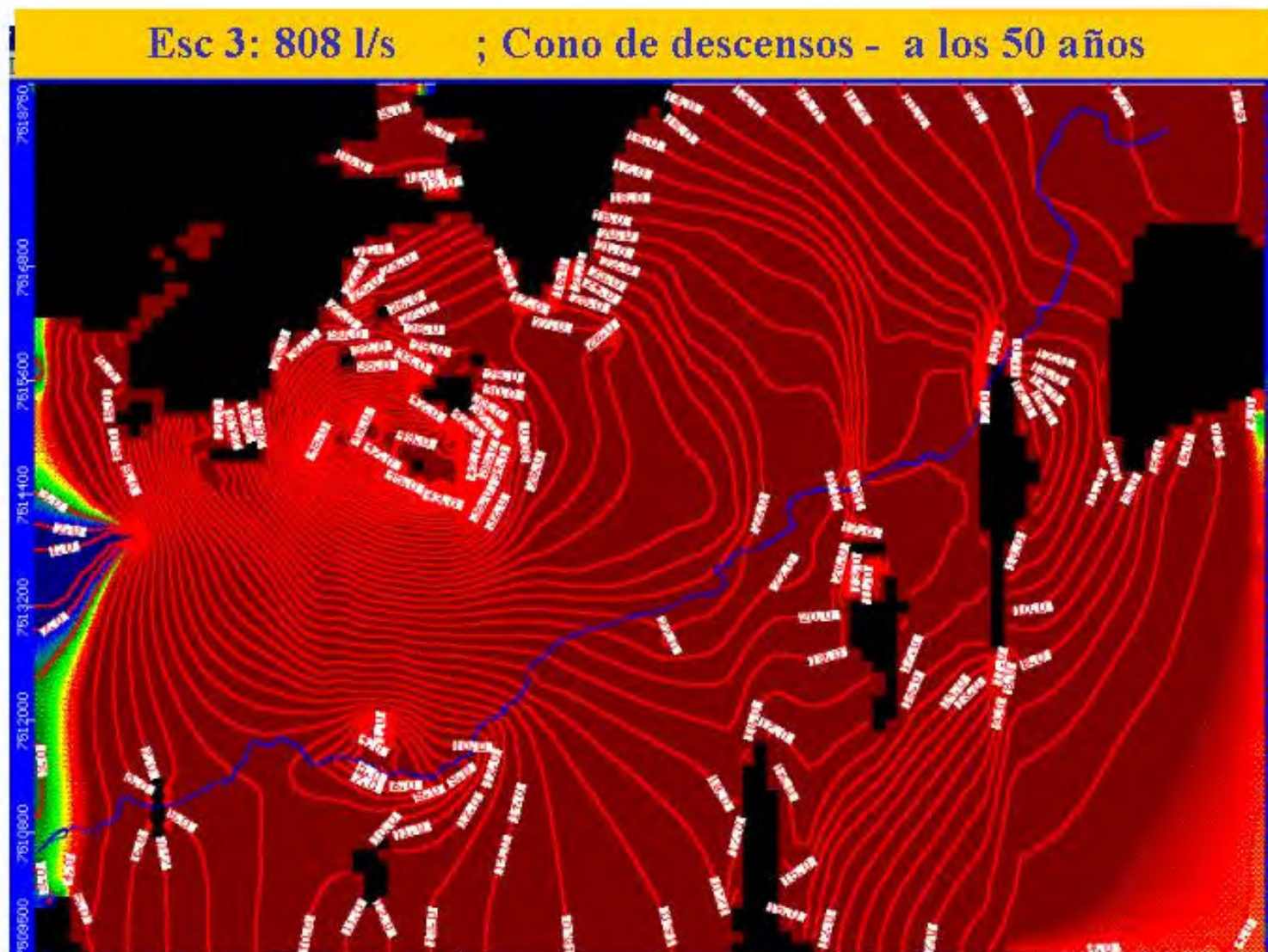


Figura A-6.3.5.20

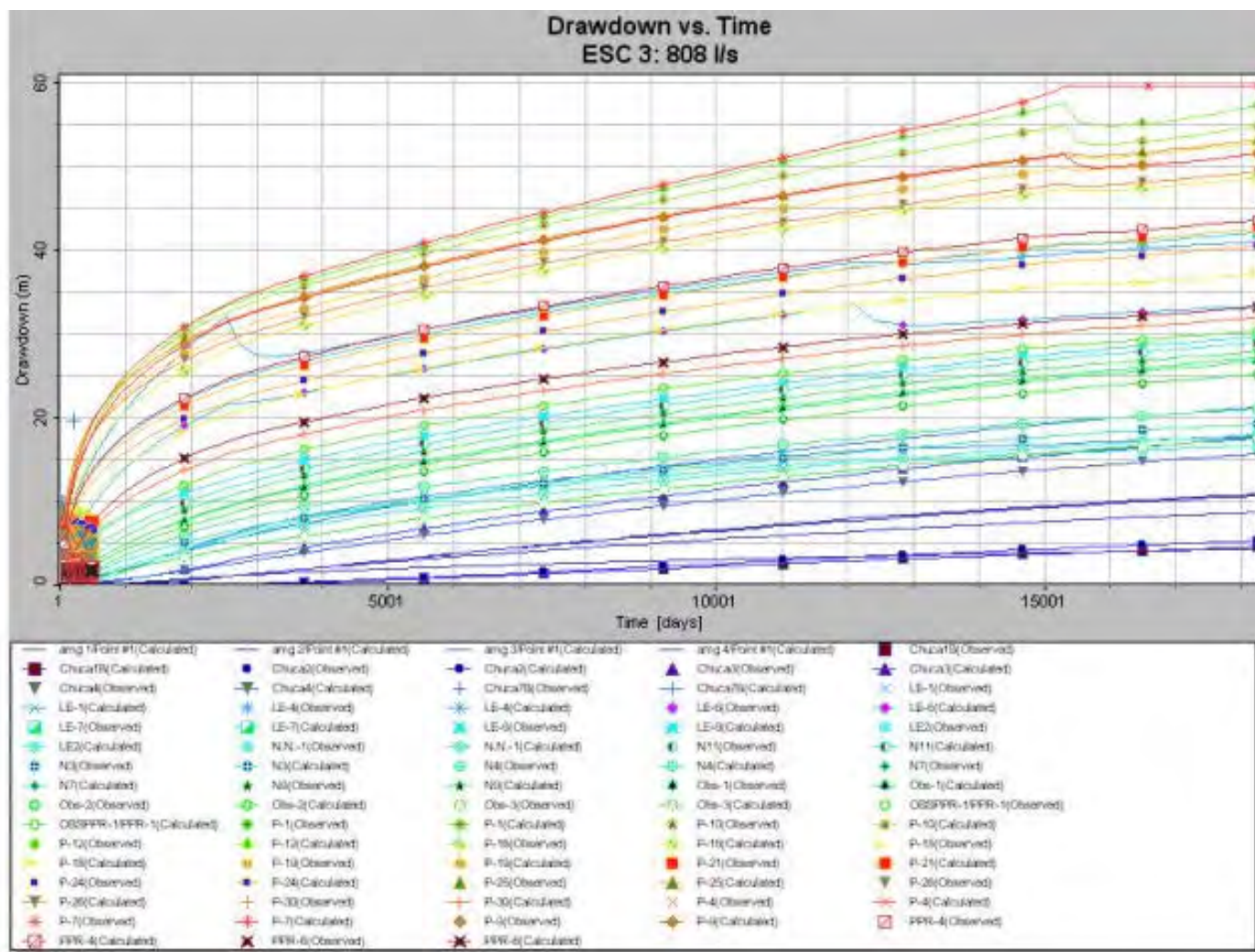


Figura A-6.3.5.21