

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, CHILE
INSTITUTO FEDERAL DE GEOCIENCIAS Y RECURSOS NATURALES, ALEMANIA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL VALLE DEL RIO COPIAPO, SEGMENTO EMBALSE LAUTARO - PIEDRA COLGADA, REGION DE ATACAMA

Igor Aguirre A.
Arturo Hauser Y.
Beate Schwerdtfeger



INFORME REGISTRADO IR-99-17

SUBDIRECCION NACIONAL DE GEOLOGIA

1999

RESUMEN

El estudio hidrogeológico realizado en el marco del "Proyecto Ambiental Geológico - Minero", cuyo objetivo, en este caso fue definido como el "Fortalecimiento Institucional del Servicio Nacional de Geología y Minería, en el área de Medio Ambiente y Geología Ambiental", se centró en un segmento de 100 km a lo largo del valle del río Copiapó, entre el Tranque Lautaro y el sector de Piedra Colgada (III Región). Compromete una zona donde durante los últimos 15 años se ha registrado un notable incremento en las actividades mineras y agrícolas que se refleja en un activo crecimiento poblacional. Ello ha derivado en el consiguiente incremento en las demandas del recurso hídrico subterráneo y superficial.

Para ello se caracterizaron las unidades geológicas que conforman tanto el relleno sedimentario del valle como su basamento rocoso impermeable, las que se clasificaron según sus potencialidades para experimentar recarga, almacenar y transmitir agua. Sus propiedades hidrogeológicas se deducen a partir de un catastro de pozos ya existente y mejorado para los objetivos de esta tesis. Se presenta y discute el comportamiento de los niveles estáticos y los caudales de explotación de los acuíferos. El estudio contempla una interpretación de antecedentes geofísicos (SEV y gravimetría) a objeto de mejorar el conocimiento respecto del volumen y geometría acuífera y estimar los volúmenes de agua existentes. Mediante una serie de análisis químicos, isotópicos y conceptos hidrogeológicos, se determinan los tipos, calidad química, origen, evolución y procesos de mezcla que presentan las aguas subterráneas.

El mayor potencial hidrogeológico corresponde a secuencias sedimentarias no consolidadas y vinculadas con potenciales fuentes de recarga. Están conformados por alternancias de ripios, gravas, arenas, limos y arcillas, genéticamente asociados a actividad cuaternaria de los cursos antecesores al río Copiapó o intermitentes episodios aluviales; pozos construidos en estas unidades generan caudales específicos que en promedio fluctúan entre 10 y 20 l/s/m. La gran capacidad de almacenamiento que alcanzan tanto las aguas subterráneas como las de escorrentía superficial que a ellos acceden, es su característica fundamental. Predominan valores de transmisibilidad del orden de 1.000 hasta extremos de 20.000 m³/día/m, con permeabilidades medias en el rango de 10⁻⁷-10⁻³ m/s; para ellos se estima una porosidad efectiva igual a un 10% como valor medio. El espesor que alcanzan estas secuencias, según sondajes mecánicos, es de hasta 180 m., los que interpretados como resultado de las mediciones geofísicas, comprenden valores del orden de 100 a 200 m., hasta más de 250-300 m., en torno a eventuales "cubetas tectónicas" situadas en grandes zonas de falla y/o fractura. El volumen embalsado para el segmento estudiado, asumiendo un almacenamiento medio de un 10% y espesores saturados variables entre 105-155 m, es de 2.586 Mm³. Sin embargo, si se considera la profundidad media de los pozos (65m), el volumen de agua efectivamente disponible es de 1.220 Mm³.

Las aguas subterráneas son predominantemente SO₄-Ca, de pH ligeramente básico a neutro. En general, y en el sentido de escurrimiento, exhiben un aumento gradual en sus concentraciones de sólidos disueltos. Entre las cabeceras del valle y Nantoco son dulces y relativamente duras a duras. Entre Nantoco y Copiapó las aguas subterráneas son dulces y salobres. Entre Paipote y San Pedro son salobres y muy duras. Superan las normas de calidad de agua potable en: SO₄ en todo el valle, en TSD desde Nantoco a San Pedro, regularmente en Cl desde Copiapó a Piedra Colgada, puntualmente en Fe desde el Embalse Lautaro a San Pedro, e individualmente en Mn y Mg. Las aguas superficiales presentan un comportamiento similar. Ya sea por repentinas lluvias ácidas o por eventuales accidentes antropogénicos los acuíferos subsuperficiales son sensibles a contaminación por As, Fe, Cu y Hg.

El origen de las aguas del valle del río Copiapó, esta relacionada con: los deshielos de los glaciares Los Helados, Marancel y Cerro del Potro en la alta cordillera, cauces de los ríos

tributarios, cauces efímeros generados por lluvias esporádicas, aguas subterráneas fuertemente mineralizadas provenientes de quebradas que tributan al río Copiapó, aguas subterráneas radicadas en acuíferos rocosos recargados por precipitaciones pasadas, algunas con extensa circulación posiblemente a partir del Altiplano o de grandes profundidades. Estimaciones basadas en las velocidades de flujo, señalan que los tiempos de residencia máximos que alcanzan la mayor parte de las aguas subterráneas radicadas en acuíferos ubicados hacia aguas abajo de Paipote son del orden de 100-200 años.

Según informaciones recopiladas para el año 1995, se concluye, que la demanda total de agua subterránea en el segmento estudiado alcanzó un total de 109,47 Mm³/año; 64,65 Mm³/año corresponden a uso en riego, 27,41 Mm³/año a uso minero y 17,41 Mm³/año a uso potable. Se destaca que el tramo comprometido con la mayor extracción de aguas subterráneas es el comprendido entre Mal Paso y Copiapó. Suponiendo que todos los pozos en uso al año 1995 utilizaran la totalidad de sus derechos de agua, el posible caudal de explotación sería igual a 362,72 Mm³/año. Adicionalmente, asumiendo una eventual explotación de los derechos sin uso, el caudal explotado totalizaría 476 Mm³/año.

Descensos registrados por la DGA en los niveles estáticos entre los años 1988 y 1997, indican que los sectores más sensibles a registrar niveles de descarga mayores que su recarga son: La Puerta - Pabellón (4,5 m/año), Nantoco - San Fernando (2,5 m/año) y Bodega - Chamonate (1,0 m/año). Considerando un coeficiente de almacenamiento de un 10%, los desembalses efectivos para cada uno de los tramos mencionados anteriormente son: 9, 13 y 5,8 Mm³/año (DGA, 1995), respectivamente. Con ello, el acuífero principal sería capaz de entregar recursos de su almacenamiento por un total de 28 Mm³/año. En la medida en que los señalados niveles de descenso se prolonguen hipotéticamente e indefinidamente, el acuífero radicado entre el Embalse Lautaro y Piedra Colgada, eventualmente podría desembalsar el agua subterránea disponible (1.220 Mm³) al cabo de 44 años.

Ascensos de aguas subterráneas están relacionados con la presencia de vertientes fluviales y/o zonas de vegas reconocidas en los sectores de Los Loros, Nantoco, La Chimba y Piedra Colgada. En este orden y según los modelos de flujo establecidos por DGA, (1987b), los caudales de salida de estas vertientes serían de 1.300, 75, 25-200 y 50-90 l/s, respectivamente. La causa de estos ascensos se relaciona con sectores en los cuales existen permeabilidades bajas en secuencias con predominio de arenas, limos y arcillas y/o con zonas en donde el perfil del basamento rocoso impermeable sufre fuertes disminuciones en su profundidad.

Considerando que en el futuro, el recurso hídrico subterráneo, deberá satisfacer las crecientes demandas para diverso destino, resulta oportuno imponer un compromiso de gestión en toda la hoya del río Copiapó, tanto más cuanto que los mecanismos de recarga se vinculan a irregulares ciclos pluviales. Para estos fines, es posible asumir dos escenarios: a) demandas de aguas (sin restricciones) y b) uso (conservador) del agua. La primera, supone continuar con los actuales niveles de extracción, excluyendo metodologías de optimización. Así, se asume que la red de distribución urbana no presenta pérdidas, que es posible regar con agua potable; que el reciclado de las aguas en la minería no ofrece mayores ventajas y que no se puede reducir el consumo de los parronales. Con ello, eventuales aumentos en la demanda del recurso, deberán ser satisfechos, con cargo a mayores costos: extracciones a partir de pozos muy profundos; reciclado y tratamientos de aguas. Esta situación adquiere relevancia en el segmento Embalse Lautaro - La Chimba. El uso conservador del recurso, supone que éste debería ser objeto de un riguroso programa de gestión, destinado a minimizar eventuales pérdidas y/o usos inadecuados. Su aplicación resultaría particularmente atractiva en el segmento La Chimba - Piedra Colgada, donde los procesos de evaporación y/o evapotranspiración cobran particular importancia. En él, un importante volumen de las actuales descargas o pérdidas, podrían disminuir al intensificar las extracciones de agua subterránea.

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL VALLE DEL RIO COPIAPO, SEGMENTO
EMBALSE LAUTARO - PIEDRA COLGADA, REGION DE ATACAMA**

Informe Registrado IR-99-17. Inscripción 112238

@ Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.

Director Nacional: Ricardo Troncoso S.M.

Subdirector Nacional de Geología: Constantino Mpodozis M.

Edición: Este informe no ha sido editado en conformidad con estándares y/o nomenclaturas de la Subdirección Nacional de Geología del SERNAGEOMIN

Referencia bibliográfica

Aguirre, I.; Hauser, A.; Schwerdtfeger, B. 1999. Estudio hidrogeológico del valle del río Copiapó, segmento Embalse Lautaro - Piedra Colgada, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile)*, Informe Registrado IR-99-17, 186 p., 2 mapas escala 1:50.000. Santiago.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. CONSIDERACIONES GENERALES	1
1.2. ZONA DE TRABAJO	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. METODO DE TRABAJO	4
1.5. ANTECEDENTES	5
1.6. LIMITACIONES	6
2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	7
2.1. UNIDADES NATURALES Y SUS CARACTERISTICAS	7
2.2. RASGOS CLIMATICOS	9
2.3. HIDROLOGIA	10
2.3.1. PRECIPITACIONES	10
2.3.1.1. Variación estacional de la precipitación	11
2.3.1.2. Precipitaciones máximas en 24 horas	13
2.3.1. ESCORRENTIA SUPERFICIAL	14
2.4. FLORA Y FAUNA	19
3. GEOLOGIA	20
3.1. MARCO GEOLOGICO - ESTRUCTURAL	20
3.1.1. GEOLOGIA DE LA REGION DE ATACAMA	20
3.1.2. GEOLOGIA DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE EL EMBALSE LAUTARO Y PIEDRA COLGADA	22
3.1.3. ESTRUCTURAS PRINCIPALES	26
3.2. DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS	27
3.2.1. Depósitos de dunas (Qd(a)) y paleodunas (Qd(b))	27
3.2.2. Depósitos fluviales de cauces actuales (Qfca)	30
3.2.3. Depósitos lacustres y fluviolacustres (Qfl)	33
3.2.4. Depósitos de conos de deyección (Qcd)	38
3.2.5. Depósitos de conos aluviales (Qca)	40
3.2.6. Depósitos fluvioaluviales (Qfa)	44

3.2.7.	Depósitos fluviales (Qf)	48
3.2.8.	Depósitos de flujos de barro y detritos (Qfbd)	51
3.2.9.	Depósitos de flujos aluviales antiguos (TQfaa)	54
3.2.10.	Depósitos fluviales a fluvioaluviales de terrazas antiguas (TQfta)	56

4. GEOFISICA 61

4.1.	IINTRODUCCION	61
4.1.1.	GENERALIDADES	61
4.1.2.	ESTUDIOS ANTERIORES	61
4.1.3.	ESPEJOR DEL RELLENO SEDIMENTARIO	63
4.1.4.	METODOLOGIA	63
4.2.	SONDAJES ELECTRICOS VERTICALES (SEV)	64
4.1.1.	RESISTIVIDAD DEL BASAMENTO ROCOSO IMPERMEABLE	64
4.2.2.	RESULTADOS	65
4.2.2.1.	Embalse Lautaro - Elisa de Bordos	66
4.2.2.2.	Elisa de Bordos - Paipote	67
4.2.2.3.	Paipote - Piedra Colgada	67
4.3.	GRAVIMETRIA	70
4.4.1.	INTRODUCCION	70
4.4.2.	RESULTADOS	70

5. HIDROQUIMICA 75

5.1.	INTRODUCCION	75
5.1.1.	GENERALIDADES Y OBJETIVOS	75
5.1.2.	ESTUDIOS ANTERIORES	75
5.1.3.	MUESTREO Y METODOLOGIA ANALITICA	76
5.1.4.	NORMAS PARA DETERMINAR CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA EN CHILE	78
5.2.	COMPOSICION QUIMICA	79
5.2.1.	FACIES HIDROQUIMICAS	80
5.2.2.	DISTRIBUCION, REQUISITOS QUIMICOS Y ORIGEN DE LOS PRINCIPALES IONES Y SUSTANCIAS	83
5.3.	CALIDAD DE LAS AGUAS	99
5.3.1.	USO POTABLE, DOMESTICO Y CONSUMO PARA GANADO	99
5.3.2.	USO AGRICOLA	100
5.3.3.	USO INDUSTRIAL	102
5.4.	DISCUSION	103

6.	ISOTOPIA	106
6.1.	INTRODUCCION	106
6.1.1.	GENERALIDADES	106
6.1.2.	ISOTOPOS	106
6.1.3.	ESTUDIOS ISOTOPICOS EN CHILE	106
6.1.3.1.	Fuentes de recarga del agua subterránea	107
6.1.3.2.	Aguas superficiales y subterráneas	108
6.1.4.	METODOLOGIA	109
6.2.	EVALUACION DE LOS DATOS DE ISOTOPOS ESTABLES	111
6.2.1.	Muestra de nieve	112
6.2.2.	Muestras de agua superficial	113
6.2.3.	Muestras de acuíferos en basamento rocoso	115
6.2.4.	Muestras de agua subterránea	116
6.3.	EVALUACION DE LOS DATOS DE TRITIO	117
6.4.	INTERACCION AGUA SUPERFICIAL V/S AGUA SUBTERRANEA	118

7.	HIDROGEOLOGIA	119
7.1.	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	119
7.1.1.	ACUIFEROS DE GRAN IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS	120
7.1.1.1.	Depósitos fluviales (Qf)	120
7.1.1.2.	Depósitos fluviales de cauces actuales (Qfca)	123
7.1.1.3.	Depósitos fluvioacustres (Qfl)	125
7.1.2.	ACUIFEROS DE IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA MEDIA A BAJA EN DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS	126
7.1.2.1.	Depósitos fluvioaluviales (Qfa)	126
7.1.2.2.	Depósitos de conos aluviales (Qca)	127
7.1.3.	ACUIFEROS LOCALES DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN ROCA FISURADA	128
7.1.3.1.	Formación La Ternera (TRIt)	128
7.1.4.	ACUIFEROS LOCALES DE BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS A SEMICONSOLIDADOS	129
7.1.4.1.	Depósitos de dunas (Qd(a)) y paleodunas (Qd(b))	129
7.1.4.2.	Depósitos de conos de deyección (Qcd)	130
7.1.4.3.	Depósitos de flujos de barro y/o detritos (Qfbd)	130
7.1.4.4.	Depósitos fluviales a fluvioaluviales antiguos (TQfta)	131
7.1.4.5.	Depósitos de flujos aluviales antiguos (TQfaa)	131

7.1.3.	ACUIFEROS LOCALES DE BAJA A NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA EN ROCAS	132
7.1.3.1.	Basamento rocoso indiferenciado (Bri)	132
7.2.	HIDROGEOLOGIA CUANTITATIVA	133
7.2.1.	CONSTANTES HIDRAULICAS	133
7.2.1.1.	Coeficientes de Transmisibilidad	133
7.2.1.2.	Coeficiente de Almacenamiento	134
7.2.1.3.	Porosidad	134
7.2.1.4.	Permeabilidad	135
7.2.1.5.	Tiempo de residencia de las aguas	136
7.2.2.	MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA	137
7.2.3.	VERTIENTES	138
7.2.3.1.	Vertientes fluviales	138
7.2.3.2.	Vertientes y efluentes en Bri	139
7.2.4.	MARCO ESTRUCTURAL Y POTENCIAL HIDROGEOLOGICO	139
7.2.5.	RECARGA DE ACUIFEROS	142
7.2.6.	CATASTRO DE POZOS	143
7.2.7.	NIVELES ESTATICOS Y VOLUMENES DE AGUA	148
7.2.6.1.	Comportamiento del nivel estático	148
7.2.6.2.	Variación del almacenamiento (volúmenes desembalsados)	150
7.2.6.3.	Volumen existente y volumen disponible	154
7.2.8.	BALANCE HIDROGEOLOGICO	155
7.2.8.1.	Discusión del balance	157

8. VULNERABILIDAD 159

8.1	METODOLOGIA	159
8.2	DETERMINACION DE LOS FACTORES	159

9. CONCLUSIONES 165

10. RECOMENDACIONES 174

11. REFERENCIAS 180

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación de la zona de estudio	3
Figura 2.1	Espacios naturales	8
Figura 2.2	Ubicación de las estaciones pluviométricas	12
Figura 2.3	Ubicación de las estaciones fluviométricas	15
Figura 2.4	Caudales medios mensuales de los tributarios al río Copiapó	16
Figura 2.5	Caudales medios mensuales, río Copiapó en Pastillo y sumatoria de los caudales tributarios	16
Figura 2.6	Caudal medio mensual de la estación río Copiapó en La Puerta	17
Figura 3.1.	Mapa geológico simplificado de la región de Atacama	21
Figura 3.2	Geología simplificada de las Hojas Copiapó y Los Loros	23
Figura 3.3.	Esquema geotectónico para la región de Copiapó durante el Jurásico inferior - Cretácico superior.	25
Figura 3.4.	Esquema paleogeográfico de la Cuenca Hornito y los Campos de Calderas asociados	26
Figura 4.1	Profundidad del basamento impermeable a partir de los modelos obtenidos por Geoexploraciones	62
Figura 4.2	Perfil geoelectrico generalizado del basamento rocoso y su potencial acuifero	69
Figura 4.3	Perfil gravimétrico transversal N°1, sector Hornito	71
Figura 4.4	Perfil gravimétrico transversal N°2, sector Hornito - Elisa de Bordos	72
Figura 4.5	Perfil gravimétrico transversal N°3, sector Elisa de Bordos	72
Figura 4.6	Perfil gravimétrico longitudinal segmento Hornito - Elisa de Bordos	73
Figura 5.1	Toma de muestras y metodología analítica	77
Figura 5.2	Clasificación de las aguas subterráneas del valle del río Copiapó y sus tributarios	81
Figura 5.3	Clasificación de las aguas superficiales, presentes en el valle del río Copiapó, sus tributarios y en el basamento rocoso indiferenciado.	82
Figura 5.4	Distribución del Sulfato en las aguas del valle del río Copiapó	84
Figura 5.5	Distribución del Cloruro en las aguas del valle del río Copiapó	86
Figura 5.6	Distribución del Calcio en las aguas del valle del río Copiapó	87
Figura 5.7	Distribución del Sodio en las aguas del valle del río Copiapó	88
Figura 5.8	Distribución del Magnesio en las aguas del valle del río Copiapó	89
Figura 5.9	Distribución del Boro en las aguas del valle del río Copiapó	90
Figura 5.10	Distribución del Hierro en las aguas del valle del río Copiapó	92
Figura 5.11	Distribución del Manganeseo en las aguas del valle del río Copiapó	93
Figura 5.12	Distribución del TSD en las aguas del valle del río Copiapó	94
Figura 5.13	Distribución de la Dureza en las aguas valle del río Copiapó	95
Figura 5.14	Distribución del pH en las aguas del valle del río Copiapó	96
Figura 5.15	Distribución de Temperatura en las aguas del valle del río Copiapó	97
Figura 5.16	Distribución del Arsénico en las aguas del valle del río Copiapó	98
Figura 5.17	Distribución del Plomo en las aguas del valle del río Copiapó	98
Figura 5.18	Distribución del Nitrato en las aguas del valle del río Copiapó	99
Figura 5.19	Clasificación de las aguas para riego en el valle del río Copiapó	101
Figura 6.1	Procesos más comunes que controlan o intervienen la composición isotópica de las aguas meteóricas	107
Figura 6.2	Efecto de la altitud en la Pampa del Tamarugal	109
Figura 6.3	Ubicación de las muestras con análisis isotópico	110

Figura 6.4	$\delta^2\text{H}$ v/s $\delta^{18}\text{O}$ para las muestras de agua	112
Figura 6.5	Variación de los valores $\delta^{18}\text{O}$ con la altitud	113
Figura 6.6	$\delta^{18}\text{O}$ v/s TSD	114
Figura 6.7	Temperatura v/s $\delta^{18}\text{O}$	115
Figura 6.8	$\delta^{18}\text{O}$ v/s distancia a lo largo del valle del río Copiapó	117
Figura 7.1	Habilitación multiacuífera en depósitos fluviales	121
Figura 7.2	Mosaico con la denominación de pozos	144
Figura 7.3	Suma de los caudales concedidos y en trámite según derechos	146
Figura 7.4	Número de pozos construidos a lo largo del tiempo	147
Figura 7.5	Uso de los pozos del valle del río Copiapó	147
Figura 7.6	Ubicación de los pozos de observación	149
Figura 7.7	Fluctuación de niveles estáticos, sector Embalse Lautaro - Los Loros	151
Figura 7.8	Fluctuación de niveles estáticos, sector La Puerta - Pabellón	151
Figura 7.9	Fluctuación de niveles estáticos, sector Cerrillos - Mal Paso	152
Figura 7.10	Fluctuación de niveles estáticos, sector Mal Paso - San Fernando	152
Figura 7.11	Fluctuación de niveles estáticos, sector Bodega - Chamonate	153
Figura 7.12	Fluctuación de niveles estáticos, sector San Pedro	153

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 3.1	Depósitos de dunas activas	28
Fotografía 3.2	Paleodunas o depósitos de dunas inactivas	29
Fotografía 3.3	Depósitos fluviales de cauces actuales	31
Fotografía 3.4	Detalle de los depósitos fluviales de cauces actuales	32
Fotografía 3.5	Meandros del río Copiapó, sector Bodega - Toledo	33
Fotografía 3.6	Morfología de los depósitos lacustres	34
Fotografía 3.7	Granulometría de los depósitos lacustres	35
Fotografía 3.8	Depósitos fluviolacustres	36
Fotografía 3.9	Eflorescencias salinas en depósitos lacustres	37
Fotografía 3.10	Morfológica típica de los depósitos de conos de deyección	39
Fotografía 3.11	Morfología típica de los depósitos de conos aluviales	41
Fotografía 3.12	Vista aérea del valle, sector de Hornitos	42
Fotografía 3.13	Vista aérea del valle en quebrada Paipote	44
Fotografía 3.14	Depósitos fluvioaluviales	45
Fotografía 3.15	Detalle de los depósitos fluvioaluviales	47
Fotografía 3.16	Morfología de los depósitos de flujos de barro y/o detritos	52
Fotografía 3.17	Detalle de los depósitos de flujos de barro y detritos	53
Fotografía 3.18	Morfología de los depósitos de flujos aluviales antiguos	55
Fotografía 3.19	Detalle de los depósitos de flujos aluviales antiguos	56
Fotografía 3.20	Discordancia entre los depósitos fluviales a fluvioaluviales de terrazas antiguas y la formación Cerrillos	57
Fotografía 3.21	Detalle de los depósitos fluvioaluviales de terrazas altas	58
Fotografía 3.22	Detalle de los depósitos fluvioaluviales de terrazas bajas	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Información metereológica de la estación pluviométrica Copiapó - Chamonate	9
Tabla 2.2	Estaciones pluviométricas de la cuenca del río Copiapó	11
Tabla 2.3	Precipitación anual a partir de 1933 hasta 1985 en las estaciones Copiapó - Chamonate, Los Loros y Jorquera	11
Tabla 2.4	Precipitaciones máximas en 24 horas	13
Tabla 2.5	Ubicación y años de registro de estaciones fluviométricas de la cuenca del río Copiapó	14
Tabla 2.6	Caudales promedios anuales del río Copiapó y sus tributarios	18
Tabla 3.1	Sondajes que alcanzan basamento rocoso	49
Tabla 4.1	Valores de resistividad de las unidades geológicas del valle	65
Tabla 5.1	Contenido máximo en mg/l de elementos y/o sustancias para agua potable, de riego y consumo para ganado	78
Tabla 5.2	Resumen de las determinaciones analíticas realizadas en las aguas subterráneas del valle del río Copiapó y de sus tributarios	79
Tabla 5.3	Resumen de las determinaciones analíticas realizadas en las aguas superficiales y en las muestras de acuíferos en roca	80
Tabla 5.4	Coefficientes de correlación para las determinaciones realizadas	80
Tabla 6.1	Determinaciones químicas e isotópicas	111
Tabla 7.1	Profundidad de ranurado para habilitaciones en acuíferos radicados en depósitos fluviales	122
Tabla 7.2	Parámetros hidráulicos medios para los depósitos fluviales	123
Tabla 7.3	Parámetros hidráulicos de los depósitos fluviales de cauces actuales	124
Tabla 7.4	Parámetros hidráulicos para los depósitos lacustres a fluviolacustres	125
Tabla 7.5	Parámetros hidráulicos de los depósitos fluvioaluviales	127
Tabla 7.6	Parámetros hidráulicos de los depósitos de conos aluviales	128
Tabla 7.7	Valores de Transmisibilidad	134
Tabla 7.8	Rango de valores típicos para la porosidad y permeabilidad	136
Tabla 7.9	Cambios en la información de pozos	145
Tabla 7.10	Caudales de extracción posibles según derechos concedidos más derechos en trámite	148
Tabla 7.11	Cálculo de los volúmenes de agua disponibles en el relleno sedimentario del segmento de estudio	154
Tabla 7.12	Demanda actual del agua subterránea	156
Tabla 7.13	Caudales generados en procesos de intercambio río - acuífero	157
Tabla 8.1	Valoración de la pedósfera	160
Tabla 8.2	Valoración de los sedimentos no consolidados	161
Tabla 8.3	Valoración de la recarga	162
Tabla 8.4	Efectividad total de protección y tiempo de residencia aproximado del agua percolada en la capa sobreyacente al acuífero	163
Tabla 8.5	Vulnerabilidad de los acuíferos y tiempo de residencia aproximado del agua percolada en la zona sobreyacente al acuífero	163

ANEXOS

- Anexo 2.1** Temperaturas del período 1971-1978, 1985, 1987 en Copiapó - Chamonate
- Anexo 2.2** Insolación y Nubosidad en Copiapó - Chamonate
- Anexo 2.3** Velocidad del viento y humedad relativa en Copiapó - Chamonate
- Anexo 2.4** Precipitación en Copiapó - Chamonate y Los Loros
- Anexo 2.5** Isolíneas de precipitación, escorrentía y evapotranspiración real
- Anexo 4.1** Valores y correcciones gravimétricas del segmento Hornito - Elisa de Bordos
- Anexo 5.1** Ubicación y determinaciones en terreno para las muestras de aguas tomadas en el valle del río Copiapó
- Anexo 5.2** Análisis químico de todas las muestras de aguas tomadas en el valle del río Copiapó y sus alrededores
- Anexo 7.1** Catastro de pozos, segmento Embalse Lautaro - Piedra Colgada

FIGURAS FUERA DE TEXTO

- Mapa hidrogeológico, segmento Embalse Lautaro - Piedra Colgada
- Mapa de vulnerabilidad, segmento Embalse Lautaro - Piedra Colgada