



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS
DE LA VIª REGIÓN**

INFORME TÉCNICO

REALIZADO POR:

**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
DE RECURSOS HÍDRICOS**

S.D.T. N° 160

Santiago, Noviembre de 2003

REPUBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 DEPTO. ADM. DE RECURSOS HIDRICOS
 CGZ/cgz



M. O. P.
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 OFICINA DE PARTES
 RESOLUCION TRAMITADA
 Fecha 21 NOV 2003

REF.: Aprueba el Estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VIª Región".

MINISTERIO DE HACIENDA
 OFICINA DE PARTES
 RECIBIDO

SANTIAGO, 21 NOV 2003
 D.G.A. N° 3400

CONTRALORIA GENERAL
 TOMA DE RAZON

VISTOS : El estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VIª Región". S.D.T. N° 160 de fecha 19 de noviembre de 2003; y las atribuciones que me confiere el artículo 300 letra c) del Código de Aguas.

RECEPCION

EXENTA RESUELVO :

DEPART. JURIDICO		
DEPART. Y REGISTRO		
DEPART. CONTABL.		
SUB DEP. C. CENTRAL		
SUB DEP. E. CUENTAS		
SUB DEP. C. P. Y BIENES NAC.		
DEPART. AUDITORIA		
DEPART. V. O. P. U. Y T.		
SUB DEP. MUNICIP.		

- 1.- APRUEBASE el Estudio denominado "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VIª Región". S.D.T. N° 160 de fecha 19 de noviembre de 2003.
- 2.- COMUNIQUESE la presente resolución a los Sres. Secretarios Regionales Ministeriales de Obras Públicas de las Regiones Vª, VIª, VIIª y Región Metropolitana, a los Departamentos de la Dirección General de Aguas y Oficinas Regionales de la Dirección General de Aguas de las Regiones Vª, VIª, VIIª y Región Metropolitana.

REFRENDACION

ANOTESE Y COMUNIQUESE

EF. POR IMPUTAC	\$	
ANOT. POR IMPUTAC	\$	
DEDUC. DTO.		

Humberto Peña Torrealba
 HUMBERTO PEÑA TORREALBA
 INGENIERO CIVIL
 DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

INDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	GEOLOGIA	4
II.1	Descripción general.....	4
II.1.1	Unidades de roca.....	4
II.1.2	Depósitos no consolidados.....	7
III	FORMACIONES ACUIFERAS Y PROPIEDADES HIDRAULICAS.....	14
IV	CARACTERIZACION HIDROLOGICA	18
IV.1	Cuenca del Río Rapel.....	19
IV.1.1	Cuenca del Río Cachapoal.....	20
IV.1.2	Cuenca del Río Tinguiririca.....	20
IV.2	Cuenca del estero Tocopalma.....	20
IV.3	Cuenca del estero Nilahue.....	20
IV.4	Sectorización del área estudiada.....	21
IV.5	Precipitaciones	26
V	CAUDAL DE EXPLOTACION SUSTENTABLE	30
V.1	Determinación de la recarga media anual.....	30
V.2	Cuantificación de la Recarga	32
VI	DERECHOS DE APROVECHAMIENTO.....	33
VI.1	Política general y criterios generales de la dirección general de aguas sobre derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.....	33
VI.1.1	Criterios técnicos generales	33
VI.2	Demanda aguas subterráneas acuíferos de la VIª Región.....	37
VI.3	Explotación previsible en los acuíferos.....	39
VI.4	Caudales Sustentables de Explotar en los acuíferos de la VIª Región.....	40
VII	CONCLUSIONES	42
VIII	BIBLIOGRAFIA	44

IX	TABLAS	45
-----------	---------------------	-----------

I INTRODUCCIÓN

El presente estudio, tiene por objeto determinar el potencial de explotación sustentable de los acuíferos de la VIª Región y su comparación con la explotación prevista de los derechos solicitados y los usos y derechos factibles de regularizar.

La zona estudiada comprende la totalidad de la VIª Región y una pequeña parte de las regiones Vª, RM y VIIª del país (Mapa N°1). Abarca una superficie aproximada de 17.162 km², en el mapa N° 2 se puede visualizar los centros urbanos más importantes, con los cauces más representativos.

El régimen hidrológico para la Cuenca del Río Rapel es mixto, con crecidas en los meses de invierno derivadas de las lluvias y crecidas de primavera y verano debidas a los deshielos. En las zonas costeras el régimen hidrológico es netamente pluvial y la precipitación media de estas zonas es del orden de los 600 a 700 mm, dependiendo de la altitud.

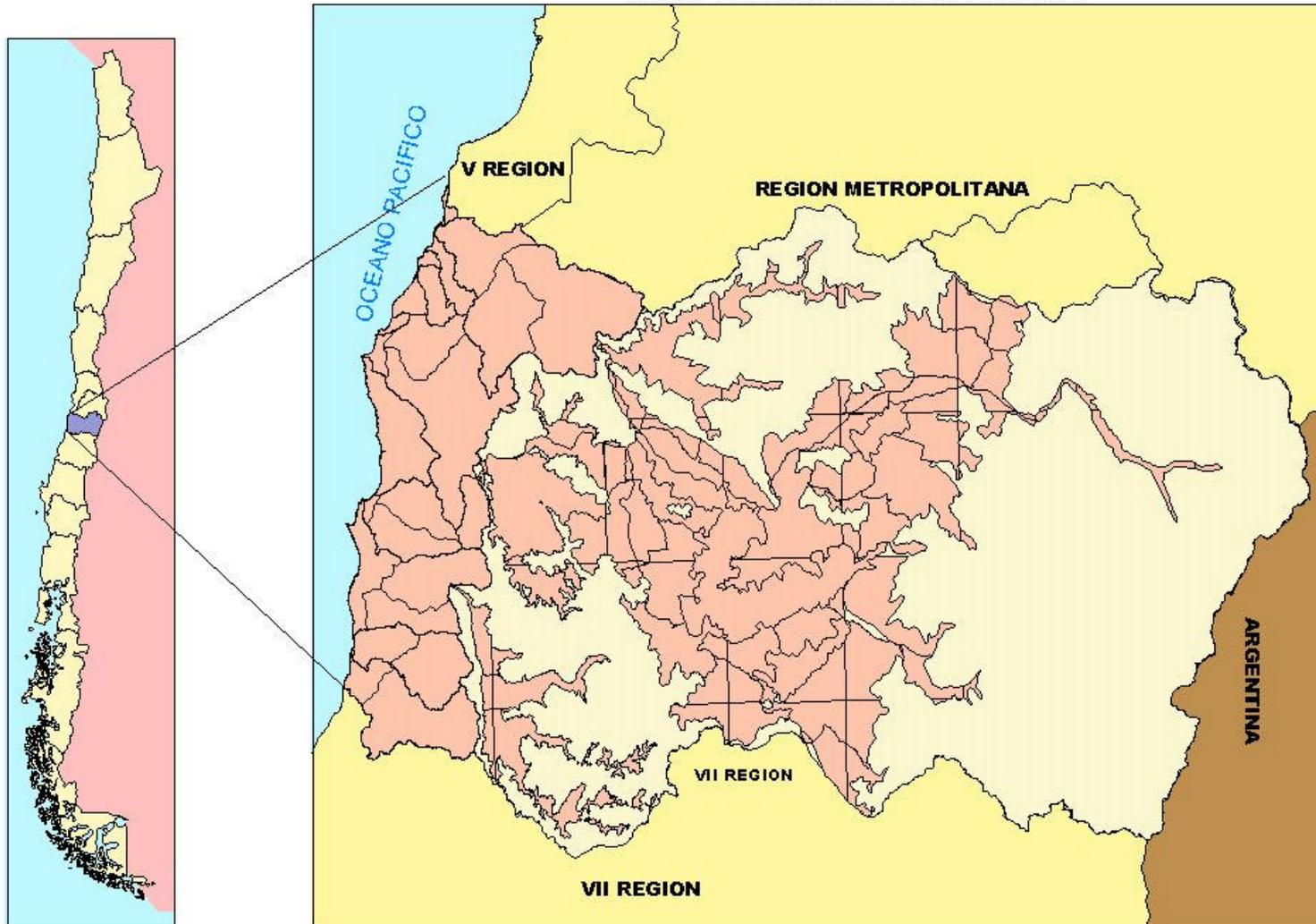
Dadas las características de la zona estudiada nos encontramos con que el aporte superficial se encuentra generalmente comprometido en los usos actuales, es decir, agotados para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento consuntivos, es por ello que el interés por el recurso subterráneo ha aumentado considerablemente, por lo tanto, debe ser evaluado para determinar cual es el caudal factible de constituir como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, sin provocar menoscabo a derechos de terceros ni al medio ambiente.

En la realización de este estudio se hizo una revisión de la bibliografía existente sobre la zona en estudio. A su vez para determinar la demanda en el sector estudiado se trabajó con las solicitudes presentadas en la Dirección General de Aguas hasta el 31 de julio de 2003.

Desde el punto de vista de la zonificación hidrogeológica, el área analizada se ha subdividido en 28 sectores, determinándose la demanda para cada uno de ellos. En relación a lo anterior, en los Mapas N° 3, 4 y 5 se presentan la zonificación adoptada para el presente estudio, con sus respectivas divisiones.

Los resultados de este estudio tienen carácter de preliminares. Resultados con un grado de precisión mayor, deben generarse sobre la base de estudios más acabados que contengan investigaciones geofísicas, hidrogeológicas, modelos de simulación, etc., estudios que demandan una mayor inversión, pero que podrían definir en forma más precisa el potencial de los acuíferos de la VIª Región.

ZONA ESTUDIO
EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS
SUBTERRANEOS DE LA VI REGION



II GEOLOGIA

II.1 Descripción general

II.1.1 Unidades de roca

Basamento Metamórfico. Paleozoico Superior. Escobar et al. (1977)

Incluye una amplia variedad de rocas metamórficas, que participan, predominantemente, del modelado de la Cordillera de la Costa: esquistos, filitas, metareniscas y pizarras, que contienen frecuentes vetas o lentes cuarcíferos. Las rocas metamórficas, indiferenciadamente, hacia los flancos de los relieves de colinas y en forma muy especial en torno al de las quebradas y esteros que los cortan denotan fuerte alteración. La roca adquiere el carácter de un suelo residual: terroso, suelto, poroso, muy plástico cuando está húmedo; resistente cuando está seco.

Batolito de la Costa. Paleozoico Superior. Escobar et al. (1977)

Conforma, mayormente, el flanco oriental de la Cordillera de la Costa junto con el Basamento Metamórfico y desarrolla un modelado severamente disectado, propio de una madurez avanzada. Las rocas que integran este batolito son: granodioritas, monzonitas, dioritas, monzodioritas

Sedimentitas de Cuencas Vichuquén-Tilicura y Hualañé

Corvalán (1976) describió, en el sector de Vichuquén-Tilicura y Hualañé, una importante secuencia sedimentaria de origen marino y continental correspondiente al relleno de cuencas del Triásico Superior-Jurásico Inferior, desarrolladas sobre rocas graníticas y metamórficas paleozoicas (granodioritas y esquistos, respectivamente).

Formación Lo Valle, Cretácico Superior.

Adoptando el criterio de Drake et al. (1982) , se englobó en esta formación a la potente secuencia volcanoclástica que, hacia la parte central constituye las Serranías Intermedias. Predominan las coladas andesíticas, riolíticas y dacíticas. Las variedades clásticas alcanzan máxima expresión en torno a Pelequén y San Fernando (tobas arenosas de colores púrpura y gris pálido).

Formación Coya-Machalí, Cretácico Superior-Terciario Inferior.

La porción preandina está formada, principalmente, por una secuencia de sedimentos clásticos terrígenos, volcanitas y materiales organogénicos subordinados. Las fracciones sedimentarias incluyen areniscas, lutitas y limonitas, finamente laminadas, con escasas

intercalaciones conglomerádicas. Las volcanitas incluyen coladas, particularmente calcoalcalinas, brechas y tobas con escasos niveles más ácidos del tipo traquítico y riolítico.

Intrusivos Graníticos, Cretácico Superior.

Cuerpos intrusivos de tipo granítico integran las cadenas de cerros que se anteponen a la Cordillera de la Costa, al occidente del Valle Central. Invariablemente, sobrepasan en altura a los terrenos circundantes a los cuales intruyen.

Petrográficamente, los tipos dominantes son granodioritas de grano medio, dioritas y pórfidos tanalíticos. Estas rocas se observan superficialmente frescas; desarrollan escasos suelo residual y cobertura vegetal, conformando relieves escarpados, propios de un modelo juvenil. Los procesos de fragmentación superficial se acentúan en torno a quebradas de fuerte pendiente en ejes y flancos.

Formación Navidad, Mioceno.

Está integrada por una sucesión bastante uniforme de areniscas amarillentas, de grano medio a grueso, con frecuente estratificación entrecruzada, pobremente cementadas y friables en superficie (Cecioni, 1980). Suele contener bancos alternantes de limolitas laminares, blanquecinas, de 10-30 cm de potencia, pseudolenticulares, junto a bancos conglomerádicos, cuyos clastos son, en su mayoría, cuarcíferos. La secuencia se apoya, en discordancia erosional, sobre rocas graníticas paleozoicas. La gran friabilidad de las fracciones arenosas determina el desarrollo de importantes cárcavas de erosión.

Formación La Cueva, Plioceno.

Brüger (1950) definió, en un segmento del estero El Ganso al oeste de la Estrella, una secuencia sub-horizontal marino-continental, integrada por 50 m. de areniscas, conglomerados y aglomerados. Se disponen sobre rocas graníticas paleozoicas, muy meteorizadas.

Aglomerado Volcánico Potrero Grande-El Huayco. Plioceno.

Maragunic et al. (1979) identificaron y definieron un extenso y potente flujo de aglomerados volcánicos que cubren una serie de relieves precordilleranos al oriente de Curicó. Estos depósitos están formados por una mezcla caótica de fragmentos volcánicos (70-80% de basaltos) de diversa forma y tamaño, aspecto fresco, englobados en una escasa matriz de lapilli y ceniza. Los clastos se presentan subangulosos a angulosos. El conjunto es macizo y está muy cementado, con aspecto lahárico.

Formación Los Peumos. Pleistoceno.

Cecioni (1978), en el sector de los Peumos, 6 km al sur de Litueche, definió una secuencia de 55-60m de potencia, formada por una alternancia de sedimentos de origen marino-continental. En su parte basal, incluyó materiales con marcadas afinidades litológicas con aquellos de la Formación la Cueva: areniscas de grano medio, amarillentas, con algunos clastos de pómez, y conglomerados fluviales, provistos de rodados multicomposicionales, de hasta 10 cm de diámetro. Estos, en la parte superior de la unidad, gradan a aglomerados de aspecto lahárico.

Lahar Tinguiririca. Pleistoceno.

Abele (1982) describió un depósito lahárico, de gran desarrollo, en el interfluvio conocido como Isla de Briones, al oriente de San Fernando. Conforman un llano con suave inclinación al occidente, con una superficie cercana a los 30 km². Los ríos Claro y Tinguiririca han producido profundas incisiones en este lahar, que han labrado llamativas paredes verticales, donde aparecen bien expuestos sus rasgos sedimentarios. Está constituido por fragmentos líticos, principalmente de andesitas y basaltos afaníticos, porfíricos y vesiculares, subredondeados a subangulosos, con un diámetro variable entre 15 y 25 cm; se disponen en una abundante matriz arenosa, rica en material cinerítico. Los clastos presentan alteración superficial. Localmente, el depósito engloba bolsones o lentes con escaso material clástico.

Lahar del Río Teno. Pleistoceno Superior-Holoceno.

Mac Phail (1973) dio este nombre a un importante flujo lahárico, que alcanza gran extensión en torno a las actuales márgenes del río Teno, a todo lo largo de su recorrido por el Valle Central. Los flujos desarrollados en la zona andina alcanzaron el Valle Central encauzados a lo largo de valles y quebradas. La existencia de una paleomorfología llana, en aquel sector, favoreció el desarrollo de este extenso depósito, cuya superficie coincide con una planicie regular en la que destacan numerosas pequeñas colinas de base circular ('cerrillos'). Los espesores medios de la unidad son de 30-40 m. Se apoya directamente sobre una antigua llanura aluvial, integrada, en mayor parte, por acarreos fluviales, ligados a cursos predecesores del río Teno.

El lahar está constituido por una mezcla de fragmentos de andesitas o basaltos, afaníticos, porfíricos y vesiculares, de diversa forma y tamaño (3-8 cm), con aspecto fresco, resistentes, englobados en una matriz arenosa, esencialmente pumicítica. El conjunto se presenta macizo, muy bien cementado, denso compacto e impermeable.

Terrazas Litorales Mixtas, del Pleistoceno.

A lo largo de todo el borde litoral de la zona estudiada, se dispone una franja de materiales sedimentarios aterrazados, particularmente areniscas. Estos depósitos se extienden hasta la cota 370-390 m, donde se apoyan sobre rocas metamórficas y graníticas, de edad paleozoica.

La secuencia conforma relieves acantilados a partir de la actual línea de costa: Punta Las Quiscas, Centinela, Sirena, Las Cruces, Bucalemu, y extensas playas arenosas: norte de Tocopalma, alrededores de Pichilemu, Iloca, Punta Duao. En los niveles acantilados, se observa que ella está integrada, principalmente, por una alternancia de bancos de areniscas pardo-amarillentas con potencias individuales de 04-06 m, dispuestos subhorizontalmente, cuyo espesor varía entre 50 y 55 m (Bucalemu, Punta Sirena y Las Cruces).

Hidrogeológicamente, las unidades de roca presentes en la zona de estudio carecen de importancia, debido a la ausencia en ellas de porosidad primaria y baja permeabilidad. Además las rocas precuaternarias presentan mayor complejidad para la evaluación y explotación de las aguas subterráneas que pudieran almacenar, por esta razón, dados los alcances de este estudio, su descripción se simplifica a la unidad denominada roca fundamental, con características de unidad no permeable.

II.1.2 Depósitos no consolidados

Se agrupan en esta categoría todos los depósitos que, bajo la forma de sedimentos de diverso origen y litología, no están consolidados y que genéticamente, se asocian a procesos cuaternarios por sus características de permeabilidad, porosidad y transmisibilidad. A nivel regional, estos depósitos presentan las mejores expectativas como acuíferos efectivamente productores. Los recursos hídricos contenidos en estos materiales se presentan, en la zona estudiada, como aguas someras o libres, semiconfinadas o francamente confinadas. La depresión intermedia, por su morfología, es determinante para albergar gran variedad de depósitos no consolidados o sedimentos, que ofrecen las mayores expectativas hidrogeológicas.

Las unidades identificadas se presentan a continuación.

Depósitos Fluviales Antiguos.

En la región, corresponden a una secuencia maciza de ripios a gravas arenosas, por lo general, bastante meteorizadas. Morfológicamente, conforman superficies llanas, que culminan hacia los 220 a 240 msnm. Se apoyan directamente sobre rocas graníticas, cubriendo superficies muy irregulares, que corresponden a paleorrelieves muy disectados.

Estos depósitos presentan, como rasgo dominante inconfundible, rodados heterocomposicionales con granulometría de ripios y gravas. Los rodados, predominantemente derivados de rocas graníticas y volcánicas, revelan un elevado desgaste. La matriz corresponde a arena media a gruesa, con alto contenido de granos de rocas granodioríticas. El conjunto, carente de estratificación y granulométricamente muy uniforme, se observa muy alterado; rodados y matriz arcillizados se tornan blandos, deleznable, conservando escasos rasgos texturales primarios. Sólo en sectores muy aislados se observan pequeñas intercalaciones lenticulares finas (limos y arenas), con incipiente estratificación cruzada, propio del ordenamiento fluvial de los materiales.

Los depósitos se presentan consolidados a moderadamente consolidados; la acentuada alteración que los afecta reduce severamente su permeabilidad original.

Depósitos Fluviales y Fluvio-Aluvionales.

Estos depósitos constituyen un aporte significativo al potente relleno sedimentario del valle central y las serranías intermedias. Están asociados a procesos cuaternarios y dada la gran similitud litológica y geomorfológica que presentan ambos materiales, es difícil establecer con rigurosidad límites claros entre ambos. Las facies más granulares de la unidad, con dominio de bolones, ripios, gravas y gravas arenosas, se ubican en profundidad en torno a los cauces que definen la actual red de drenaje regional.

Las componentes fluviales, genéticamente están relacionadas con zonas marginales de los actuales ríos principales. A uno y otro flanco de estos cauces, los materiales descritos incorporan elementos más finos, como gravas y gravas arenosas con esporádicos niveles arcillosos.

Los componentes fluvioaluvionales se asocian a depositaciones inducidas por repetidas crecidas temporales, capaces de sobrepasar los cauces establecidos, invadiendo extensos territorios llanos adyacentes.

Por la naturaleza de su gestación, estos rellenos cuentan mayoritariamente con sedimentos de granulometría gruesa, tipificados por mezclas de clastos de variados tamaños, incluso bolones con ocasionales niveles arenosos.

Depósitos Fluvio-Lacustres.

Extensos sectores marginales a actuales cauces fluviales, tanto en el valle central como en las serranías intermedias, están constituidos por materiales sedimentarios acumulados en ambiente fluvio-lacustre. Morfológicamente están ligados a terrenos llanos, sometidos a sedimentación intermitente con predominio de fracciones arcillosas y arenas finas, conexas a ambientes de circulación restringida. Estos sedimentos se presentan en sectores locales con morfología propia de rinconadas o terrenos donde ríos y esteros desarrollaron complicadas trayectorias al enfrentar numerosos cerros islas y relieves muy irregulares.

A nivel superficial, la unidad está caracterizada por terrenos llanos y suelos arcillosos, con drenaje restringido. Esto condiciona que amplios sectores incorporen terrenos pantanosos, que hacen aleatorio su aprovechamiento agrícola. En algunos sectores esta situación ha sido revertida mediante drenes.

Las aguas superficiales que escurren sobre estos sedimentos se concentran o estancan, originando sobresaturaciones puntuales, en partes levemente depresionarias del llano.

Los depósitos de la unidad están asociados al Pleistoceno-Holoceno; su máximo desarrollo se habría alcanzado hacia el Pleistoceno Inferior, en momentos en que la región andina, sometida a intensas intermitencias glaciales, aportaba grandes volúmenes de sedimentos.

Depósitos Cineríticos.

Corresponden a una extensa secuencia de sedimentos con mala selección, integrados en su mayor parte por fracciones de arena a arena-limo que corresponden principalmente a cenizas volcánicas, con contenidos de pumicita, esquirilas vítreas y escasos fragmentos líticos. Estos depósitos evidencian acciones eruptivas de tipo explosivo, de gran magnitud, relacionadas con volcanes del cordón andino.

En superficie, por acciones de meteorización o lixiviación, se desarrolla una costra tobácea en estos depósitos, la cual impide la percolación de aguas lluvias hacia estratos subsuperficiales, restándoles atractivo hidrogeológico. Los depósitos cineríticos se aprecian cementados por litificación, asociada al carácter puzolánico de las cenizas.

Depósitos Lacustres.

La zona conocida como laguna de Taguatagua se ubica en una cuenca marginal al estero Zamorano, en su flanco sur. Su entorno está controlado por una cadena de cerros, con alturas del orden de 450-700 msnm, modelando una peculiar depresión cuya continuidad sólo se interrumpe en su extremo noreste a través de un portezuelo de 2,5 km de ancho. Su actual superficie se sitúa en la cota 190-200 msnm. La carencia de una expedita vía de evacuación para las aguas captadas en la cuenca condicionó la formación de un particular ambiente lagunar, en el cual se acumularon principalmente limos y arcillas con frecuentes horizontes con alto contenido orgánico. La laguna se habría poblado con una densa cobertura vegetal, propia de zonas de vega y pantanosas.

Hace algunas décadas, la laguna fue drenada mediante la ejecución de obras especiales, como zanjas y canales de descarga. Esta operación tuvo por objeto aprovechar agrícolamente dichos terrenos, recurriendo a técnicas que garantizan el adecuado descenso de los niveles de agua.

Abanicos Aluviales.

Se ubican en el borde preandino antepuesto al valle central. Estos abanicos, al emerger desde los profundos e inclinados valles andinos y descargar al vasto valle central, desarrollaron una vigorosa morfología constituida por depósitos torrenciales de muy mala selección, incluyendo bloques y rodados, de extensión y espesor muy irregulares. La alta permeabilidad superficial de estos depósitos desarrolla escurrimientos efímeros y los cursos labrados en los abanicos adquieren trayectorias irregulares, regidas por la magnitud o torrencialidad de las crecidas de temporada.

Rellenos Fluviales de Valles Interserranos y Costeros.

Corresponden a materiales arenosos de origen fluvial, que rellenan numerosos valles labrados, tanto en relieves de la Cordillera de la Costa y serranías intermedias, como en terrenos compartidos por estas unidades morfoestructurales.

Sus trayectorias por este degradado ambiente granítico determinan la naturaleza, en términos granulométricos y composicionales, de los materiales de relleno fluvial. Los cursos de agua en estos valles experimentan vigorosas crecidas de invierno, asociadas a la temporada pluvial. Los valles que albergan estos esteros, en general son estrechos y provistos

de llanuras aluvionales regulares, donde los cursos actuales tienen muy poca profundización; su paulatino relleno se realiza mediante mecanismos de lavado de laderas a partir de relieves graníticos superficialmente meteorizados (maicillo). Incluye principalmente arenas cuarcíferas medianas a gruesas con feldespato y mica subordinados, que se disponen en bancos alternados con delgados lentes limo-arcillosos. A nivel superficial, estos depósitos presentan escasa compacidad y son muy permeables.

Salinas Fluvio-Litorales.

Estos depósitos se ubican en torno a la desembocadura de algunos ríos, en los cuales el escaso escurrimiento superficial ha favorecido notables ingresos marinos, elevando el contenido de cloruros a valores comparables con los de verdaderas salmueras. Los ríos desarrollan cursos meándricos, de pobre encauzamiento, en amplias planicies aluvionales y con desarrollo de una densa cubierta vegetal.

La proximidad al borde litoral y el desarrollo de barras, que determinan precarias condiciones de escurrimiento, se traduce en la depositación de sedimentos con predominio de fracciones finas: arenas limosas, limos y arcillas, a nivel superficial.

La distribución de la salinidad en esta zona está condicionada por los egresos de agua fresca e ingresos de agua salada. Las primeras provienen del flujo de tributarios a partir del escurrimiento superficial y filtraciones de aguas subterráneas (manantiales); las segundas, en cambio, de las mareas. La salinidad varía con la profundidad, siendo mayor hacia el fondo.

Los sedimentos y ambientes fluvio-litorales salinos han sido asignados al Holoceno-Actual.

Flujos Detríticos.

Litológicamente, el flujo está constituido por fragmentos líticos, exclusivamente andesíticos y basálticos, de aspecto fresco, inalterados, con tamaño medio de 25 a 30 cm, englobados en escasa matriz de arena y grava suelta, que desarrolla frecuentes oquedades. Se presenta caótico, sin estratificación, no consolidado y por lo tanto, muy poroso y permeable. La angulosidad de los fragmentos denota la escasa trayectoria recorrida por el flujo desde su fuente de origen.

En superficie, presenta escaso desarrollo de suelo y vegetación respecto de zonas adyacentes, por lo que se infiere que se formó durante el Holoceno.

Depósitos Gravitacionales.

Corresponden a los sedimentos resultantes de la fragmentación superficial de macizos rocosos que, por efecto principalmente gravitacional y en parte hídrico, experimentaron remoción y posterior depositación. Se incluyen también con esta denominación los depósitos detríticos que normalmente se llaman escombras de falda, coluvios, conos de deyección, etc. Morfológicamente, la unidad se observa asociada al relleno de quebradas provistas de fuerte empinamiento.

Litológicamente, estos depósitos están constituidos por una mezcla caótica de fragmentos de variada composición y tamaño, englobados en una matriz fina, limo-arcillosa. La fracción fina predomina en las partes distales, mientras que en las apicales hay una mayor abundancia de bloques.

Los depósitos descritos corresponden a acumulaciones actuales o modernas.

Depósitos Fluviales Asociados a Cauces Actuales.

Corresponden a materiales clásticos que conforman los actuales cauces de los ríos mayores y afluentes más significativos, enmarcados en sus activas llanuras de inundación. Los cursos, normalmente, presentan pobre encauzamiento en la llanura, favoreciendo las divagaciones temporales, en respuesta a bruscos incrementos de caudal. Los cauces de los ríos mayores, especialmente en su trayectoria por las serranías intermedias, mantienen una continua divagación, con clara tendencia a la meandrización.

Los depósitos corresponden, casi exclusivamente, a gravas y arenas, con marcado predominio de estas últimas, hacia las porciones alejadas del borde preandino, e incorporan frecuentes bancos arenosos, en el caso de ríos afectados a bruscos incrementos de caudal; adquieren carácter temporal, desarrollando verdaderas islas interfluviales con abundante vegetación freatófita.

Los materiales sedimentarios más superficiales englobados en esta unidad deben ser considerados como actuales, mientras que los niveles más profundos, como holocenos.

Arenas Litorales y Dunas.

Las arenas litorales conforman el verdadero borde litoral, sometido a la permanente acción del oleaje en función de la intensidad de las mareas. Estas arenas conforman una franja de ancho uniforme, que fluctúa entre los 5 y 7 m, sólo interrumpida por ocasionales riscos.

III FORMACIONES ACUIFERAS Y PROPIEDADES HIDRAULICAS.

Analizando la literatura existente de la zona (Mapa Hidrogeológico, DGA 1986) se puede señalar que existen estudios que definen la información de propiedades hidráulicas, espesores, etc., en los sectores estudiados pero en forma más general asociando sectores que señalan la descripción hidrogeológica en base a las cuencas hidrológicas más importantes de las zonas estudiadas, por lo que en este capítulo se entregará la información recopilada, quedando algunos sectores sin información en lo relacionado a este tema.

1. CUENCA DEL RÍO RAPEL

a) **Río Cachapoal**

Desde el punto de vista hidrogeológico y para efectos de su descripción se puede dividir en tres sectores principales:

Cachapoal Norte : Corresponde al sector del Valle Central Norte del río Cachapoal, al sur del estero Codegua. Incluye además el valle del estero Cadena.

El espesor total de los rellenos es superior a los 66 m, en la zona de Graneros, aumentando hacia el sur para llegar a la zona de Rancagua a espesores superiores a los 120 m.

Están compuestas por materiales fluviales del tipo gravas, arenas y arcillas, presentando estratos de distinta permeabilidad. En el sector norte el acuífero es semiconfinado ubicándose entre los 10 y 20 m. de profundidad. Hacia el sur de Rancagua, el acuífero principal corresponde al relleno superior de unos 80 m. espesor.

Las mayores Transmisibilidades se encuentran al norte de la ciudad de Rancagua con valores mayores a 10.000 m²/día, disminuyendo hacia el norte y hacia los costados del valle, en una franja en torno a Rancagua con valores comprendidos entre los 1000 y 5000 m²/día. En los extremos oriente y poniente del valle, disminuye a 500 a 1000 m²/día y a menos de 500 m²/día cerca del contacto roca relleno.

Cachapoal Sur : Incluye el sector del valle central al sur del río Cachapoal y al norte de la localidad de Requínoa y el desarrollo del valle del

Cachapoal aguas abajo de la confluencia con el estero La Cadena hasta su encuentro con el río Claro de Rengo.

El espesor del relleno es superior a los 130 m., formado por estratos de distinta permeabilidad. El acuífero principal en esta zona se ubica más superficialmente en relación a como se presenta en el valle central.

Esta zona presenta los mayores valores de transmisibilidad, entre 5.000 y 10.000 m²/día, en una franja en dirección en dirección norte-sur al poniente de la Carretera Panamericana, disminuyendo a entre 1000 y 5000 m²/día hacia el extremo occidental del valle central. Al oriente de la Carretera Panamericana, la disminución es gradual, variando desde 5.000 a 10.000 m²/día en el sector de la Carretera, al centro del valle, hasta menos de 500 m²/día en el límite de valle. En la segunda sección del Cachapoal en tanto, la mayor parte del valle presenta transmisibilidades comprendidas entre 1.000 y 5.000 m²/día salvo una franja paralela al río al sur de éste, entre la cabecera y la localidad de Doñihue, donde las transmisibilidades están comprendidas entre 5.000 m²/día.

Cachapoal Bajo : Corresponde al valle del río Cachapoal comprendido entre la confluencia de éste con el estero Zamorano cerca de la localidad de Peumo, hasta su desembocadura al Lago Rapel. El espesor total de los rellenos supera en general los 80 m., apareciendo una secuencia más bien fina que le confiere al acuífero características de semiconfinamiento. En el sector de las Cabras el acuífero es semiconfinado encontrándose el acuífero principal bajo una secuencia de sedimentos aluviales de baja permeabilidad.

b) **Río Claro – estero Zamorano**

En el valle central el espesor total de los rellenos se desconoce, pero se estima que debe ser superior a los 50 m. El acuífero en general es freático, presentando en algunos sectores algunos grados de confinamiento. Hacia el poniente la situación es la misma variando presumiblemente sólo el espesor del relleno el que de acuerdo a los sondeos de la zona podría ser inferior a los 50 m.

En el valle del río Claro en general las transmisibilidades están comprendidas entre 1.000 y 5.000 m²/día. Los menores valores se encuentran en torno a Rengo alcanzando entre 500 y 1.000 m²/día y menos de 500 m²/día en la franja oriental del valle. Los mayores valores (entre 5.000 y 10.000 m²/día) se encuentran en la parte central del valle entre Requínoa y Rosario prolongándose hasta Quinta de Tilcoco donde se alcanzan incluso transmisibilidades superiores a 10.000 m²/día.

En el valle de estero Zamorano los menores espesores del relleno se encuentran en el valle central entre San Fernando y Pelequén, siendo del orden de 40m. y menos de 30 m. en Pelequén. Hacia el poniente los acuíferos tienen la misma configuración variando sólo el espesor del relleno, el que a la altura de Malloa es superior a 60 m. y del orden de 50 m. a la altura de San Vicente de Tagua Tagua.

En el valle de estero Zamorano las menores transmisibilidades se encuentran en el valle central entre San Fernando y Pelequén, siendo inferiores a 500 m²/día, aumentando hasta 5000 m²/día en la prolongación lateral del valle hacia el sector de San Vicente.

c) Estero Chimbarongo

El espesor total de los rellenos del valle central se desconoce, sin embargo, se estima del orden de los 40 m. Hacia el poniente, el valle se hace más amplio aguas abajo del estrechamiento de Convento Viejo. En este sector el espesor total del relleno es superior a los 75 m., y su composición es más heterogénea presentando múltiples estratificaciones de distinta permeabilidad, con características de acuífero semiconfinado.

Las transmisibilidades se encuentran al centro del valle central, las que están comprendidas entre 500 y 1.000 m²/día, lo mismo que aguas abajo del estrechamiento de Convento Viejo, en la franja central de valle transversal de esta zona. Hacia los costados tanto en el valle central como aguas abajo del estrechamiento, las transmisibilidades son menores siendo en general menores a 500 m²/día.

d) Río Tinguiririca

El espesor total del relleno es superior a 40m. de los cuales el acuífero principal ocupa del orden de 25 m. Bajo él se dispone una secuencia aluvial de estratos de distinta permeabilidad. Hacia el poniente aumenta el espesor total de los rellenos, particularmente en el centro del valle, alcanzando a la altura de Santa Cruz espesores

superiores a los 130 m. El resto del valle presenta características similares disminuyendo sólo el espesor de los rellenos, los que no superan los 70 m.

En el valle central entre las localidades de San Fernando y Chimbarongo la transmisibilidad está comprendida entre 500 y 1.000 m²/día, disminuyendo hacia los costados a menos de 500 m²/día. Aguas debajo de San Fernando hasta el encuentro con el Valle de Chimbarongo, las transmisibilidades están comprendidas entre 1.000 y 5.000 m²/día en la parte central y entre 500 y 1.000 m²/día en los costados. Desde este último sector hasta la desembocadura al Lago Rapel, las mayores transmisibilidades se presentan en una franja paralela al río ubicada en la parte central del valle con valores comprendidos entre 500 y 1.000 m²/día y disminuyendo hacia los costados a menos de 500 m²/día.

2. BOCA DE RAPEL-NAVIDAD-RAPEL

Estos rellenos cuaternarios se ubican en los sectores adyacentes al río Rapel y a sus tributarios principales, alcanzando una potencia de unos 70 m. a lo largo del río Rapel y a sus tributarios principales, alcanzando una potencia de unos 70 m. a lo largo del río Rapel y de unos 30 a 40 m. en los valles de los esteros Navidad, Lincacheu y Rapel.

En el valle del Rapel los estratos acuíferos principales son dos: uno superior con napa libre y otro confinado inferior. El superior tendría unos 7 m. de espesor en la Boca de Rapel, que aumentaría a unos 20 m. en Rapel. El inferior, se desarrollaría aproximadamente entre los 10 y 20 m. de profundidad en Boca de Rapel, y a profundidades mayores hacia aguas arriba.

En el valle del estero Navidad los acuíferos son de muy inferior calidad, con estratos acuíferos de espesores variables que pueden encontrarse hasta unos 30 m. de profundidad.

3. RINCONADA DE ALCONES

Los rellenos cuaternarios recientes tienen potencias de 5 a 25 m. y los rellenos cuaternarios antiguos, ubicados bajo los anteriores, presentarían espesores considerables.

4. PICHILEMU

Los sedimentos cuaternarios recientes tienen espesores que varían entre 10 y 25 m. El cuaternario más antiguo, que subyace al anterior, presenta también estratos acuíferos

de pequeños espesores, confinados entre capas potentes impermeables y ubicados a profundidades entre 40 y 70 m.

5. PAREDONES

En esta área, los espesores no sobrepasan los 30 m. Es un acuífero de napa libre, muy poco explotado, por lo que existe escasa información sobre éste.

6. LO VALDIVIA

Los rellenos sedimentarios del área son de escasa potencia, alcanzando a unos 15 ó 20 m. aguas arriba de la laguna Boyecura. El acuífero es de tipo freático.

Se estima que la permeabilidad del acuífero debe ser baja, pero no existe mayor información al respecto.

7. SAN PEDRO DE ALCANTARA

Los rellenos cuaternarios tienen potencias de aproximadamente 20 m., en una franja de a lo más 200 m. de ancho, el acuífero es de napa libre.

No existe información sobre las propiedades hidráulicas del acuífero descrito.

IV CARACTERIZACION HIDROLOGICA

Caracterización General

En la VI Región existe un gran sistema hidrográfico principal, que corresponde a la cuenca del río Rapel, con sus afluentes Cachapoal y Tinguiririca, además de una zona costera que está formada por las hoyas de los esteros Tocopalma y Nilahue.

Se debe señalar la existencia de sectores inmediatamente adyacentes a la costa, comprendidos entre el litoral y las divisorias de agua de las cuencas de los esteros antes mencionados y el río Rapel, en los cuales la red de drenaje constituye esteros y quebradas de muy corto desarrollo, que alcanzan el mar en forma individual y que, en estricto rigor, cada uno de ellos conforma una pequeña cuenca. En éstas pequeñas cuencas el régimen de escorrentía que caracteriza a estos esteros y pequeñas quebradas es esencialmente pluvial, por lo que su escurrimiento está estrechamente asociado a la distribución estacional de las lluvias.

A continuación se presenta una caracterización general de las cuencas antes mencionadas:

IV.1 Cuenca del Río Rapel

La cuenca del Río Rapel, que se extiende de cordillera a mar, se encuentra ubicada aproximadamente entre los 34° y 35° de latitud sur y entre los 70° y 72° de longitud oeste. La zona baja de la cuenca, queda comprendida entre su desembocadura y la desembocadura de los ríos Cachapoal y Tinguiririca en el embalse Rapel.

Los escurrimientos existentes en la zona baja son en su mayor parte afluentes al embalse Rapel y aportados principalmente por los esteros Las Cadenas y Alhué, los que sumados a los afluentes de la zona intermedia, a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, constituyen los afluentes totales al embalse Rapel.

El régimen natural del río Rapel es pluvionival alterado, es decir, en el período pluvial (Abril-Septiembre) se tiene régimen pluvial con crecidas violentas debido a precipitaciones líquidas caídas en la precordillera y zona intermedia de la cuenca, y en el período (Octubre-Marzo) se tiene régimen nival con una onda de deshielo estacional generada por el deshielo del manto de nieve y aporte de los glaciares de la alta cordillera, onda de deshielo que llega al embalse Rapel amortiguada, o desapareciendo en algunos casos debido al uso consuntivo del agua con fines de riego en el valle central y algunos valles laterales.

La descripción de la zona intermedia incluye las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Esta zona que está comprendida entre la zona alta y el embalse Rapel, incluye la mayor parte de la zona cultivada y regada en la cuenca del río Rapel.

IV.1.1 Cuenca del Río Cachapoal

Si bien el régimen hidrológico de la zona intermedia es netamente pluvial, el de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Cachapoal, es de régimen pluvionival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

IV.1.2 Cuenca del Río Tinguiririca

Al igual que lo señalado en el caso anterior, la zona intermedia tiene un régimen netamente pluvial, sin embargo, el régimen de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Tinguiririca, es de régimen pluvionival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

IV.2 Cuenca del estero Tocopalma

La hoya del estero Tocopalma o Quebrada Honda es una cuenca costera ubicada inmediatamente al sur de la cuenca del río Rapel. El área de mayor interés de esta cuenca comprende entre el estero El Ganso por el sur y el estero Valle Hidango por el norte. El estero El Ganso es un tributario de la ribera norte del estero Tocopalma, a unos 25 km. aguas arriba de su desembocadura al mar. El estero Valle Hidango también es un tributario norte a unos pocos kilómetros de su desembocadura al mar. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

IV.3 Cuenca del estero Nilahue

La hoya del estero Nilahue drena parte de la zona costera entre la localidad de Cahuil por el norte y el estero Paredones por el sur. Posee una red de drenaje muy ramificada de acuerdo con la tectónica local, que ha fraccionado el macizo costero en ese sector. El estero Nilahue que tiene su nacimiento a unos 60 km. al sur de Pichilemu, tiene una dirección sur a norte casi en la totalidad de su recorrido y desemboca en la localidad de Cahuil, ubicada unos 10 km. al sur de Pichilemu. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

IV.4 Sectorización del área estudiada

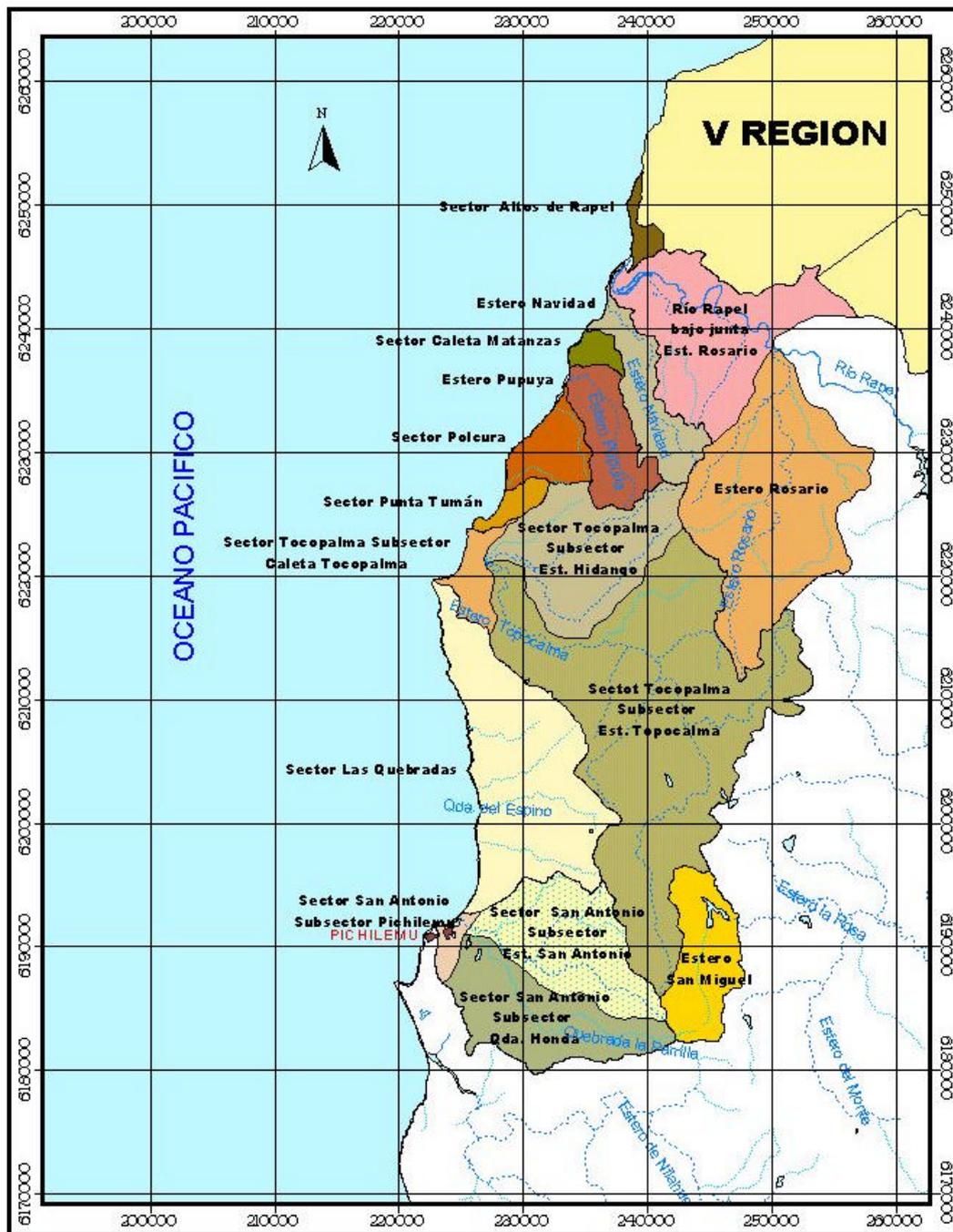
La delimitación del área estudiada se realizó con la información existente (1 y 2), utilizando dos metodologías para definir la sectorización de la región:

- i) Delimitación en base a unidades hidrogeológicas para las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca y de los esteros Alhue y Nilahue, que fueron definidas en el Diagnóstico de la Comisión Nacional de Riego, esta delimitación generó un sector acuífero para cada una de las cuencas antes mencionadas.

- ii) Delimitación en base a la cartografía e hidrogeología del área de estudio. Se determinó una zonificación basándose en criterios hidrológicos e hidrogeológicos, definiéndose 24 sectores cuya designación fue realizada en base al nombre del cauce principal de la cuenca que lo define y para los sectores costeros se escogió un nombre característico del lugar, ya que presentan más de un curso de agua desembocando en el mar.

Por lo tanto el área estudiada queda definida por 28 sectores en total (ver mapas N° 3, 4 y 5). Además se presentan los rellenos y potencialidades de las áreas permeables para la zona estudiada en el mapa N°6.

ZONIFICACION HIDROGEOLOGICA ZONA COSTERA1

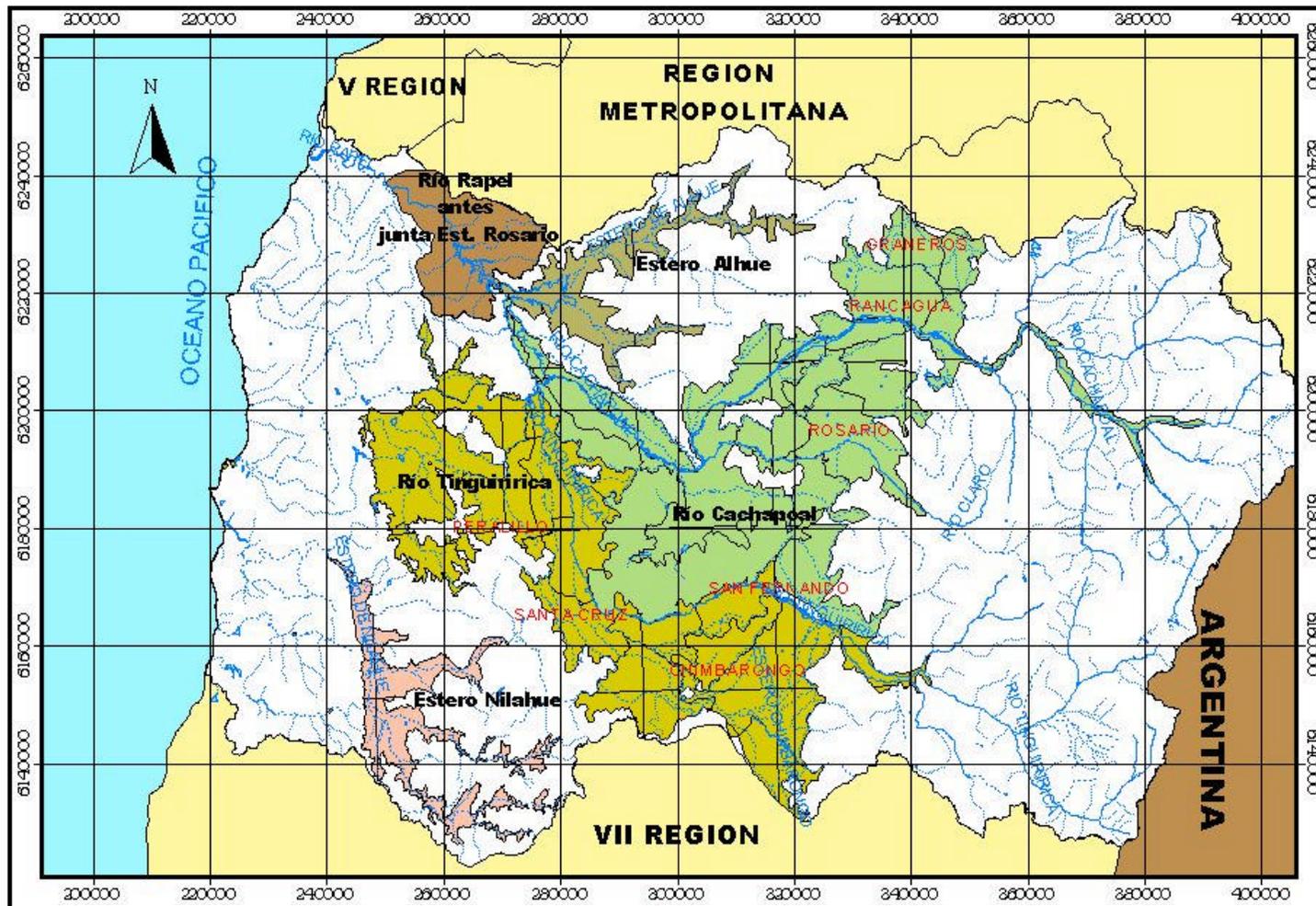


DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
 PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
 EDICION OCT 2003

10 0 10 Kilómetros

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 DEPTO. ADM. RECURSOS HIDRICOS

SECTORIZACION VALLE

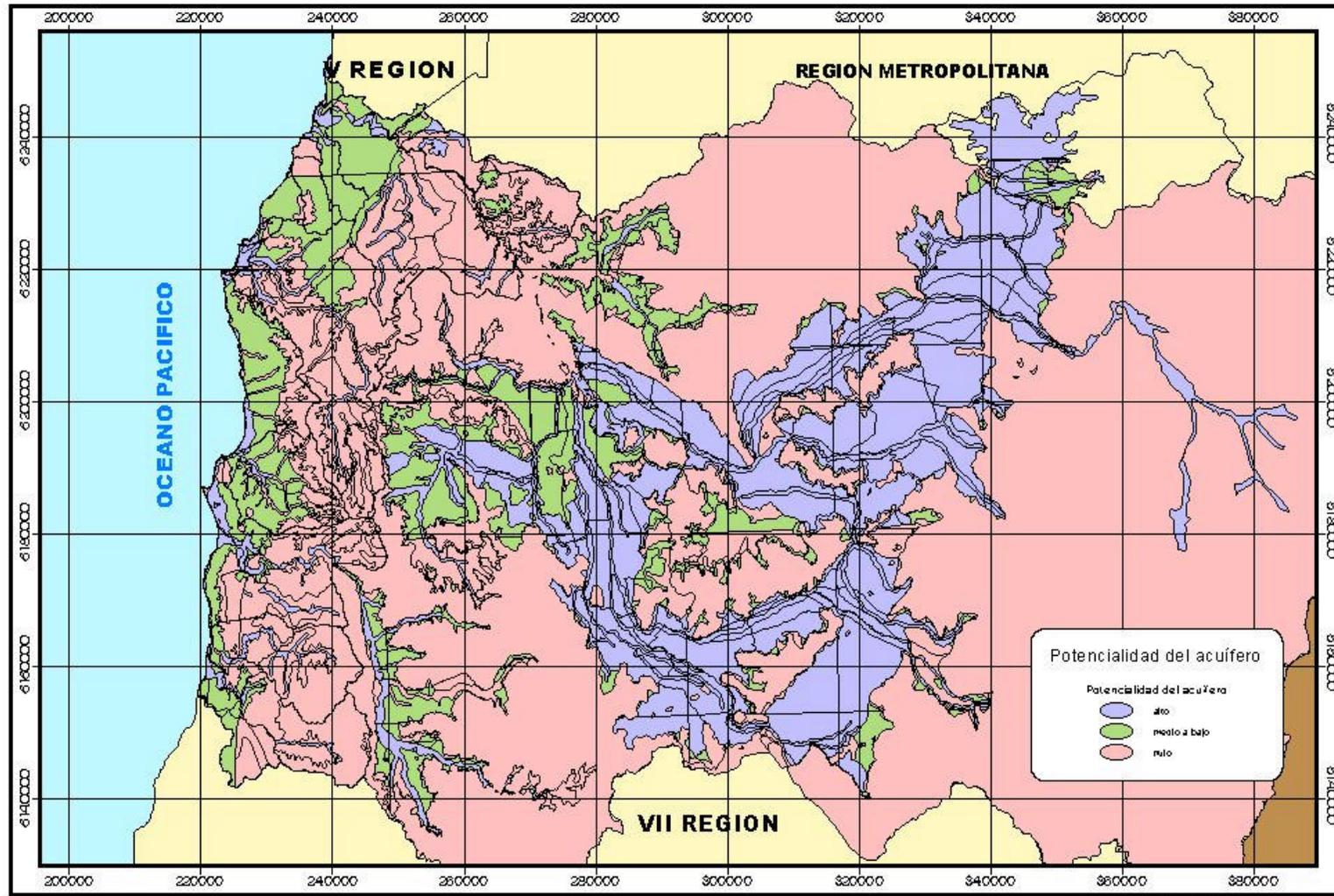


DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
 PROYECCION TRANSVERSAL
 DE MERCATOR UTM



MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 DEPTO. ADM. RECURSOS HIDRICOS

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS AREA DE ESTUDIO



DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1986
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR

9 0 9 18 Kilometers

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO. ADM. RECURSOS HIDRICOS

IV.5 Precipitaciones

La información de precipitaciones aplicada en la franja costera (provincia de Cardenal Caro) del área estudiada fue obtenida del análisis realizado por SITAC (1998), en donde se determinó el mapa de isoyetas anual (Fig. N°1) utilizando las siguientes estaciones meteorológicas:

Tabla N°1. Precipitación media anual para 1950/51 al 1996/97, Parte Costera

ESTACION	PRECIPITACION MEDIA (mm)
RAPEL	543,9
NILAHUE	549,6
RANGUILI	728,5
LITUECHE	734,1
LOLOL	698,9

Para el resto del área estudiada se trabajó con las precipitaciones entregadas en la base de datos del estudio “Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección”, que corresponden a las isoyetas medias anuales del Balance Hídrico(3).

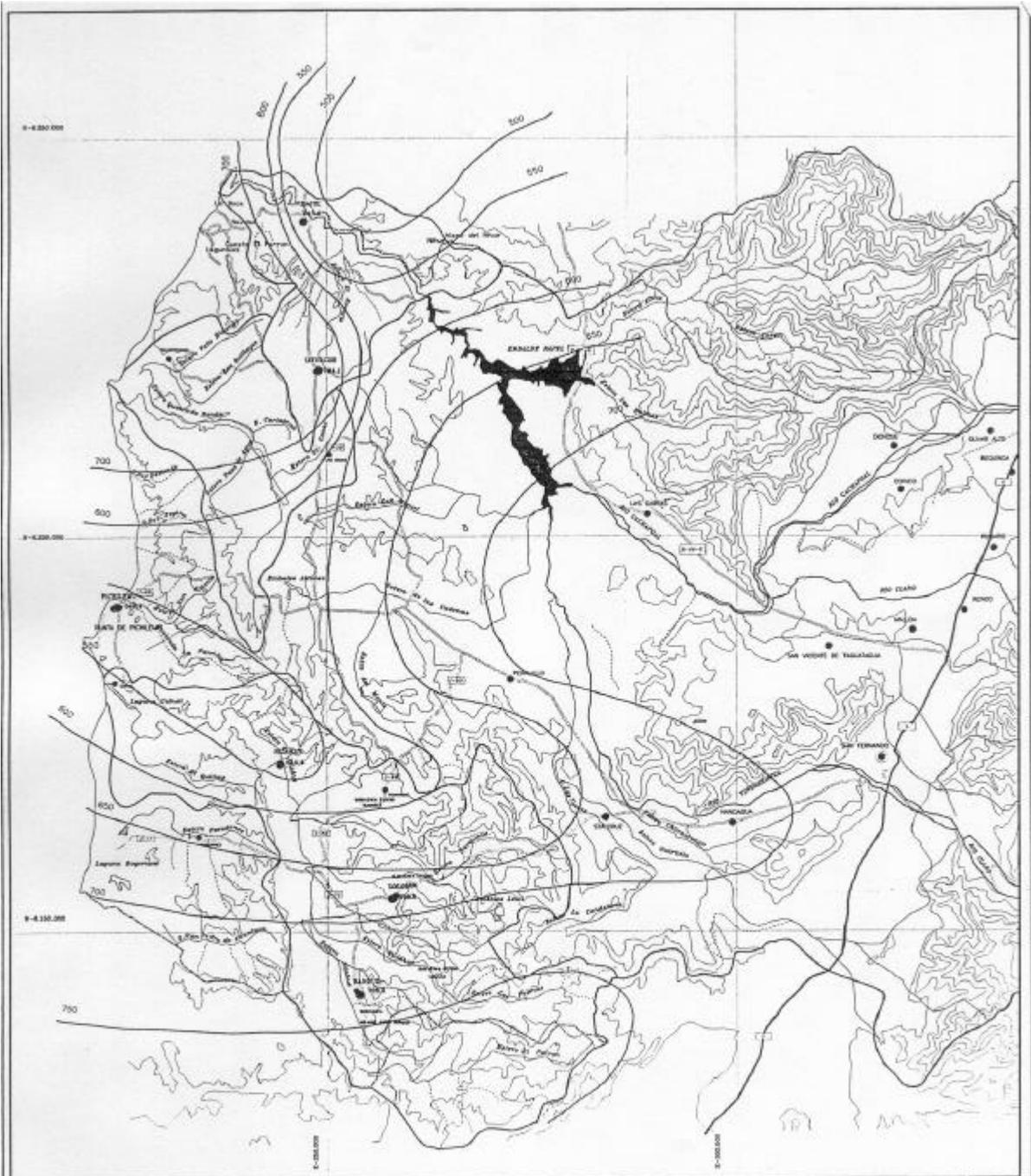
Las cuencas y sectores del estudio, junto con sus áreas y niveles de precipitaciones respectivas, se presentan a continuación:

3 Balance Hídrico de Chile. Dirección General de Aguas, 1987.

Tabla N°2: Area y precipitaciones en cada sector acuífero de la VIª Región

SECTOR	AREA CUENCA APORTANTE KM²	AREA RELLENO ACUÍFERO KM²	PRECITACIONES MEDIAS ANUALES (mm)
SECTOR ALTOS DE RAPEL	9,4	2,081	550
RIO RAPEL BAJO JUNTA ESTERO EL ROSARIO	141,1	22,502	600
ESTERO EL ROSARIO	210,7	26,502	550
RIO RAPEL ANTES JUNTA ESTERO EL ROSARIO	379,8	10,993	550
ESTERO ALHUE	1424,8	15,817	973
RIO CACHAPOAL	6298,7	1882,553	882
ESTERO NAVIDAD	51,3	5,609	700
SECTOR CALETA MATANZAS	10,1	5,130	700
ESTERO PUPUYA	50,1	1,830	734
SECTOR POLCURA	32,1	0,487	700
SECTOR PUNTA TUMAN	11,3	2,880	700
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO HIDANGO	116,8	13,181	734
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR CALETA TOPOCALMA	21,3	10,351	734
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO TOPOCALMA	393,8	19,885	734
SECTOR LAS QUEBRADAS	180,4	12,984	650
ESTERO SAN MIGUEL	63,8	0	600
RIO TINGUIRIRICA	3932,4	2003,938	954
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR ESTERO SAN ANTONIO	99	3,649	580
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR PICHILEMU	9,8	2,260	546
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR QUEBRADA HONDA	97,2	4,601	550
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR LAGUNA CAHUIL	99	31,028	550
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR NILAHUE BAJO	162,9	12,960	550
ESTERO NILAHUE	1416,6	402,67	669
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR ESTERO QUILLAY	97,8	8,788	580
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR LAGUNA BUCALEMU	73,7	9,605	620
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR ESTERO PAREDONES	148,8	9,648	660
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR LAGUNA BOYERUCA	48,6	9,716	680

SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR ESTERO SAN PEDRO	243,2	7,473	720
--	--------------	--------------	------------



SIMBOLOGIA	
	Rio
	Estero
	Carretera
	Camino de tierra
	Fincas
	Linderos
	Parcelas
	Poblacion
	Estacion
	Puntos de referencia

REPUBLICA DE GUATEMALA, 1974-1975 DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS	
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS DIRECCION GENERAL DE VIALIDAD DIRECCION REGIONAL DE VIALIDAD - MERIDA	
PROYECTO: ESTUDIO DE POTENCIAL DEBIDO A LA CONSTRUCCION DE CARRETERA EN LA ZONA DE MERIDA	
TITULO: ESTUDIO DE POTENCIAL DEBIDO A LA CONSTRUCCION DE CARRETERA EN LA ZONA DE MERIDA	
AREA DE ESTUDIO: ZONA DE MERIDA	
FECHA DE ELABORACION: 1974	
ESCALA: 1:50,000	

V CAUDAL DE EXPLOTACION SUSTENTABLE

A continuación se procede a la determinación del caudal de explotación sustentable para cada sector del área estudiada. El referido caudal que corresponde en este caso a la recarga renovable, da sustentabilidad, no genera afección a derechos de terceros y no produce impactos no deseados a la fuente y al medioambiente.

La determinación de la recarga renovable, se realizará como un porcentaje de la infiltración por precipitación directa sobre la cuenca o como un porcentaje de la recarga potencial, valor determinado como “caudal de explotación segura” en el estudio “Diagnóstico Actual del riego y Drenaje en Chile y su proyección”

V.1 Determinación de la recarga media anual

En el presente estudio, y dadas las condiciones hidrogeológicas y meteorológicas del área estudiada y los antecedentes disponibles, la determinación de la recarga se realizó en las unidades permeables, mediante el uso de las metodologías indicadas anteriormente.

a) Determinación de la Recarga de acuerdo a la Infiltración por Precipitación Directa:

Está dada por un porcentaje de la lámina de agua precipitada en la cuenca aportante del sector definido y que se infiltra recargando el acuífero que lo compone.

Es decir:

$$\text{Área Cuenca aportante} \times \text{Coef. Infiltración} \times \text{Escorrentía} = \text{Recarga media (l/s)}$$

Para determinar la infiltración hacia los acuíferos, debido a la precipitación directa se utilizó la fórmula de Peñuelas:

$$E = 0,5 \times P^2, P < 1000 \text{ mm}$$

El porcentaje de infiltración para el área estudiada corresponde a un 10%, dicho valor corresponde al utilizado en el estudio realizado por SITAC (1998).

Esta metodología fue utilizada para determinar la recarga media anual en el sector costero del área estudiada (Desembocadura del Río Rapel, Navidad, Pichilemu, etc).

b) Determinación de la Recarga de acuerdo al “Caudal de Explotación Segura”:

Se utilizó como Recarga media anual los valores determinados como caudal de explotación segura en el estudio “Diagnóstico Actual del riego y drenaje en Chile y su proyección futura”.

En este estudio se definieron los sistemas acuíferos más importantes de la zona analizada. Cada acuífero quedó definido por su geometría y propiedades físicas. La geometría se definió trazando los contactos roca-relleno definidos por los cambios bruscos de pendientes del terreno. Complementariamente se usó el Plano Geológico Nacional, para verificar la coincidencia de las zonas identificadas como los rellenos cuaternarios.

En este estudio se definió la Recarga Potencial como la Escorrentía Total que se genera en el terreno sobre el acuífero y se calculó como:

$$R_P = E_T \times \zeta = (PP - EV) \times \zeta$$

Donde:

R_P : Recarga Potencial (L^3/T)

E_T : Escorrentía Total (L/T)

ζ : Superficie sobre el acuífero (L^2)

PP : Precipitación media anual sobre el acuífero (L)

EV: Evapotranspiración media anual sobre el acuífero (L)

Se consideró como caudal de explotación segura, aquella parte de la recarga potencial que efectivamente podría incorporarse al acuífero. La magnitud del caudal de infiltración depende, entre otros, del tipo de relleno de los estratos superficiales, específicamente de su permeabilidad, de la pendiente del terreno, de la profundidad del nivel freático, etc. En dicho estudio se determinó que el 10% de la Recarga Potencial, corresponde al **caudal de Explotación Segura**, es decir a la recarga del acuífero

Esta metodología se utilizó para determinar la recarga media anual de los siguientes sectores acuíferos:

- Estero Alhue
- Río Cachapoal
- Río Tinguiririca
- Estero Nilahue

V.2 Cuantificación de la Recarga

Realizado el análisis de los parámetros involucrados (área, precipitación y coeficiente de infiltración) se determinó la recarga media anual (l/s) para cada sector:

Tabla N°3. Cuantificación de la recarga media anual (l/s)

SECTOR	RECARGA MEDIA ANUAL (l/s)
SECTOR ALTOS DE RAPEL	4,5
RIO RAPEL BAJO JUNTA ESTERO EL ROSARIO	80,5
ESTERO EL ROSARIO	101,0
RIO RAPEL ANTES JUNTA ESTERO EL ROSARIO	182,1
ESTERO ALHUE	544,0
RIO CACHAPOAL	2089,0
ESTERO NAVIDAD	39,9
SECTOR CALETA MATANZAS	7,8
ESTERO PUPUYA	42,8
SECTOR POLCURA	25,0
SECTOR PUNTA TUMAN	8,8
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO HIDANGO	99,7
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR CALETA TOPOCALMA	18,2
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO TOPOCALMA	336,4
SECTOR LAS QUEBRADAS	120,9
ESTERO SAN MIGUEL	36,4
RIO TINGUIRIRICA	2961,0
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR ESTERO SAN ANTONIO	52,8
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR PICHILEMU	4,6
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR QUEBRADA HONDA	46,6
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR LAGUNA CAHUIL	47,5
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR NILAHUE BAJO	78,0
ESTERO NILAHUE	263,0
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR ESTERO QUILLAY	52,1
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR LAGUNA BUCALEMU	44,9
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR ESTERO PAREDONES	102,8
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR LAGUNA BOYERUCA	35,7
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR ESTERO SAN PEDRO	199,9

VI DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

VI.1 Política general y criterios generales de la dirección general de aguas sobre derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

Durante el último tiempo, en general en el país, se han generado demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos subterráneos. Este crecimiento, se produce en un contexto en el cual los recursos superficiales en una buena medida ya están comprometidos en el abastecimiento de los usos actuales, y frente a una creciente valorización del medio ambiente, lo cual constituye una variable más a considerar en esta creciente demanda de recursos hídricos.

La política de la DGA en relación con la explotación de las aguas subterráneas debe compatibilizar las exigencias legales, con las características físicas de dicho recurso y que tome en consideración las necesidades y los intereses superiores de la Nación. De acuerdo a lo anterior, la acción de la DGA, debe propender a una explotación sustentable del recurso, que no genere menoscabo al derecho de terceros y que no limite innecesariamente su aprovechamiento, considerando su enorme importancia para el interés nacional.

VI.1.1 Criterios técnicos generales

En general un acuífero, desde el punto de vista de sus recursos hídricos, se puede caracterizar por un volumen almacenado de agua y una recarga renovable en el tiempo. Un acuífero, es simultáneamente un almacenamiento de agua y vía de transporte de la misma. Las reservas de él están constituidas por el volumen de agua que almacena, determinado por el nivel de saturación del terreno. El caudal medio que recorre el acuífero y sale del mismo, procedente de la alimentación externa que recibe, es conocida como la recarga media anual. El origen principal de la recarga suele ser la infiltración de la lluvia, otros posibles aportes son la percolación desde los ríos, la transferencia subterránea de un acuífero contiguo y la infiltración del riego.

Es importante destacar que los problemas relacionados con las aguas subterráneas tanto en cantidad como en calidad, en general se perciben con bastante retraso respecto del momento en que se inician, como consecuencia de la lenta dinámica de esta agua, por el mismo motivo son también muy lentos los efectos de las medidas que se pueden adoptar para resolverlos.

Por ello, la gestión de los recursos hídricos subterráneos, para que sea eficaz, debe basarse en políticas de prevención que permitan actuar sobre las causas que pueden originar tales problemas.

La constitución de derechos de aprovechamiento para la explotación de aguas subterráneas en Chile, se centra desde el punto de vista legal y técnico, básicamente en los siguientes aspectos:

- Que la solicitud presentada, sea legalmente procedente,
- Que exista disponibilidad física y jurídica de las aguas, y
- Que no se perjudique ni menoscabe derechos de terceros.

Los siguientes son los criterios técnicos de la Dirección General de Aguas, para la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para solicitar un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas, el interesado debe haber comprobado previamente la existencia de ellas.

El criterio de la Dirección General de Aguas, establece que la comprobación de la existencia de aguas subterráneas no está ligada necesariamente a la terminación total de todas las faenas asociadas a la construcción de la obra de captación. Por lo tanto, no se requiere que al momento de la presentación de la solicitud, se hayan realizado las pruebas de bombeo o exista el acondicionamiento para el uso regular de la obra de captación; pero si debe estar en construcción y debe haberse comprobado la existencia del agua subterránea (es decir, haber llegado al menos al nivel freático de ella).

PRUEBAS REQUERIDAS PARA SUSTENTAR EL CAUDAL POSIBLE DE EXTRAER DE UNA OBRA DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Las pruebas requeridas por la Dirección General de Aguas corresponden a las establecidas en la Norma Chilena NCh N° 777/2. Así, una prueba de bombeo, permite el análisis de las obras de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran; el estudio de las variaciones de los niveles, es precisamente en lo que consiste la prueba de bombeo y lo que permite obtener información, tanto sobre la obra de captación de aguas subterráneas en sí, como sobre las características del lugar del acuífero donde se encuentra.

Para el estudio y análisis de los datos obtenidos mediante pruebas de bombeo en obras de captación de aguas subterráneas tipo pozo profundo, en general se recomiendan pruebas de

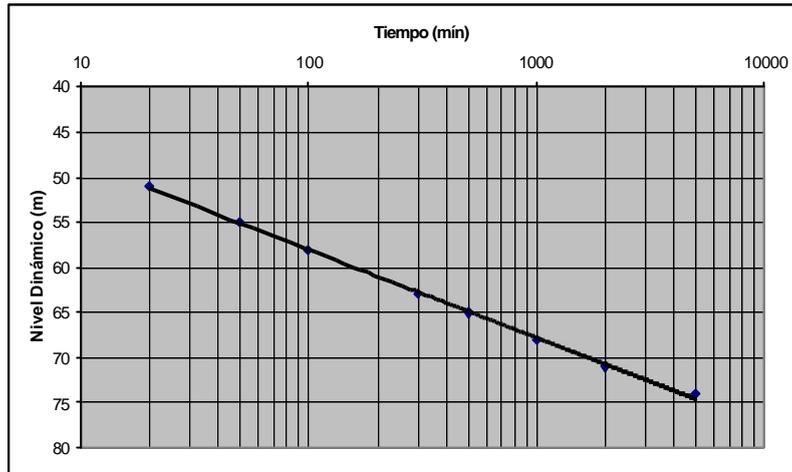
una duración mínima de 24 hrs. en acuíferos confinados y de 72 hrs. en acuíferos no confinados.

Existen una serie de obras de captación de aguas subterráneas, para la extracción de este recurso. Para determinar el caudal que es posible extraer desde cada una de ellas, la Dirección General de Aguas requiere que el solicitante efectúe las pruebas suficientes de acuerdo a la obra de captación de que se trate.

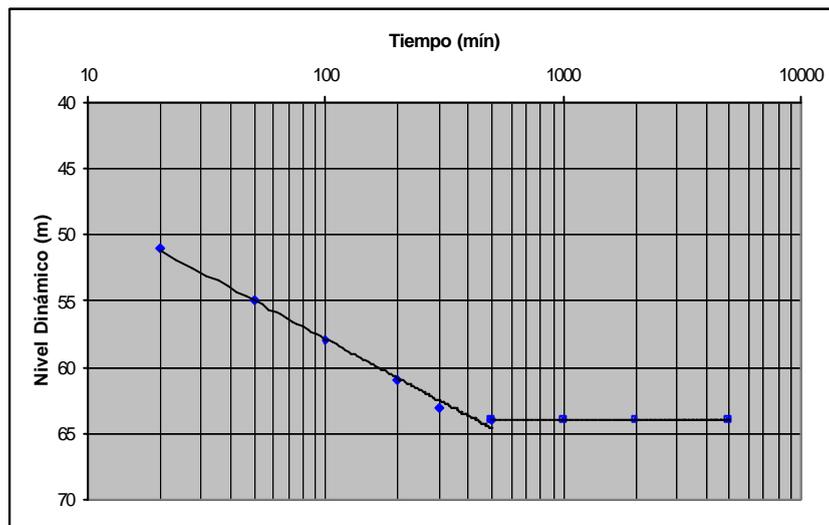
Las condiciones técnicas establecidas por la Dirección General de Aguas para determinar el caudal que es posible extraer desde una obra de captación de aguas subterráneas tipo pozo profundo, consideran que después de un tiempo razonable de bombeo (24 hrs. como mínimo) se produzca una estabilización de niveles o una clara tendencia a ella, es decir, que la variación de las depresiones sea tan pequeña que no se aprecien para intervalos pequeños de tiempo; de tal modo que puedan considerarse estabilizados.

Sí el cono de depresión producido por el bombeo, alcanza una frontera o condición de borde permeable, donde la recarga iguale al caudal constante bombeado, se producirá la estabilización de niveles. Si ello no ocurre, en la realidad los niveles estrictamente no se estabilizarán; frente a esta última situación lo que se pide, es una franca tendencia a la estabilización de niveles, es decir que la velocidad de descenso de los niveles disminuya lo suficiente hacia el final de la prueba de bombeo (mínimo 180 minutos), de tal modo que la variación de los niveles sea imperceptible. y en definitiva podamos considerar conocido el radio de influencia generado.

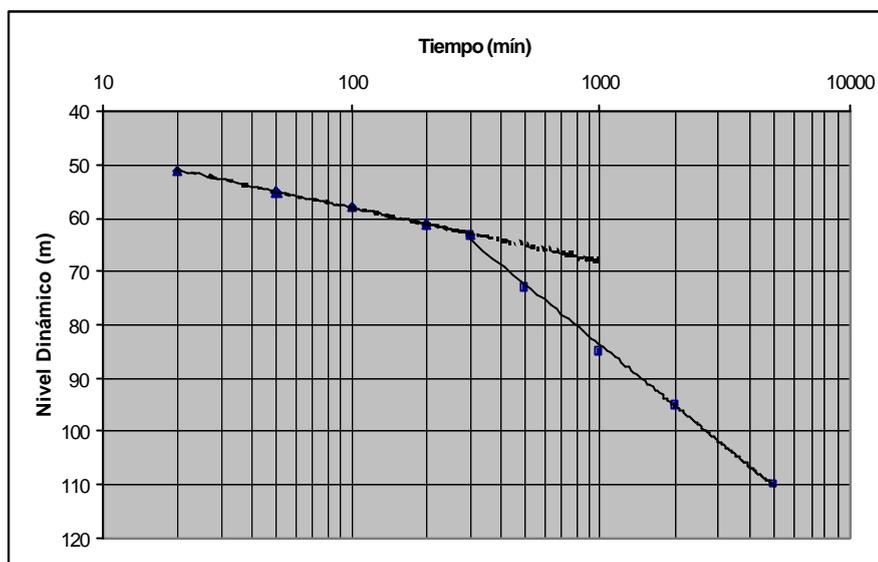
Las siguientes son las situaciones que se nos pueden presentar:



Caso 1.- En este caso, el cono de depresión no alcanza una frontera o borde permeable, con una fuente de recarga que iguale el caudal constante bombeado. Esto significa que estrictamente, los niveles siempre descenderán. La Dirección General de Aguas, solicita en este caso que el caudal bombeado sea tal que, en los últimos 180 minutos de bombeo la variación de niveles sea imperceptible.



Caso 2.- En este caso, el cono de depresión alcanza una frontera o borde permeable, con una fuente de recarga que iguale el caudal constante bombeado. Esto significa que los niveles se estabilizarán.



Caso 3- En este caso, el cono de depresión alcanza una frontera o borde impermeable, que no aporta agua. Esto significa que estrictamente, los niveles siempre descenderán, y además desde cierto tiempo en adelante, la velocidad de descenso de los niveles aumenta. Al igual que en la situación anterior, la Dirección General de Aguas, solicita en este caso que el caudal bombeado sea tal que, en los últimos 180 minutos de bombeo la variación de niveles sea imperceptible.

VI.2 Demanda aguas subterráneas acuíferos de la VIª Región.

Analizando las peticiones presentadas en la regiones involucradas en este estudio (Vª, RM, VIª y VIIª), se determinó que la demanda de derechos de aprovechamiento al 31 de Marzo de 2003 para cada sector definido es la siguiente:

Tabla N° 4. Demanda sectores acuíferos de la VIª Región.

SECTOR	DEMANDA DERECHOS DE APROV. (l/s)	N° de POZOS	N° de EXP
SECTOR ALTOS DE RAPEL	0	0	0
RIO RAPEL BAJO JUNTA ESTERO EL ROSARIO	21,50	2	2
ESTERO EL ROSARIO	43,83	23	8
RIO RAPEL ANTES JUNTA ESTERO EL ROSARIO	217,00	2	2
ESTERO ALHUE	3452,00	113	60
RIO CACHAPOAL	14904,38	428	345
ESTERO NAVIDAD	0	0	0
SECTOR CALETA MATANZAS	0	0	0
ESTERO PUPUYA	0	0	0
SECTOR POLCURA	0	0	0
SECTOR PUNTA TUMAN	0	0	0
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO HIDANGO	15,00	2	1
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR CALETA TOPOCALMA	0	0	0
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO TOPOCALMA	44,00	4	4
SECTOR LAS QUEBRADAS	0	0	0
ESTERO SAN MIGUEL	84	1	1
RIO TINGUIRIRICA	14942,90	352	286
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR ESTERO SAN ANTONIO	117	5	4
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR PICHILEMU	0	0	0
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR QUEBRADA HONDA	0	0	0
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR LAGUNA CAHUIL	67	2	2
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR NILAHUE BAJO	200	2	1
ESTERO NILAHUE	1639,70	65	48
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR ESTERO QUILLAY	17	1	1
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR LAGUNA BUCALEMU	0	0	0
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR ESTERO PAREDONES	0	0	0
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR LAGUNA BOYERUCA	0	0	0
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR	0	0	0

ESTERO SAN PEDRO			
Total	35765,31	1002	765

En Anexo se presenta el levantamiento de solicitudes de aguas subterráneas, correspondientes al área de estudio, ingresadas a la Dirección General de Aguas que se encuentran constituidas, en trámite y aquellas que pueden ser regularizadas a través del Art. 2° Transitorio. del Código de Aguas hasta el 31 de marzo de 2003. No se incluyen en estos listados las solicitudes que han sido denegadas.

VI.3 Explotación previsible en los acuíferos

A continuación se hace un análisis de la explotación previsible en los acuíferos de la VI Región, de acuerdo a los derechos solicitados en ellos y a los usos susceptibles de ser regularizados.

El análisis antes indicado, se realiza considerando que, para una actividad cualquiera, como por ejemplo la actividad agrícola, los pozos se utilizan algunos meses en el año y difícilmente se explotan por más de 8 horas diarias, debido a los requerimientos hídricos del cultivo o plantación; inclusive, en algunos casos las aguas subterráneas se emplean como complemento de recursos superficiales solamente en períodos de déficit y como suplemento al riego superficial. Este mismo análisis puede hacerse a cualquier otra actividad económica que utilice agua entre sus procesos productivos, incluyendo el uso doméstico el cual presenta demandas variables a lo largo del año.

De acuerdo a lo anterior, se puede adoptar un coeficiente de explotación que refleja la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hace que las captaciones sean empleadas sólo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sea sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento.

La explotación previsible en el largo plazo de los derechos, permite determinar el nivel de extracción del agua y comparar directamente este caudal con el caudal sustentable de explotar en el largo plazo.

La hipótesis es que la captación de aguas subterráneas se usará según la naturaleza del peticionario original (Empresa Sanitaria → Agua Potable (AP), Empresa Minera → Minería (M), Agricultor → Riego (R); etc). Según la naturaleza del peticionario original

existen coeficientes técnicos, dados por los estudios específicos, información proveniente de organismos técnicos, o la experiencia práctica, que da cuenta de la explotación previsible en el largo plazo de los derechos y usos en el acuífero.

Para este estudio los coeficientes de explotación, determinados por tipo de actividad son los siguientes:

TIPO USO	FACTOR
<i>Agua Potable Ciudades</i>	<i>0,75</i>
<i>Agua Potable Balnearios</i>	<i>0,30</i>
<i>Riego</i>	<i>0,20</i>
<i>Industrial</i>	<i>0,30</i>
<i>Minero</i>	<i>0,75</i>

Los coeficientes antes enunciados han sido determinados considerando la información recolectada de encuestas a usuarios a través de catastros, registros de extracción, información de la SISS y de diversos estudios realizados sobre la materia.

VI.4 Caudales Sustentables de Explotar en los acuíferos de la VIª Región.

Basado en los resultados obtenidos a través de las metodologías antes señaladas (Tabla N°3) para unidades permeables de la VIª Región, se tiene el caudal sustentable de explotación, por otra parte, de acuerdo con lo expuesto en el punto IV.3, es posible determinar el uso previsible en los acuíferos. Cabe señalar que estos resultados corresponden a los caudales estimados como recarga media anual para cada sector, y su comparación con la demanda al 31 de marzo del año 2003.

La evaluación efectuada mediante la determinación de la recarga media anual para los acuíferos de la VIª Región, ha permitido determinar los valores medios de caudal de extracción sustentable por sectores. La siguiente tabla resume los valores de dicho caudal sustentable, además de mostrar la explotación prevista en los acuíferos según derechos para cada sector acuífero.

Tabla N° 5. Cuadro comparativo de caudal Sustentable y explotación previsible según derechos.

SECTOR	CAUDAL SUSTENTABLE (l/s)	EXPLOTACIÓN PREVISIBLE EN EL ACUÍFERO SEGÚN DERECHOS (l/s) (AL 31 DE MARZO 03)
SECTOR ALTOS DE RAPEL	4,5	0
RIO RAPEL BAJO JUNTA ESTERO EL ROSARIO	80,5	16,13
ESTERO EL ROSARIO	101,0	9,76
RIO RAPEL ANTES JUNTA ESTERO EL ROSARIO	182,1	65,10
ESTERO ALHUE	544,0	748,9
RIO CACHAPOAL	2089,0	4902,31
ESTERO NAVIDAD	39,9	0
SECTOR CALETA MATANZAS	7,8	0
ESTERO PUPUYA	42,8	0
SECTOR POLCURA	25,0	0
SECTOR PUNTA TUMAN	8,8	0
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO HIDANGO	99,7	3
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR CALETA TOPOCALMA	18,2	0
SECTOR TOPOCALMA SUBSECTOR ESTERO TOPOCALMA	336,4	11,22
SECTOR LAS QUEBRADAS	120,9	0
ESTERO SAN MIGUEL	36,4	16,80
RIO TINGUIRICA	2961,0	3537,09
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR ESTERO SAN ANTONIO	52,8	23,40
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR PICHILEMU	4,6	0
SECTOR SAN ANTONIO SUBSECTOR QUEBRADA HONDA	46,6	0
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR LAGUNA CAHUIL	47,5	13,36
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR NILAHUE BAJO	78,0	150,00
ESTERO NILAHUE	263,0	335,09
SECTOR NILAHUE SUBSECTOR ESTERO	52,1	12,69

QUILLAY		
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR LAGUNA BUCALEMU	44,9	0
SECTOR PAREDONES SUBSECTOR ESTERO PAREDONES	102,8	0
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR LAGUNA BOYERUCA	35,7	0
SECTOR SAN PEDRO SUBSECTOR ESTERO SAN PEDRO	199,9	0
Total	7626,1	8944,85

VII CONCLUSIONES

1. Se determinó la recarga media anual de cada uno de los sectores correspondientes a las unidades permeables utilizando las relaciones área-precipitación
2. Los resultados obtenidos mediante la determinación de la recarga media anual, para la VI Región (comparte acuíferos con la V^a, VII^a y RM), ha permitido determinar los valores medios del caudal de extracción sustentable de aguas subterráneas por sectores acuíferos, los que contrastados con la explotación previsible en los acuíferos, de acuerdo a los derechos solicitados y a los usos susceptibles de ser regularizados, permiten concluir que:
 - a) En los siguientes sectores acuíferos el caudal de extracción sustentable, es mayor que la explotación previsible en el acuífero:
 - i) **Sector Altos de Rapel**
 - ii) **Río Rapel bajo junta estero el Rosario**
 - iii) **Esteros El Rosario**
 - iv) **Río Rapel antes junta estero el Rosario**
 - v) **Esteros Navidad**
 - vi) **Sector Caleta Matanzas**
 - vii) **Esteros Pupuya**
 - viii) **Sector Polcura**
 - ix) **Sector Punta Tumán**
 - x) **Sector Topocalma subsector estero Hidango**
 - xi) **Sector Topocalma subsector Caleta Topocalma**
 - xii) **Sector Topocalma subsector estero Topocalma**
 - xiii) **Sector las Quebradas**
 - xiv) **Esteros San Miguel**
 - xv) **Sector San Antonio subsector Esteros San Antonio**

- xvi) Sector San Antonio subsector Pichilemu**
- xvii) Sector San Antonio subsector Quebrada Honda**
- xviii) Sector Nilahue subsector Laguna de Cahuil**
- xix) Sector Nilahue subsector Estero Quillay**
- xx) Sector Paredones subsector Laguna Bucalemu**
- xxi) Sector Paredones subsector Estero Paredones**
- xxii) Sector San Pedro subsector Laguna Boyeruca**
- xxiii) Sector San Pedro subsector Estero San Pedro**

b) En los siguientes sectores acuíferos se determinó que, el caudal de extracción sustentable de aguas subterráneas, es insuficiente para satisfacer la explotación previsible de los acuíferos, de acuerdo a los derechos solicitados y usos susceptibles de ser regularizados.

- i. Sector Estero Alhue**
- ii. Sector Río Cachapoal**
- iii. Sector Río Tinguiririca**
- iv. Sector Nilahue subsector Nilahue bajo**
- v. Sector Estero Nilahue**

De acuerdo a lo anterior existe riesgo de un descenso generalizado de los niveles estáticos en el largo plazo en dichos sectores acuíferos, que afecta la capacidad productiva de los mismos. Para estos sectores corresponde la dictación de Área de Restricción en la medida que sean solicitadas.

VIII BIBLIOGRAFIA

1. COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección, 2003.
2. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Mapa de Vulnerabilidad de los acuíferos de la VI Región. 2002
3. DIRECCION GENERAL DE AGUA, Ministerio de Obras Públicas, 1987. Balance Hídrico de Chile.
3. DIRECCION GENERAL DE AGUA, Ministerio de Obras Públicas, 1986. Estudio del mapa Hidrogeológico Nacional.
4. GOBIERNO REGIONAL VIª REGION, DIRECCION GENERAL DE AGUAS. Diagnóstico Potencial Hídrico Acuíferos Costeros Provincia Cardenal Caro, VIª Región.
5. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA y MINERIA. Carta Hidrogeológica de Chile Hoja N°1 Rancagua, escala 1:250.000.
6. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA y MINERIA. Mapa Geológico del Area de San Antonio Melipilla escala 1:100.000.
7. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERIA. Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000

IX TABLAS

1. Precipitación media anual para 1950/51 – 1996/97, Parte Costera.
2. Area y precipitaciones en cada sector acuífero de la VIª Región.
3. Cuantificación de la recarga media anual (l/s).
4. Demanda sectores acuíferos de la VIª Región.
5. Cuadro comparativo de caudal sustentable y explotación previsible según derechos

ANEXO