



**GOBIERNO DE CHILE**  
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO  
SECRETARÍA EJECUTIVA  
DEPARTAMENTO TECNICO

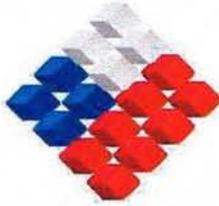
# **ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS DE HUASCO Y MATAQUITO**

**INFORME FINAL**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**FEBRERO 2006**

**GCF INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**  
Ricardo Matte Pérez 0535 - Fono 56 2 209 71 79 - Fax 56 2 209 71 03  
e-mail [gcabrera@entelchile.net](mailto:gcabrera@entelchile.net) Providencia Santiago Chile



**GOBIERNO DE CHILE**  
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO  
SECRETARÍA EJECUTIVA

DEPARTAMENTO TECNICO

# ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS DE HUASCO Y MATAQUITO

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

FEBRERO 2006

**GCF INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**  
Ricardo Matte Pérez 0535 - Fono 56 2 209 7179 · Fax 56 2 209 7103  
e-mail [gcabrera@entelchile.net](mailto:gcabrera@entelchile.net) Providencia Santiago Chile

# ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS DE HUASCO Y MATAQUITO

## PARTICIPANTES

- Por parte de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO:

Nelson Pereira M.	Secretario Ejecutivo
Enrique Mlynarz M.	Jefe del Departamento Técnico
Juan Pablo Schuster V.	Coordinador Unidad Desarrollo Territorial
Gastón Sagrado T.	Ingeniero de Proyectos

- Por parte de la Dirección General de Aguas del MOP:

Ana María Gangas P.	Departamento de Estudios y Planificación de Desarrollo
Mauricio Zambrano B.	Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

- Por parte de la Empresa Consultora GCF Ingenieros Consultores Ltda., participaron los siguientes profesionales:

Guillermo Cabrera F.	Jefe de Proyecto
Félix Pérez S.	Coordinador del Proyecto
Sergio Matus G.	Ingeniero Civil
Patricio Murúa S.	Ingeniero Agrónomo
Iván Rivera R.	Ingeniero Civil
Jorge Guarda A.	Ingeniero Civil
Felipe Orellana M.	Ingeniero Civil
Lorena Bustamante J.	Cartógrafo
Salomón Vielma P.	Cartógrafo
Geodatos	Prospecciones Geofísicas
Hidrolab	Análisis de Calidad

ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
EN LAS CUENCAS DE HUASCO Y MATAQUITO

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE

	Pág
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
2 ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES .....	2
2.1 ANÁLISIS DE LA PROPIEDAD RURAL .....	2
2.1.1 Estratificación de la Propiedad.....	2
2.2 ENCUESTAS.....	2
2.2.1 Cuenca del Río Huasco .....	2
2.2.2 Cuenca del Río Mataquito.....	3
2.3 USO ACTUAL DEL SUELO .....	4
2.3.1 Cuenca del Río Huasco .....	4
2.3.2 Cuenca del Río Mataquito.....	5
2.4 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE POSIBLES CONTAMINANTES .....	7
2.4.1 Actividad Agrícola y Ganadera.....	7
2.4.1.1 Formas de Contaminación .....	7
2.4.1.2 Clasificación de Fertilizantes y su Presencia en las Área de Estudio .....	8
2.4.1.3 Actividad Ganadera y su Presencia en las Área de Estudio .....	8
2.4.1.4 Clasificación de Agroquímicos y su Presencia en las Área de Estudio.....	9
2.4.2 Actividad Industrial.....	10
2.4.2.1 Procesos Productivos Potenciales de Generar RILes .....	10
2.4.2.2 Emisores de RILes.....	11
2.4.2.3 Caracterización de Residuos Líquidos .....	12
2.4.2.4 Diagnóstico de la Situación de Cumplimiento.....	13
3. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO .....	14
4 ANÁLISIS AGRONÓMICO .....	18
4.1 DEMANDAS DE AGUA .....	18
4.1.1 Cuenca Río Huasco.....	18
4.1.2 Cuenca Río Mataquito .....	19
4.2 ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS CON AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	20
5 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	22
6 MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS CUENCAS.....	30
7 ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE CONTAMINACIÓN .....	31
8 PLAN DE MANEJO HIDROGEOLÓGICO .....	34

## 1 INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Riego realizó durante el año 2003 el estudio "Diagnóstico y Análisis de la Calidad del Agua de Riego en Huasco y Mataquito" que contempló encuestas y entrevistas además de campañas de muestreos para determinar los contaminantes asociados a la actividad industrial y agrícola. Como consecuencia de dicho trabajo se determinó la necesidad de analizar el efecto de la contaminación sobre el sistema acuífero de ambas cuencas, principalmente por el bajo conocimiento que se tiene acerca de los impactos a corto y largo plazo que produce la contaminación superficial derivada del sector agrícola e industrial.

De acuerdo con lo anterior dicho organismo (CNR) licitó a fines del año 2004 un estudio sobre la "Calidad del Agua Subterránea en las Cuencas de Huasco y Mataquito" del cual el presente documento corresponde al informe final. El trabajo permitió alcanzar satisfactoriamente los objetivos y alcances que se mencionan a continuación.

### 1.1 Objetivo General

Determinar el estado actual de contaminación de los acuíferos de las cuencas de Huasco y Mataquito producto de la actividad agrícola y otras fuentes, y analizar ante diversos escenarios de desarrollo y explotación, el comportamiento del sistema subterráneo y los efectos generados sobre los pozos existentes, ya sea de riego como de agua potable.

### 1.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del estudio fueron los siguientes:

- Estudiar las actividades potenciales generadoras de contaminación de aguas subterráneas en las cuencas en estudio.
- Estudiar la hidrogeología de las cuencas en estudio.
- Realizar campañas de muestreos de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de Huasco y Mataquito.
- Modelar el acuífero y el comportamiento de los contaminantes en las aguas subterráneas de las cuencas en estudio.
- Estudiar, mediante la modelación, el efecto eventual efecto de contaminación producido sobre el acuífero, y, de ser necesario proponer metodologías de mitigación y manejo sustentable del embalse subterráneo.
- Formular un Plan de Manejo Hidrogeológico de las cuencas.

## 2 ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

### 2.1 Análisis de la Propiedad Rural

#### 2.1.1 Estratificación de la Propiedad

Se efectuó la estratificación de la propiedad agrícola por tamaño según la superficie total y la regada de cada predio. La estratificación adoptada por comuna y para cada cuenca es la siguiente:

**Área Río Huasco III Región**  
Todas las Comunas

<b>Estratificación de la Propiedad</b>
Predios entre 0 y 1,0 ha
Predios entre 1,01 y 10,0 ha
Predios entre 10,01 y 50,0 ha
Predios mayores de 50,0 ha

**Área Río Mataquito VII Región**  
Comunas de Curepto, Hualañe y Licantén

<b>Estratificación de la Propiedad</b>
Predios entre 0 y 5,0 ha
Predios entre 5,01 y 50,0 ha
Predios entre 50,01 y 500,0 ha
Predios mayores de 500,0 ha

**Área Río Mataquito VII Región**  
Comunas de Curicó, Molina, Rauco  
Romerol, Sagrada Familia y Teno

<b>Estratificación de la Propiedad</b>
Predios entre 0 y 5,0 ha
Predios entre 5,01 y 50,0 ha
Predios mayores de 50,0 ha

## 2.2 ENCUESTAS

### 2.2.1 Cuenca del Río Huasco

La muestra de predios a ser encuestados se ha diseñado con un porcentaje de cobertura total del 2%.

En la Tabla 2.2.1-1 se presenta la representatividad en cuanto a superficie y número de predios encuestados en la cuenca del río Huasco. Como se aprecia en el cuadro indicado, el porcentaje de cobertura predial alcanza al 2%, en tanto que la superficie encuestada supera el 40%.

Tabla 2.2.1-1  
Representatividad de Muestra Encuestada  
Cuenca Río Huasco

Comuna	Total Comuna		Total Encuestado		Representatividad % de encuestado	
	ha	N° Predios	ha	N° Predios	en ha	en N° predios
Alto del Carmen	2.270,55	1.457	197,40	13	8,7	0,9
Vallenar	4.867,70	326	3.147,50	18	64,7	5,5
Freirina	1.469,80	230	288,10	5	19,6	2,2
Huasco	588,20	90	186,30	6	31,7	6,7
<b>Total</b>	<b>9.196,25</b>	<b>2.103</b>	<b>3.819,30</b>	<b>42</b>	<b>41,5</b>	<b>2,0</b>

El proceso de encuesta tuvo una duración total de seis días. Es este período se logró la aplicación de 42 encuestas, con una representatividad del 2% en el número de predios, equivalentes a un total de 2.554,3 ha regadas. Esta superficie alcanza a alrededor del 30% del total de riego de la cuenca.

## 2.2.2 Cuenca del Río Mataquito

La muestra de predios a ser encuestados se ha diseñado con un porcentaje de cobertura total del 2%.

En la Tabla 2.2.2-1 se presenta la representatividad en cuanto a superficie y número de predios encuestados en la cuenca del río Mataquito. Como se aprecia en el cuadro indicado, el porcentaje de cobertura predial alcanza al 2%, en tanto que la superficie encuestada supera el 10%.

Tabla 2.2.2-1  
Representatividad de Muestra Encuestada  
Cuenca Río Mataquito

Comuna	Total Comuna		Total Encuestado		Representatividad % de encuestado	
	ha	N° Predios	ha	N° Predios	en ha	en N° predios
Curepto	1.348,00	206	771,00	4	57,2	1,9
Hualañe	2.672,94	256	1.081,50	4	40,5	1,6
Licantén	1.201,78	123	1.151,60	4	95,8	3,3
Curicó	19.378,65	1.724	1.435,60	34	7,4	2,0
Molina	17.797,80	1.276	1.455,30	28	8,2	2,2
Rauco	4.732,32	442	239,40	8	5,1	1,8
Romeral	9.154,57	696	517,40	15	5,7	2,2
Sagrada Familia	10.862,81	844	1.245,00	18	11,5	2,1
Teno	19.577,47	1.851	856,60	35	4,4	1,9
<b>Total</b>	<b>86.726,34</b>	<b>7.418</b>	<b>8.753,40</b>	<b>150</b>	<b>10,1</b>	<b>2,0</b>

El proceso de encuesta tuvo una duración total de ocho días. En este período se logró la aplicación de 150 encuestas, con una representatividad del 2% en número

de predios equivalentes a una superficie total de 5.600,7 ha regadas, lo que representa a alrededor del 6,5% de la superficie de riego total de la cuenca.

## **2.3 Uso Actual del Suelo**

El uso del suelo a considerar en la representación de cada subunidad de agrupaciones prediales (por estratos de tamaño) corresponde al patrón de cultivo obtenido de la encuesta muestral. A continuación, se presenta para cada cuenca una descripción general referida al uso actual de sus suelos.

### **2.3.1 Cuenca del Río Huasco**

El valle de Huasco, ubicado en la Tercera Región, involucra las comunas de Vallenar, Freirina y Huasco. Aguas arriba de Vallenar, el Valle es estrecho y confinado por altos cerros. Este sector incluye a los valle interiores de El Tránsito y San Félix. Por el Valle de San Félix (Primera Sección) baja el Río El Carmen, es una zona dedicada a la uva de exportación y, por años, a la producción de pisco.

Se debe señalar la presencia de plantaciones de parronales de uva de mesa de alto nivel tecnológico ubicadas en el valle del estero El Tránsito. Cabe señalar que este valle ha sufrido un gran crecimiento de su superficie de riego y tecnificación de los sistema en los últimos años.

Entretanto, por el Valle del Tránsito (Segunda Sección) baja el Río El Tránsito portando aguas desde la cordillera y las Lagunas Grande y Chica. Es un valle más ancho que el de San Félix y se dan condiciones para la producción de primores. La mayor producción de uva de mesa de la provincia proviene de ese sector.

En cuanto a los parronales de vid pisquera, estos se encuentran regados por surco y con escasa tecnificación, debido esencialmente a los bajos precios que se pagan en la actualidad por este producto.

En tanto en la comuna de Vallenar se concentran los predios de mayor tamaño, alguno de ellos, como la Hacienda Ventanas, con tamaños que superan las 2.000 ha. Parte de esta hacienda en dode además de producirse cítricos, también se cultivan vides de mesa, papas y ganadería bovina, entre otros rubros. Por otra parte, en la hacienda Perales, también de gran tamaño, a diferencia de la hacienda Ventanas, el área regada es bastante inferior, presentando una gran cantidad de excelentes suelos sin posibilidad de ser regados.

Aguas abajo de Vallenar, el Valle se extiende por 50 km hasta el Puerto de Huasco y se caracteriza por sus extensas terrazas de origen fluvial ubicadas en ambos márgenes del río (Cuarta Sección) y el cultivo tradicional de olivos.

Según lo señalado, en las comunas de Huasco y Freirina predomina el cultivo de olivos. En el caso específico de la comuna de Huasco, los olivos son esencialmente árboles de gran edad, sobre suelos con problemas leves a severos de salinidad, con escaso manejo tecnológico y rendimientos.

En cambio, en la comuna de Freirina han aparecido nuevas plantaciones de olivos, esencialmente para aceite, algunos regados en forma tecnificada y con mayores perspectivas de desarrollo que los de la zona costera.

Freirina es una comuna con importante presencia de ganado bovino, por lo cual la existencia de praderas, naturales o artificiales es relevante.

### **2.3.2 Cuenca del Río Mataquito**

La cuenca del río Mataquito, se extiende desde cordillera a mar, en las comunas de Teno, Romeral, Curicó, Molina, Rauco, Sagrada Familia, Hualañé, Curepto y Licantén. Esta área es abastecida, por los ríos Teno, por el norte, y Lontué, por el sur, los cuales se unen al poniente de la ciudad de Curicó, dando origen al río Mataquito. Se debe señalar como afluente de importancia secundaria al estero Curepto, el cual desemboca en el río Mataquito a la altura de la localidad de Lora, en Licantén.

La descripción del uso del suelo se presenta a continuación, desde las localidades costeras hasta la precordillera. Así, en el área costera se observan suelos con severos problemas de drenaje y algunos con pradera natural dedicados a la ganadería. Existen suelos cultivados con garbanzos, lentejas, porotos o papas, además de la presencia de una importante actividad ganadera.

En la parte más alta de la zona se observa una intensificación de las viñas conducidas en cabeza y aparecen algunos invernaderos de tomate, éstos últimos cuentan con el apoyo de INDAP.

En relación al área de Huaquén, comuna de Curepto, la mayor parte es de secano, aunque existen terrenos regados mediante goteo y otros con método tradicional.

En el área de Tonlemo, existen plantaciones de alfalfa regadas, cuya producción es enfardada y vendida en la localidad. Asimismo, se cultivan zapallos, los que posteriormente son almacenados. En las casas se observan distintas especies frutales.

En la localidad de Huaquén, propiamente tal, existe una extensa superficie cultivada con viñedos y regada por goteo, con agua proveniente de elevación mecánica y de pozos. En el mismo sector, se constata una plantación de paltos, cítricos y manzanos, regados por goteo en buenas condiciones.

En el sector de La Pesca, aledaño a la costa, existen pequeños propietarios con ganado y algunas plantaciones de papayos. En este sector la gente se dedica a la pesca y al turismo.

El sector de Lora es ganadero, aunque también explotan rubros como trigo, porotos, papas y tomates, cuya producción es comercializada en Curicó. Los frutales son sólo para autoconsumo.

En el sector de Idahue-Placilla se cultivan hortalizas. También existen parronales de uva vinífera, donde algunos paños revelan problemas de drenaje.

Hacia el interior de Hualañé la agricultura es de riego. Agentes consultados señalan que esta condición se cumple con bombas hasta la localidad de Los Cuervos y con canal riegan hasta Idahue. Indican que los rubros más cultivados son maíz, tabaco, tomate para conserva y pimentón; señalan que remolacha no cultivan por el costo del flete y que las hortalizas no son convenientes por encontrarse alejados de los centros de consumo.

En el área de Peralillo, comuna de Hualañé, comienza con una fuerte presión forestal en cerros y lomajes. Al llegar al valle aparecen viñas de carácter comercial y se aprecian suelos sin habilitar dedicados a ganadería. Además, en ésta misma zona se destaca una plantación de vides viníferas regadas por goteo.

En Sagrada Familia, específicamente en Villa Prat, se observa una agricultura más diversificada, ya que cuentan con agua de riego de la elevación de Culenar. Así, se constatan cultivos de maíz, viñedos, olivos, ají y otras hortalizas; éstas últimas en las casas. Además, se aprecian siembras de trigo y ganado bovino sobre pastos naturales.

En Sagrada Familia se encuentra la lechería más grande de la provincia, ubicada en la Hacienda Requingua, cuya tecnología en la elaboración de productos lácteos, además de vinos de exportación, la tornan un ejemplo para el resto de los agricultores. De igual forma, la hacienda El Cóndor de Peteroa, la más grande en la zona es la principal productora de aceite de oliva del país, a través de su marca premiada en el extranjero y denominada Terramater.

Por otra parte, en Molina es donde se concentra la mayor cantidad de vides viníferas, especialmente por la presencia de la Viña San Pedro, la cual posee alrededor de 2.000 ha de vides en la zona.

De igual forma, la presencia de plantaciones de manzanos en varias de las comunas estudiadas, es una clara señal de que este cultivo sigue siendo uno de los favoritos de los agricultores debido a su estabilidad en cuanto a precios y a lo difundido de su manejo.

En el caso de Curicó la presencia de otros frutales, además de vides viníferas, como manzanos y cerezos también es relevante, teniendo en consideración que en esta comuna es donde se concentra la mayor cantidad de

empresas exportadoras y agroindustrias de la cuenca. En Curicó también se ha detectado la presencia de los únicos dos planteles de cerdos existentes en la zona, ambos ubicados en el camino a Los Niches.

En Curico se encuentra el plantel de cerdos de El Peñón el cual actualmente maneja un total de 22.000 cabezas. Se debe señalar que esta empresa realiza un adecuado manejo de los purines descargando sus aguas completamente limpias a través de los canales de riego existentes en la zona.

Por otra parte, el plantel de Los Castaños, el más grande de la zona, con un total de 30.000 animales. En esta planta al igual que en El Peñón, existe un depósito de purines, donde se prensan y separan los sólidos de los líquidos. Posteriormente, los sólidos se llevan a un sitio de acumulación donde se descomponen y se transforman en un fertilizante orgánico, del cual parte se vende y la otra se utiliza en plantaciones de vides y cerezos que posee esta empresa. En cuanto a los líquidos, estos son utilizados como fuente de riego para un bosque de eucaliptos destinado a evapotranspirar estos residuos.

Por otra parte, en la comuna de Romeral, es donde se concentra la mayor cantidad de plantaciones de cerezos y frambuesas existentes en la zona. En Teno si bien la presencia de frambuesa es importante, adquiere mayor relevancia la actividad ganadera y cerealera, debido esencialmente a la menor calidad de los suelos que componen esta comuna.

En al zona precordillerana de Romeral existe una gran cantidad de terrenos cultivados con empastadas y frambuesas. Ambos cultivos se adaptan perfectamente a estas condiciones más restringidas que en el valle central.

Tal como se indicó anteriormente, la comuna de Teno es la que presenta una mayor cantidad de predios dedicados a la actividad ganadera, esencialmente debido a que la calidad de sus suelos es menor que en el resto de las comunas.

Además, en Teno, se detectó una relevante cantidad de suelos cultivados con remolacha, cultivo que debido a los problemas de competencia con productos importados de similares cualidades, ha disminuido notoriamente su presencia tanto en cantidad como en disminución de los precios pagados a agricultor.

## **2.4 Identificación y Análisis de Posibles Contaminantes**

### **2.4.1 Actividad Agrícola y Ganadera**

#### **2.4.1.1 Formas de Contaminación**

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento.

Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua de los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los puntuales que afectan zonas muy localizadas, y los difusos que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en la que no es fácil identificar un foco principal.

Los principales problemas de los acuíferos son por contaminación difusa, principalmente por nitratos y por invasión de agua salada. Las contaminaciones puntuales no son un grave problema, exceptuando algunas zonas muy concretas en núcleos industriales o junto a grandes poblaciones.

Se distinguen dos tipos de contaminantes, los conservativos y los no conservativos.

#### **2.4.1.2 Clasificación de Fertilizantes y su Presencia en las Área de Estudio**

Los fertilizantes se subdividen en orgánicos e inorgánicos. Para las áreas específicas en estudio los fertilizantes orgánicos están compuestos por guanos de cabra, pollo y vacuno.

En general en el área de estudio el principal compuesto que podría afectar eventualmente las napas subterráneas corresponde al nitrógeno contenido en los fertilizantes inorgánicos, esencialmente constituidos por aplicaciones de urea y mezclas de NPK.

En cuanto a los guanos (compuestos orgánicos), si bien su presencia es importante, los procesos de mineralización limitan su acceso al agua subterránea, siendo más importante la eventual contaminación provocada por los agentes patógenos que contienen estos compuestos.

#### **2.4.1.3 Actividad Ganadera y su Presencia en las Área de Estudio**

En el caso específico del área de Huasco la existencia de ganadería es de tipo extensiva, dada esencialmente por la presencia de crianza y engorda de animales de tipo extensivo en la especie bovinos y crianza de caprinos en áreas aledañas fuera del área de estudio. Por tal razón en esta cuenca de la III Región la problemática de contaminación por actividad ganadera esta descartada.

En cuanto al área de Mataquito, existen alrededor de tres empresas lecheras de importancia, Lora en la comuna de Licantén, Requiringua en Sagrada Familia y, por último, Frohlich en Curicó.

Cabe señalar que en el caso de lecherías si bien existe un cierto confinamiento de animales, en general el guano acumulado en corrales y en las propias lecherías es posteriormente esparcido en otros terrenos como fertilizante natural o evacuado a vertederos externos, por lo que el proceso de contaminación podría ser evitado.

Por otra parte, se debe señalar que en la cuenca del río Mataquito existen sólo dos planteles de cerdos, los que se concentran en la comuna de Curicó. Uno denominado El Peñón, el que actualmente maneja un total de 22.000 cabezas y el otro es Los Castaños con un total de 30.000 cabezas.

Se debe indicar que el plantel de El Peñón realiza un adecuado manejo de los purines descargando sus aguas completamente limpias a través de los canales de riego existentes en la zona.

De igual forma Los Castaños, el más grande de la zona, posee un depósito de purines, donde se prensan y separan los sólidos de los líquidos. Posteriormente, los sólidos se llevan a un sitio de acumulación donde se descomponen y se transforman en fertilizante orgánico. Este fertilizante, una parte se vende y la otra se utiliza en plantaciones de vides y cerezos que posee esta empresa. En cuanto a los líquidos, estos son utilizados como fuente de riego para un bosque de eucaliptos destinado a evapotranspirar estos residuos.

Según lo anterior y considerando que un animal (porcino) produce alrededor de 5,5 litros de purines diarios, se tiene que en la zona de Curicó se producen diariamente alrededor de 121.000 lt de purines en El Peñón y 165.000 lt en Los Castaños, situación que con las buenas prácticas agrícolas que actualmente se están aplicando, no deberían ser de importancia contaminante.

#### **2.4.1.4 Clasificación de Agroquímicos y su Presencia en las Área de Estudio**

Para efectos del presente estudio, podemos clasificar los pesticidas en productos Conservativos y No Conservativos. Los productos Conservativos corresponden esencialmente a productos inorgánicos, cuya estructura química se mantiene a lo largo del tiempo a pesar de su interacción con los materiales del medio. A pesar de no verse alterados, no siempre son capaces de llegar al agua subterránea pues procesos tales como la adsorción en la superficie de arcillas o materia orgánica o la formación de complejos insolubles pueden fijarlos o retrasar su avance. En cambio los No Conservativos son aquellos cuya estructura química se modifica al interactuar con el medio o por autodegradación.

En general los Conservativos, correspondientes a pesticidas inorgánicos no deberían causar problemas de contaminación de la napa subterránea, sobre todo en suelos que presenten altas concentraciones de arcillas y/o materia orgánica, a excepción de que las dosis aplicadas sean excesivas.

Los pesticidas orgánicos debido a que no se fijan como los inorgánicos existe una cierta movilidad a través del perfil del suelo, razón por la cual el riesgo de contaminación de los acuíferos es mayor. Además, se debe señalar que la forma de aplicar estos pesticidas influye en forma importante al relacionarlos con su potencial de contaminante.

Según lo anterior, a través de los resultados de la encuesta muestral efectuada a las áreas de las cuencas de los ríos Huasco y Mataquito se determinaron por comuna y estrato de tamaño los principales pesticidas con sus dosis aplicadas para cada rubro productivo.

## **2.4.2 Actividad Industrial**

### **2.4.2.1 Procesos Productivos Potenciales de Generar RILes**

#### **a) Catastro de Industrias y RILES Potenciales**

Para conformar un listado de industrias, con sus códigos C.I.I.U., composición y características de las descargas (utilizando el Decreto 609) en las cuencas de Huasco y Mataquito, se utilizó el catastro general de las industrias potenciales de descargar RILes. Posteriormente, según el grado de similitud de los procesos productivos se agruparon por actividad económica.

#### **b) Cuenca del Huasco**

Con respecto a la actividad económica que podría participar eventualmente en la contaminación de los acuíferos, se debe indicar que alrededor del 60% de ésta podría tener incidencia potencial en el deterioro de la calidad del agua. Al respecto se deben mencionar las siguientes actividades con potencial contaminante:

- Extracción de minerales metálicos
- Elaboración y envasado de frutas
- Fabricación de destilados
- Secado de algas marinas
- Fabricación de bloques de cemento
- Distribución y producción de energía eléctrica

Las empresas con mayor presencia son las panaderías (33%), las cuales fueron descartadas al no requerir cumplir requisitos específicos (Decreto N°3.592). Asimismo, se han descartado aquellas industrias que no están sujetas a clasificación.

#### **c) Cuenca de Mataquito**

En cuanto a la cuenca del río Mataquito, aproximadamente el 57% de la actividad económica de la zona podría tener alguna eventual incidencia en la contaminación del agua subterránea, afectando con ello su calidad y su actual uso.

Según lo anterior, a continuación se indican aquellas actividades que pueden participar en este proceso:

- Procesamiento de Frutas
- Fabricación de vinos
- Imprentas y encuadernación
- Fabricación de muebles y accesorios metálicos
- Preparación de fiambres
- Fabricación de lácteos
- Fabricación de cemento, cal, yeso y tubos de cemento
- Elaboración de fideos.

Al igual que lo sucedido en la cuenca del río Huasco, en el área de Mataquito las panaderías y aquellas industrias que no están sujetas a clasificación C.I.I.U., las que representan un 30% y 13%, respectivamente, se han excluido del análisis de industrias con potencial incidencia en la contaminación de la cuenca.

#### 2.4.2.2 Emisores de RILes

##### a) Cuenca del Río Huasco

El número de industrias presentes en esta cuenca alcanza a 45, las cuales están distribuidas de acuerdo a las siguientes actividades económicas: panaderías (15), mineras (9), agroindustrial (5), fábricas de destilados (4), procesadoras de producto del mar (2), fábricas de bloques de cemento (2), distribución y producción de energía eléctrica (2), fábrica de aceite de oliva (1), fábrica de explosivos (1), servicio de lavandería artesanal (1) y no clasificadas (3).

La agroindustria es la actividad económica de mayor presencia en la cuenca, especialmente en las zonas rurales, su periodo productivo es estacional, por lo cual las descargas contaminantes se restringen en cierto periodo del año.

Con respecto a la actividad minera, ésta se encuentra muy alejada del río Huasco, pero de igual ENAMI debido a que posee un tranque de relave sin liner (grandes extensiones cubiertas por pilas de lixiviación), se consideró como potencial contaminante. Asimismo, se debe considerar la Cía. Minera Nevada (Barrick) a través de su incipiente proyecto Pascua Lama.

Se debe señalar que solo algunas industrias realizan algún tratamiento a sus descargas, sin entregar datos respecto a la eficiencia operacional de las plantas. La mayoría de las industrias posee fosas sépticas y pozos absorbentes para la disposición de los RILes y aguas servidas. Asimismo, no efectúan mediciones de consumo de agua industrial, principalmente obtenida de los cursos de agua y pozos.

## b) Cuenca del Río Mataquito

Con respecto a la cuenca del río Mataquito el número total de industrias es de 390, las cuales se distribuyen de acuerdo a las siguientes actividades económicas: panaderías (115), agroindustrial (40), fábricas de vino (27), imprenta y encuadernación (22), fábrica de muebles y accesorios metálicos (17), fábrica de cecinas (10), fabricación de lácteos (10), fábrica de tubos de cemento (10), fabricación de masas (9), otras menores a 7, equivalente a industrias con un porcentaje menor a 2% y no clasificadas (50).

Al igual que en la cuenca del río Huasco, la agroindustria es la actividad económica de mayor presencia en la cuenca, especialmente en la zona fuera del casco urbano.

Las principales actividades económicas de la región son la agricultura y la industria. Dentro del sector agrícola se encuentra el sector forestal, la fruticultura de exportación y el hortícola. En cambio, en el sector industrial destaca la agroindustria.

Se estima que el 50% de las empresas posee algún nivel de tratamiento de sus descargas, principalmente, en base a sistemas de decantación simple. Cerca del 80% de las industrias descarga a cursos receptores, y la mayoría dispone de fosas sépticas para sus aguas servidas. La mayoría de las empresas usan pozos y norias, y no disponen de información respecto al consumo de agua y/o de sus descargas.

### 2.4.2.3 Caracterización de Residuos Líquidos

#### a) Cuenca de Huasco

##### i.- Actividad Industrial

La cuenca del Huasco no posee una gran actividad industrial. De la actividad industrial existente, se identificaron las siguientes:

- Extracción de Minerales Metálicos
- Elaboración y envasado de frutas
- Fabricación de destilados
- Procesadoras de Productos del Mar
- Fabricación de bloques de cemento
- Distribución y producción de energía eléctrica

##### ii.- Aguas Servidas Municipales

Las aguas servidas son descargadas crudas (sin tratamiento) a la cuenca, cuando no hay planta de tratamiento, representando fuentes de contaminación que deterioran la calidad del agua de riego.

Cabe señalar, que en algunos casos, los efluentes de las plantas de tratamiento, también pueden representar una fuente de contaminación.

### **c) Cuenca de Mataquito**

#### **i.- Actividad Industrial**

La cuenca del Mataquito posee una actividad industrial significativa al compararla con la cuenca del Huasco:

- Procesamiento de Frutas y Agroindustrias
- Bodegas, o fábricas de Vino
- Imprentas y encuadernación
- Fabricación de muebles y accesorios metálicos
- Preparación de fiambres
- Fabricación de Lácteos
- Fabricación de cemento, cal, yeso y tubos de cemento
- Elaboración de fideos
- Faenadoras de animales y curtiembres

#### **ii.- Aguas Servidas Municipales**

Las aguas servidas son descargadas crudas (sin tratamiento) a la cuenca, cuando no hay planta de tratamiento, representando fuentes de contaminación que deterioran la calidad del agua de riego.

Cabe señalar, que en algunos casos, los efluentes de las plantas de tratamiento, también pueden representar una fuente de contaminación.

### **2.4.2.4 Diagnóstico de la Situación de Cumplimiento**

La mayoría de las industrias en ambas cuencas no dispone de sistemas de tratamiento, y descargan sus RILes y aguas servidas domésticas, a través de descargas directas y/o infiltraciones al subsuelo. Esta situación es equivalente, para las aguas servidas domésticas y municipales generadas en los predios agrícolas y ciudades/poblados, respectivamente. Asimismo, existen botaderos de residuos sólidos domésticos que no disponen de medios de control de sus percolados.

Debido a la situación descrita de la industria y centros poblados, a las bajas concentraciones naturales de los parámetros observados y la dilución en los cursos de agua, se podría diagnosticar la existencia de un impacto cuantificable en la calidad de las aguas en los ríos y canalizaciones con respecto a la norma de riego (NCh 1333), especialmente en lo pertinente a la concentración de coliformes fecales.

Una situación de incumplimiento potencial de la NCh 1333, se vincularía, principalmente, a las mayores descargas municipales e industriales. Con el objetivo

de mitigar el impacto en los cursos de agua, se requerirían inversiones para la implementación de soluciones de manejo y tratamiento de aguas servidas domésticas, municipales y RILes, incluida la desinfección de los efluentes, las que deberán ser fiscalizadas, de acuerdo a la legislación vigente.

Las áreas de influencia potenciales de los contaminantes tendrían impacto sobre los predios agrícolas localizados aguas abajo de cada una de las descargas municipales e industriales.

Se estima que, debido a los procesos de reducción natural de los coliformes fecales, aún después de 24 horas de flujo al interior del sistema hídrico, el agua de alimentación a los predios no cumplirá la norma de riego (1.600 coliformes fecales/100 ml). El tratamiento de las descargas de aguas residuales, especialmente la desinfección, son de la mayor importancia.

### 3. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

Una labor fundamental del análisis hidrogeológico consistió de un levantamiento geológico de superficie a partir del cual fue posible caracterizar las unidades hidrogeológicas principales presentes en ambos valles.

La definición de las unidades hidrogeológicas principales fue realizada basándose a rangos estimativos de permeabilidad atribuidas a las unidades geológicas. De esta manera, varias unidades geológicas se agruparon para conformar unidades hidrogeológicas únicas.

A continuación se indican las unidades y los rangos de permeabilidad, aplicados de manera estimativa a cada tipo de unidad hidrogeológica definida:

Valle del Huasco:

- Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad moderada a alta:  $>10^{-1}$  m/día.
- Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja:  $10^{-1}$  a  $10^{-4}$  m/día.
- Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula:  $<10^{-4}$  m/día.

Valle del Mataquito:

- Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad moderada a alta:  $>10^{-1}$  m/día.
- Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja:  $10^{-1}$  a  $10^{-4}$  m/día.
- Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula:  $<10^{-4}$  m/día.

Además, para mejor caracterizar cuantitativamente dichas unidades hidrogeológicas se efectuó una exploración geofísica, específicamente orientada a determinar el espesor del relleno sedimentario y consecuentemente la profundidad de

la roca basal. La exploración fue mediante Gravimetría. De esa forma se pudo elaborar una representación general de la profundidad del basamento rocoso en forma tridimensional, dato fundamental para bordar la modelación hidrogeológica de los acuíferos.

Las formaciones hidrogeológicas de interés, desde el punto de vista de la existencia y conducción de aguas subterráneas que fueron identificadas se resumen a continuación.

### **Valle del Huasco:**

La Unidad 1 está compuesta por depósitos sedimentarios de granulometría gruesa (bolones, ripios, gravas), media (arenas gruesas y medias) y fina (arcillas y limos), de origen fluvial y no fluvial, de permeabilidad alta y media principalmente. Se distribuye a lo largo del cauce del río Huasco y en valles y quebradas de cauces afluentes a éste.

La Unidad 2 en tanto, está compuesta por depósitos de gravas y conglomerados semiconsolidados y su distribución es paralela al río Huasco bordeando tanto el valle como algunos afluentes mayores.

De acuerdo con los resultados del estudio geofísico, el relleno sedimentario del valle del río Huasco poseería un espesor que varía entre los 50 m y más de 200 m aproximadamente, lo cual se confirmó con los antecedentes estratigráficos disponibles. En efecto, en uno de los pozos ubicado en el sector de Hacienda Perales, se perforaron 200 m y no se alcanzó el basamento rocoso.

En el sector de Vallenar y unos 5 Km aguas abajo de esta localidad, se pueden encontrar los mayores espesores del relleno sedimentario, alcanzando hasta los 200 m de profundidad aproximadamente. Este relleno disminuye su potencia hacia el poniente, encontrándose espesores del orden de los 50 m en el sector de Maitencillo. Más hacia la desembocadura, en el sector de Huasco Bajo, el basamento vuelve a profundizarse, permitiendo un mayor espesor de los rellenos sedimentarios, llegando hasta unos 150 m aproximadamente.

Hacia aguas arriba de la ciudad de Vallenar, la información existente referente a las unidades hidrogeológicas es más escasa, sin embargo, debido a que el valle del río Huasco se presenta como un valle mucho más estrecho, se espera que los rellenos sedimentarios sean de menor magnitud que los de aguas abajo. Lo mismo ocurre con los valles de los ríos El Tránsito y El Carmen, donde se pueden encontrar pozos cuyas profundidades varían entre los 20 m y los 50 m como máximo.

Con respecto a los niveles freáticos, éstos se encuentran a profundidades entre 15 m y 20 m, en el sector de Vallenar y sus alrededores, mientras que hacia aguas abajo, estos niveles se encuentran bastante más superficiales, llegando incluso a ser surgente en algunos sectores. En el valle de los ríos El Tránsito y El Carmen, los

niveles de la napa se encontraron a poca profundidad, ubicándose en su mayoría a no más de 3 m desde la superficie de terreno.

En la cuenca del río Huasco, la mayoría de los sondajes se concentra en el sector ubicado aguas arriba de Vallenar (pozos pertenecientes a Aguas Chañar y que abastecen de agua potable a las localidades de la zona) y en el sector de los valles de los ríos Del Carmen y El Tránsito.

Como parte de los trabajos de terreno, se recopilaron los antecedentes de planos de construcción y pruebas de bombeo efectuadas en los sondajes del área con el fin de caracterizar cuantitativamente los parámetros hidrogeológicos de los rellenos. Las pruebas de bombeo fueron interpretadas, obteniéndose el coeficiente de permeabilidad de los rellenos atravesados por los sondajes. Se aprecia que para el sector bajo del valle del Huasco, existe sólo un antecedente, correspondiente a un pozo ubicado entre las localidades de Freirina y Maitencillo, que indica una permeabilidad de  $1,6 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Hacia aguas arriba, el siguiente pozo con prueba de bombeo interpretada se ubica aguas abajo de la ciudad de Vallenar y el resultado indicaría una permeabilidad de  $2,9 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Inmediatamente aguas arriba de Vallenar se encuentran los recintos de agua potable de Aguas Chañar, en donde se dispuso de la interpretación de 6 pruebas de bombeo, las cuales indican permeabilidades de entre  $2,0 \cdot 10^{-5}$  m/s y  $7,4 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Desde este punto, no existen más antecedentes hasta los valles de El Carmen y El Tránsito. Al respecto, en el valle del río El Carmen, se realizó sólo una interpretación de prueba de bombeo correspondiente a un sondaje ubicado cercano a la localidad de El Rosario. El resultado indicó una permeabilidad de  $6,7 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Finalmente, en el valle del río El Tránsito, se han interpretado 9 pruebas de bombeo correspondientes a sondajes ubicados desde el sector de El Tabaco (aguas arriba de Alto del Carmen) hasta Chihuinto. Los resultados indicaron permeabilidades de entre  $7,5 \cdot 10^{-5}$  m/s a  $6,3 \cdot 10^{-4}$  m/s.

En resumen, el relleno fluvial reciente que ha formado el cauce del río Huasco y de sus tributarios, El Carmen y El Tránsito, presentaría una alta permeabilidad, en general, por sobre  $1,0 \cdot 10^{-4}$  m/s. Hay que recordar que todos los sondajes se encuentran en los rellenos más recientes y muy próximos a los lechos de los cauces superficiales no existiendo información de la potencialidad hidrogeológica de los sedimentos que conforman las terrazas fluviales más antiguas.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, las pruebas de bombeo recopiladas no permitieron la determinación de este parámetro, por cuanto ninguna contaba con pozo de observación distinto al pozo de bombeo. No obstante, en el Estudio Integral de Riego se estimó un valor de 15% para todo el relleno fluvial, a

excepción de la zona de desembocadura, en donde se estimó que el coeficiente podría ser menor.

## **Valle de Mataquito**

La Unidad 1 corresponde a depósitos sedimentarios de origen fluvial y no fluvial. Los primeros están compuestos por sedimentos fluviales actuales, preactuales y abanicos fluviales, cuya granulometría va desde material grueso (ripios, gravas), medio (gravas arenosas) hasta fino (intercalaciones lenticulares limoarcillosas). Se encuentran presentes en el cauce del río Mataquito y son la unidad de mayor presencia dentro de la zona de rellenos sedimentarios.

Los rellenos de origen no fluvial corresponden a depósitos sedimentarios fluvio-aluvionales, gravitacionales, coluviales, eólicos costeros y marinos aterrizados. Se pueden encontrar en los valles de la Cordillera de la Costa y en serranías intermedias.

La Unidad 2 está compuesta por depósitos cineríticos (cenizas volcánicas) con intercalaciones arcillosas. Se emplazan en valles de drenajes secundarios en la Cordillera de la Costa y en serranías intermedias, formando pequeñas planicies alrededor de los depósitos fluviales.

Según el estudio geofísico, y de acuerdo con los antecedentes de captaciones de pozo profundo, el relleno del valle del río Mataquito posee un gran espesor, alcanzando valores de más de 150 m. Los mayores espesores del relleno sedimentario se alcanzan en el sector del valle central, donde además los depósitos logran su mayor amplitud en superficie, llegando incluso a cubrir una zona de hasta 30 km de ancho.

Tanto hacia el poniente como al oriente del valle central, el valle del Mataquito y sus principales afluentes (Teno y Lontué) se angosta, lo cual provoca además una notable disminución del espesor de los rellenos sedimentarios, el que sin embargo, no deja de ser importante, pudiendo encontrarse espesores de hasta 100 m principalmente entre la confluencia de los ríos Teno y Lontué y la desembocadura del río Mataquito al mar.

Los antecedentes de captaciones subterráneas ubicadas hacia el oriente del valle central, son escasos, sin embargo, se observa que hacia este sector el valle de los ríos Teno y Lontué es bastante más estrecho, lo que significa también que el espesor del relleno es de mucho menor importancia que en el resto del valle. En efecto, las pocas captaciones de aguas subterráneas que existen en esta zona, por lo general tienen profundidades que no superan los 50 m.

En relación a los niveles freáticos, es posible afirmar a partir de la campaña de terreno realizada en los meses de marzo y abril del año 2005, que éstos se encuentran a profundidades no mayores de 20 m. Hacia los sectores precordilleranos, los niveles de la napa se encuentran a mayor profundidad.

Al igual que en el caso del valle del río Huasco, con la información de las pruebas de bombeo disponibles para las captaciones dentro del área de estudio, se procedió a determinar el coeficiente de permeabilidad de los rellenos sedimentarios de la cuenca en estudio. En total, se contó con 130 interpretaciones, las cuales proporcionan información de prácticamente todos los sectores en análisis. Solamente el valle del Mataquito, desde la localidad de Sagrada Familia hacia el Oeste, presenta valores aislados, pero que de igual manera permiten realizar un análisis adecuado para fines del presente estudio. Como tendencia general, se puede afirmar que, a excepción de la zona de desembocadura, los rellenos acuíferos del valle del río Mataquito y de sus tributarios Teno y Lontué, presentarían un coeficiente de permeabilidad medio a alto.

Sobre un 70% de las pruebas interpretadas, entregó como resultado un coeficiente de permeabilidad por sobre  $1,0 \cdot 10^{-4}$  m/s, lo que muestra la buena potencialidad de los rellenos para ser explotados. Más aún, sólo 5 de las 130 pruebas interpretadas arrojaron como resultado, valores menores a  $1,0 \cdot 10^{-5}$  m/s. Dentro del valle central se puede identificar un sector en donde se encuentran concentradas las mayores permeabilidades. Este sector abarca la zona Noroeste de la ciudad de Curicó, hasta la localidad de Rauco además de los sectores ubicados tanto al Este como al Oeste de la localidad de Sarmiento. Esta zona presenta permeabilidades por sobre  $5,0 \cdot 10^{-4}$  m/s, que la caracteriza como de muy buen potencial hidrogeológico.

En relación con el coeficiente de almacenamiento, no hay datos de pruebas de bombeo con pozo de observación distinto al pozo de bombeo, por lo que no fue posible estimar este valor con datos de terreno. No obstante, en el Estudio Integral de Riego realizado por CICA, se contó con información cuya interpretación entregó como resultado, valores de entre 15 y 23% para el coeficiente de almacenamiento de los rellenos. Se estimó que un valor en torno al 18% parece adecuado como valor representativo y conservador.

## **4 ANÁLISIS AGRONÓMICO**

### **4.1 Demandas de Agua**

#### **4.1.1 Cuenca Río Huasco**

A manera de resumen, se presenta en la Tabla 4.1.1-1 las demandas expandidas en  $m^3$  para cada sector (comuna) y estrato de tamaño considerado.

Tabla 4.1.1-1  
Demandas Brutas Totales (m<sup>3</sup>)

Comuna	Estrato de Tamaño	Demanda unit. de Agua (m <sup>3</sup> /ha)	Área Regada (ha)	Demanda total de Agua (m <sup>3</sup> )
Alto del Carmen	< 1 ha	51.316	227,6	11.680.035
	1 - 10 ha	29.527	1.088,7	32.146.045
	10 - 50 ha	11.866	676,4	8.025.806
	> 50 ha	11.024	277,2	3.055.853
	Total		2.269,9	
Vallenar	< 1 ha	13.783	19,8	272.903
	1 - 10 ha	25.296	92,7	2.345.192
	10 - 50 ha	16.125	327,4	5.279.486
	> 50 ha	38.618	4.423,4	170.821.316
	Total		4.863,3	
Freirina	< 1 ha	17.244	22,4	386.266
	1 - 10 ha	17.244	194,9	3.360.856
	10 - 50 ha	5.749	553,5	3.182.072
	> 50 ha	19.652	699,0	13.736.748
	Total		1.469,8	
Huasco	< 1 ha	16.615	7,3	121.290
	1 - 10 ha	24.030	133,5	3.208.245
	10 - 50 ha	16.615	209,6	3.482.504
	> 50 ha	28.474	237,8	6.771.117
	Total		588,2	
Total Huasco			9.191,2	267.875.734

#### 4.1.2 Cuenca Río Mataquito

En la Tabla 4.1.2-1 se presentan las demandas expandidas m<sup>3</sup> para cada sector (comuna) y estrato de tamaño considerado.

Tabla 4.1.2-1  
Demandas Brutas Totales (m<sup>3</sup>/s)

Comuna	Estrato de Tamaño	Demanda unit. de Agua (m <sup>3</sup> /ha)	Área Regada (ha)	Demanda total de Agua (m <sup>3</sup> )
Teno	< 5 ha	18.461	635,6	11.733.812
	5 - 50 ha	16.320	13.156,2	214.709.021
	> 50 ha	16.392	5.785,7	94.838.867
	Total		19.577,5	
Romeral	< 5 ha	13.047	279,5	3.647.158
	5 - 50 ha	11.300	4.877,3	55.113.829
	> 50 ha	18.732	3.997,7	74.884.916
	Total		9.154,6	
Curicó	< 5 ha	12.013	1.097,2	13.180.664
	5 - 50 ha	12.067	9.938,4	119.926.069
	> 50 ha	10.373	8.343,1	86.542.976
	Total		19.378,7	

Tabla 4.1.2-1 (Continuación)  
Demandas Brutas Totales (m<sup>3</sup>/s)

Comuna	Estrato de Tamaño	Demanda unit. de Agua (m <sup>3</sup> /ha)	Área Regada (ha)	Demanda total de Agua (m <sup>3</sup> )
Molina	< 5 ha	13.245	638,1	8.451.237
	5 - 50 ha	12.269	7.531,8	92.407.163
	> 50 ha	7.414	9.628,0	71.381.770
	Total		17.797,8	
Rauco	< 5 ha	18.826	239,7	4.511.651
	5 - 50 ha	13.588	1.702,3	23.131.396
	> 50 ha	8.621	2.790,3	24.055.435
	Total		4.732,3	
Sagrada Familia	< 5 ha	13.154	443,8	5.837.482
	5 - 50 ha	11.752	5.330,9	62.649.089
	> 50 ha	10.139	5.088,1	51.588.246
	Total		10.862,8	
Hualañé	< 5 ha	20.596	67,8	1.396.821
	5 - 50 ha	20.596	452,9	9.328.546
	50 - 500 ha	19.981	894,9	17.881.397
	> 500 ha	14.479	1.257,3	18.204.012
	Total		2.672,9	
Curepto	< 5 ha	6.433	26,0	167.258
	5 - 50 ha	17.316	117,2	2.029.435
	50 - 500 ha	6.760	298,8	2.019.888
	> 500 ha	6.760	906,0	6.124.560
	Total		1.348,0	
Licantén	< 5 ha	9.171	21,7	199.286
	5 - 50 ha	8.385	96,2	806.218
	50 - 500 ha	22.235	708,9	15.762.392
	> 500 ha	19.358	375,0	7.259.250
	Total		1.201,8	
TotalMataq.			86.726,3	1.099.769.844

## 4.2 Alternativas productivas con Aguas Subterráneas

En la cuenca del Río Huasco, de acuerdo a la ubicación espacial se dan tres potencialidades de uso de aguas subterráneas:

- La primera corresponde al área costera, en donde debido a la calidad actual de sus suelos y el clima imperante, se debe continuar el trabajo con olivos, pero en vez de ser destinados al consumo de mesa, deben ser orientados a la producción de aceite. En aquellos suelos de mayor potencial se pueden cultivar rubros tan rentables como las mandarinas y paltos.
- En el área intermedia, correspondiente básicamente a alrededores de Vallenar, y al poniente del embalse de Santa Juana, además del cultivo de cítricos, paltos y olivos, se puede pensar en la introducción de hortalizas de consumo fresco bajo invernadero y hortalizas con destino agroindustrial. De esta forma en estado fresco se puede cultivar bajo invernadero tomates y pimentones que poseen en forma de primores una alta rentabilidad y alcachofines para uso agroindustrial.

- En los valles precordilleranos de El Tránsito y San Félix el principal cultivo a considerar es la uva de mesa, la cual tiene ventajas comparativas en esta zona debido al clima y al uso de laderas para su mejor exposición.

Con respecto a la cuenca del Río Mataquito, esta zona se debe separar básicamente por clima.

- En la zona de Romeral y Teno (área nor-oriental) es adecuada la intensificación con berries, manzanos y cerezos que poseen una adecuada rentabilidad por hectárea.
- En la zona de Curicó, se da una amplia gama de especies, entre las que se recomiendan vides viníferas, cerezos, manzanos y berries.
- En Molina (sector sur-oriental) el principal rubro a explotar está dado por la vid vinífera, además de algunos berries y cerezos.
- En la zona intermedia, constituida por Sagrada Familia, Rauco y Hualañé, además de considerar en cultivo de vides viníferas, se debe pensar en la introducción de frambuesa y olivos para la producción de aceite.
- En el área costera, específicamente Licantén y Curepto, se plantea el cultivo de frutillas y olivos.

Se puede concluir que en la mayoría de los rubros productivos propuestos existe una relación directa entre el estrato de tamaño y la tecnología y rendimientos a obtener, situación que está relacionada a la capacidad empresarial, a la capacidad de endeudamiento, al capital de explotación y al nivel tecnológico a aplicar en cada cultivo.

De esta forma, es necesario indicar que cultivos altamente exigentes en tecnología deben ser preferentemente implementados por explotaciones de mayor tamaño. Tal es el caso de especies como arándano, manzano, cerezo, mandarina, palto, vid vinífera y uva de mesa.

En el caso del resto de especies propuestas, como lo son las hortalizas, olivos, frutilla y frambuesa, si bien predios grandes también las pueden cultivar, es factible su introducción en propiedades de menor tamaño, en donde el uso de mano de obra familiar es una ventaja comparativa en relación a los predios más grandes.

Finalmente, se debe señalar que ambas regiones cuentan con una adecuada infraestructura productiva y comercial que permitiría intensificar la estructura productiva en base a los cultivos propuestos en este proyecto.

## 5. CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se diseñó un plan de monitoreo de la calidad del agua subterránea sobre la base de dos aspectos fundamentales:

- Los resultados de estudio anterior para caracterizar la calidad actual de las aguas superficiales en ambas cuencas realizado por la CNR en 2003 (en cauces naturales y canales).
- Los resultados del presente trabajo en los que se identificó posibles fuentes de contaminación (tanto puntual, lineal o difusa) y que pudieran afectar algunos sectores del acuífero, así como de las características de los sistemas acuíferos y sus captaciones que resulten apropiadas para ser muestreadas.

Los parámetros analizados para las aguas superficiales en el estudio del 2003, fueron los correspondientes a la Norma Nch 1333 Of78, más otros correspondientes al proyecto de Norma Secundaria<sup>1</sup>, a saber: DQO, OD, Detergentes, DBO<sub>5</sub>, Aceites y Grasas, Nitrógeno y Fósforo Total, Poder Espumógeno, Sólidos Suspendidos Totales e Índice Fenol.

Según los resultados obtenidos para las aguas superficiales, sólo algunos correspondientes a la Norma de Riego 1333 aparecen ligeramente excedidos (CF, Boro, Cloruro, Sulfato, Manganeso, CE, Sodio %).

De los otros parámetros, elegidos del proyecto de Norma Secundaria, ninguno apareció claramente excedido respecto de ese proyecto de norma. Por otro lado, se consideró muy poco probable que puedan detectarse parámetros tales como: Poder Espumógeno, Aceites, Grasas y Detergentes, ya sea por su poca movilidad en el medio acuífero, así como por el hecho de no encontrarse en las aguas superficiales. No obstante, no haber sido detectados en grandes cantidades en el sistema superficial de ambas cuencas, la DQO, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno y Fósforo Total e Índice Fenol, SDT, sí podrían ser indicadores de contaminación en el agua subterránea, por ello se incluyeron en el presente monitoreo.

Cabe señalar que en ambas cuencas, tampoco se encontró en forma significativa la presencia de herbicidas (Simazina y MCPA) según el estudio de aguas superficiales realizado (salvo casos puntuales), por lo que es improbable su aparición en las aguas subterráneas.

En definitiva, los parámetros seleccionados, aparte de los correspondientes a la Norma 1333, fueron los siguientes: Alcalinidad Total, Bicarbonatos, Calcio, Carbonatos, Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO, Dureza total, Magnesio, Nitritos, Nitratos, Potasio, RAS, Sólidos Disueltos Totales, Sodio, Índice Fenol y Fósforo Total.

---

<sup>1</sup> GUIA CONAMA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES Y MARINAS.

Luego de obtenidos los resultados de la primera campaña del mes de Marzo 2005, se comprobó que algunos parámetros de la norma Nch 1333 resultaron, en ambos valles, bajo el límite de detección del laboratorio, por lo que fueron descartados para la segunda campaña. Estos corresponden a los siguientes: Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio y Vanadio. Otros parámetros, pese a resultar bajo el límite de detección, se mantuvieron, como es el caso del Molibdeno, Cobre, Litio, Cromo total y Nitritos.

Para la selección y definición de los pozos de muestreo de calidad de las aguas subterráneas se consideró los siguientes aspectos:

- Los resultados del "Estudio Diagnóstico y Análisis de la Calidad del Agua de Riego en Huasco y Mataquito", efectuado por ARCADIS Geotécnica y concluido recientemente en Junio de 2004
- Los resultados del presente estudio en donde se realizó un análisis de los procesos factibles de generar contaminación en el agua subterránea
- Las variabilidad del potencial de explotación actual y futuro de los acuíferos del valle en distintos sectores
- La existencia de sondajes factibles de muestrear (no sellados, con equipo de bombeo, autorización, etc.) en los lugares de interés

Es así como se seleccionaron 10 puntos para realizar las campañas de toma de muestras. Estos sondajes se muestran en la Figuras 5-1, 5-2 y Tablas 5-1 y 5-2 siguientes para el Huasco y Mataquito respectivamente.

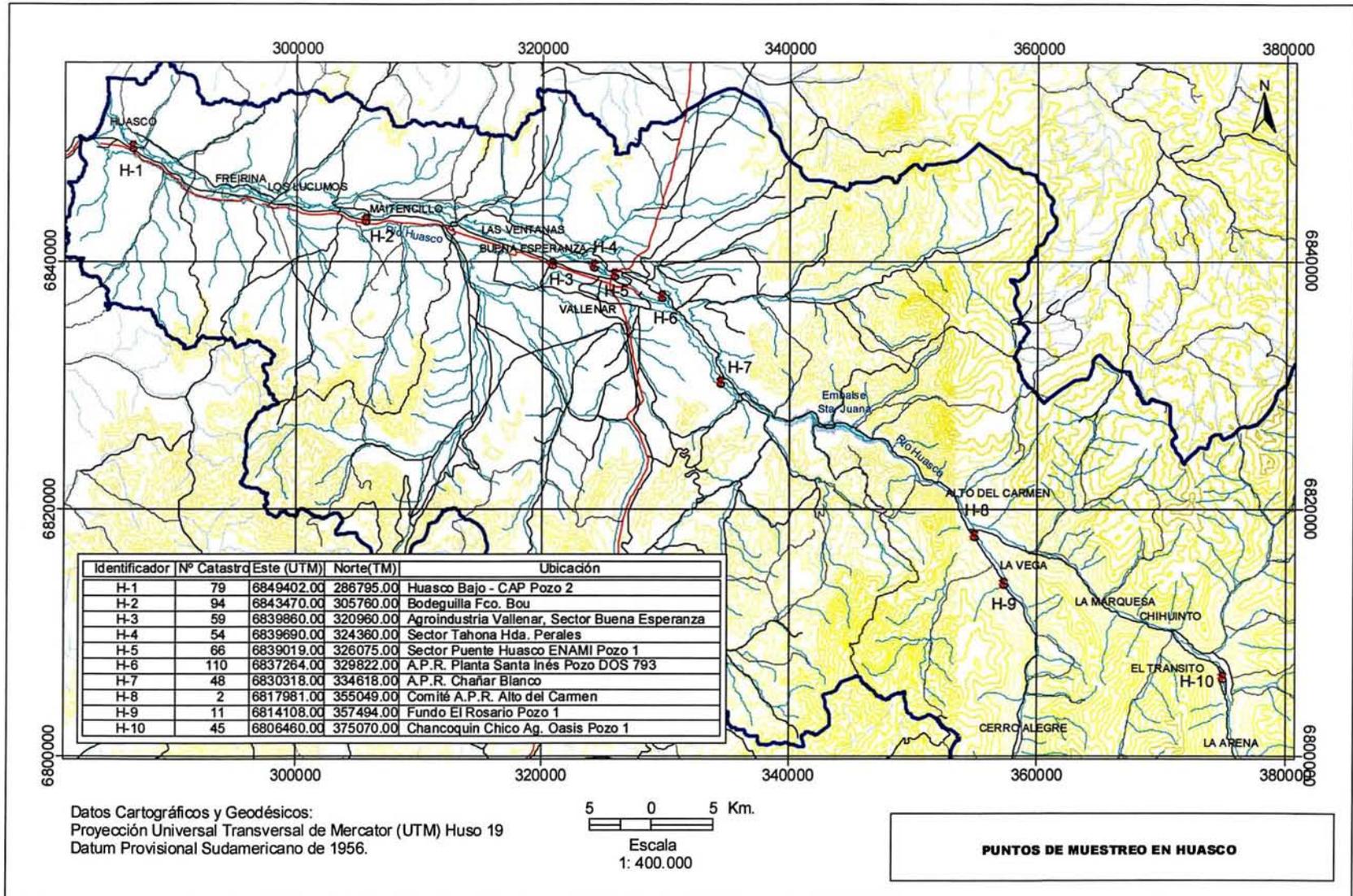
**Tabla 5-1**  
Pozos de Monitoreo En Huasco

Nº	Nº catastro	Utm - Este	Utm - Norte	Ubicación
		(m)	(m)	
H-1	79	286,795	6,849,402	Huasco Bajo – CAP Pozo 2
H-2	94	305,760	6,843,470	Bodeguilla Fco. Bou
H-3	59	320,960	6,839,860	Agroindustria Vallenar, sector Buena Esperanza
H-4	54	324,360	6,839,690	Sector Tahona Hda. Perales
H-5	66	326,075	6,839,019	Sector Puente Huasco ENAMI Pozo 1
H-6	110	329,822	6,837,264	APR Planta Santa Inés Pozo DOS 793
H-7	48	334,618	6,830,318	APR Chañar Blanco
H-8	2	355,049	6,817,981	Comité A.P.R Alto del Carmen
H-9	11	357,494	6,814,108	Fundo El Rosario Pozo 1
H-10	45	375,070	6,806,460	Chancoquín Chico Ag. Oasis Pozo1

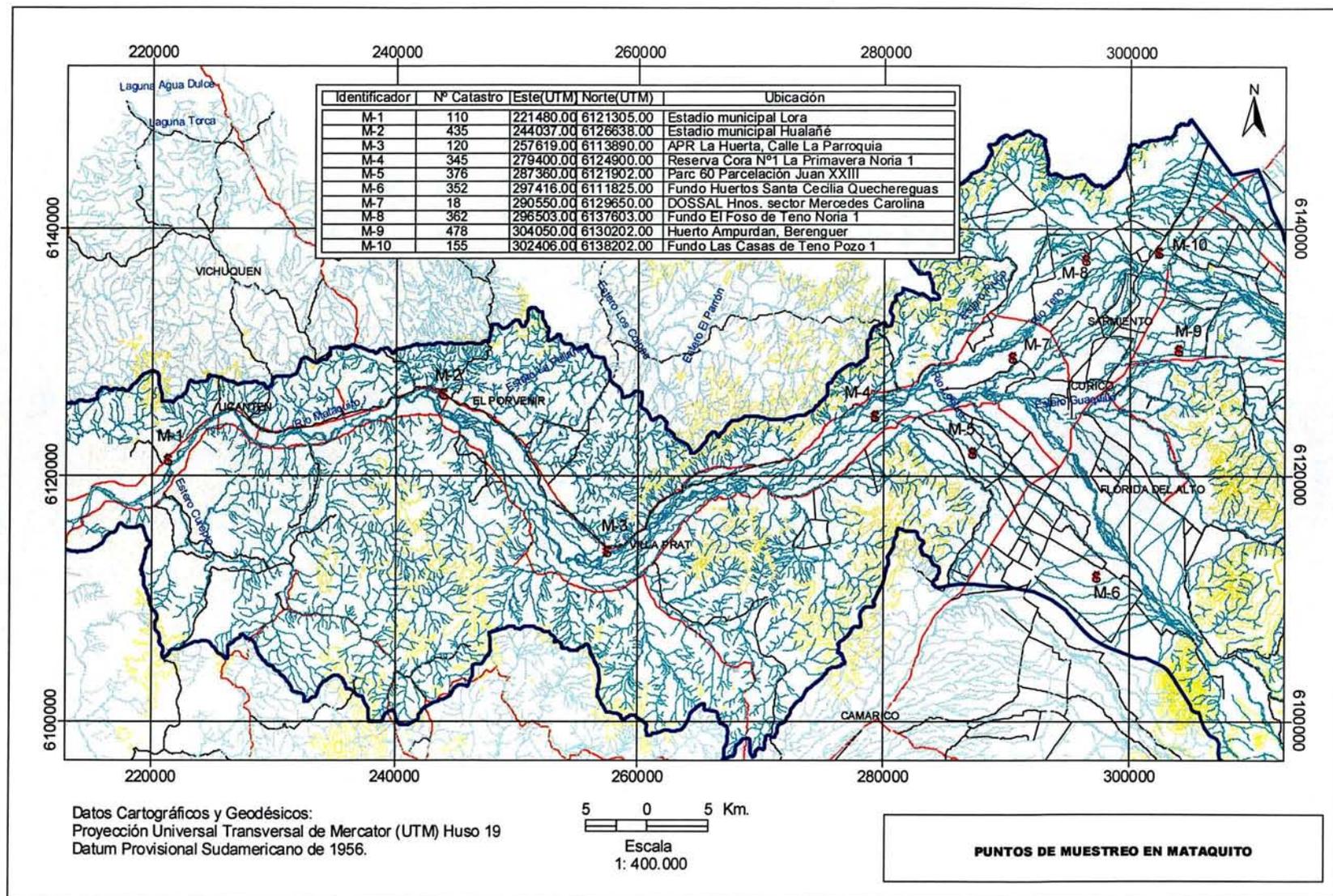
**Tabla 5-2**  
Pozos de Monitoreo en Mataquito

N°	N° catastro	Utm - Este	Utm - Norte	Ubicación
		(m)	(m)	
M-1	110	221,480	6,121,305	Estadio municipal Lora
M-2	434	244,037	6,126,638	Estadio municipal Hualañé
M-3	120	257,619	6,113,890	APR La Huerta, Calle La Parroquia
M-4	345	279,400	6,124,900	Reserva Cora N°1 La Primavera Noria 1
M-5	376	287,360	6,121,902	Parc 60 Parcelación Juan XXIII
M-6	352	297,416	6,111,825	Fundo Huertos Santa Cecilia Quechereguas
M-7	18	290,550	6,129,650	DOSSAL Hnos. sector Mercedes Carolina
M-8	362	296,503	6,137,603	Fundo El Foso de Teno Noria 1
M-9	477	304,050	6,130,202	Huerto Ampurdan, Berenguer
M-10	155	302,406	6,138,202	Fundo Las Casas de Teno Pozo 1

**Figura 5-1**  
Pozos de Muestreo en Huasco



**Figura 5-2**  
Pozos de Muestreo en Mataquito.



Los resultados obtenidos de las tres campañas de muestreos (Marzo, Mayo y Septiembre de 2005) se resumen en lo siguiente:

## Huasco

De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo algunos parámetros sobrepasan los límites de las normas (la de riego o la recomendación para la norma secundaria). Los parámetros excedidos son:

- Respecto de la norma 1333; Boro, Cloruro, %Sodio, Sulfato, Hierro y Manganeseo.
- Respecto de la guía sobre normas secundarias; CE, Aluminio, RAS y TSD.

Cabe señalar que hay una gran coincidencia con los altos valores detectados en las aguas superficiales. Ese es el caso de CE, Boro, Sulfato, Sodio %, Manganeseo y Cloruro, que se atribuirían a condiciones naturales según anterior estudio. Los valores históricos muestran la misma tendencia que la obtenida de los muestreos, en los cuáles sólo algunos parámetros aparecen claramente excedidos; como el Boro y los Sulfatos respecto de la norma 1333, y, la CE y RAS respecto de la guía para normas secundarias.

Un hecho importante que se visualiza es la tendencia natural de salinización de las aguas (en el sentido del flujo) como resultado de interacción con el medio, tendencia claramente evidenciada por la CE, y en particular por las sales de Cloruro y Sulfato.

El caso particular del Aluminio no debe ser considerado como un parámetro ambientalmente excedido, puesto que el límite de referencia de 0.1 mg/l según la guía CONAMA de normas secundarias, debe ser adaptado a la realidad natural de las aguas dentro del país. En consecuencia, es más clarificador el límite de 5 mg/l señalado por la norma Nch 1333 en cuyo caso no habría ningún exceso para este parámetro. Hay que recordar que el Aluminio es el tercer elemento más abundante en la tierra luego del Oxígeno y el Silicio. Además, su concentración natural en las aguas subterráneas rara vez excede el valor de 1 mg/l. En consecuencia, sólo corresponde calificar a estas aguas como de alto contenido salino (a través del parámetro CE, equivalente al TSD), cosa que por lo demás es una condición natural de las aguas en las zonas áridas.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que hay una tendencia de salinización natural de las aguas subterráneas debido a su flujo en un ambiente desértico, y al uso y reuso de las mismas.

El Boro estaría presente, aunque no superando los 2 mg/l, debido a una condición geológica natural de la cuenca (cuya fuente son las rocas ígneas y sedimentarias), fenómeno que también ocurre para las aguas superficiales. Las aguas de ambientes volcánicos, como en el presente caso, son ricas en Boro.

En un reciente estudio publicado por la DGA<sup>2</sup> sobre la calidad objetivo en cursos y cuerpos de agua superficial, se concluye que la calidad natural del río Huasco es clasificada como buena, en donde exceden respecto a un agua pura algunos metales como el cromo, hierro, boro, manganeso, molibdeno, aluminio, sulfatos y la conductividad eléctrica, lo que corrobora los resultados del presente trabajo. Dicho estudio también concluye que la litología influye en la presencia de muchos iones en solución, principalmente metálicos.

En definitiva en este valle no se ha detectado la presencia de contaminación antrópica alguna para las aguas subterráneas, considerando la cantidad y densidad de información tenida en cuenta en el presente estudio.

## **Mataquito**

De acuerdo con los resultados obtenidos para las campañas, sólo algunos parámetros sobrepasan los límites de las normas (la de riego o la recomendación para la norma secundaria). Los parámetros excedidos son:

- a) Respecto de la norma 1333; Hierro y Manganeso.
- b) Respecto de la guía sobre normas secundarias; Aluminio.

El Aluminio es especialmente alto en el punto M-1, que se ubica en el sector costero de Lora, aguas abajo de Licantén, con valores entre 1.4 mg/l y 0.4 mg/l para la primera y segunda campaña respectivamente. En los valores históricos (1990-2001) el aluminio aparece alto en los pozos 340 y 338 ubicados entre Sarmiento y Romeral (en los mismos en que aparece alto el Molibdeno como se señala más adelante).

En el reciente estudio de la DGA sobre calidad objetivo, se señala que: *“el origen del Aluminio en la cuenca esta ligado a la actividad volcánica de la región. Las ignimbritas y micas, que por efectos de meteorización, originan arcillas más el pH y el efecto del arrastre por escorrentías origina que los compuestos aluminico-silicatos se encuentren siempre presentes en los cursos del Mataquito. Los aumentos puntuales de la concentración de aluminio se producen generalmente durante el derretimiento de nieves ácidas. Por otra parte dado que la cantidad de aluminio insoluble en suelos es grande, cambios muy pequeños en las condiciones del suelo (lluvias levemente ácidas) pueden llevar a incrementos relativamente grandes en aguas naturales cercanas”*.<sup>3</sup>

El Manganeso se registra alto en el mismo punto ubicado en Lora (M-1), con valores de 0.75 mg/l y 0.76 mg/l en los dos primeros muestreos. En el resto de los pozos los valores varían entre 0.01 mg/l y 0.02 mg/l. Los muestreos históricos también registran esta tendencia, con valores de entre 0.3 mg/l y 0.6 mg/l para pozos

---

<sup>2</sup> Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, cuenca río Huasco, DGA, 2004.

<sup>3</sup> Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, cuenca Mataquito, DGA, 2004. página 91.

del sector de desembocadura (P-284 y P-110 o M-1) y de Hualañé (P-128) (ver Figura 6.4-17).

El Hierro también es alto en M-1 en términos relativos a los otros puntos, con valores de entre 17 mg/l y 19 mg/l en los dos primeros muestreos. En el resto de los pozos los valores varían entre 0.01 mg/l y 0.02 mg/l. Según los datos históricos también se reporta un valor relativamente alto en el pozo P-110 o M-1, de 7.9 mg/l.

Hay que tener cuidado al establecer conclusiones respecto de este punto M-1, que se ubica aguas abajo de Licantén, pues para ese mismo punto los valores de CE, Cloruros, Sulfatos son bajos incluso menores que para puntos ubicados aguas arriba de Licantén.

Por otro lado está el hecho que tanto el Hierro (segundo elemento más abundante en la corteza terrestre), como el Manganeseo (también abundante), son elementos que se encuentran normalmente presentes en el agua subterránea, particularmente en casi la totalidad de las aguas en el entorno a la Cordillera de la Costa entre la III y IX Regiones de nuestro país. Esto hace que sean relativamente más altos respecto de los puntos de aguas arriba, debido al aporte local de minerales provenientes de la meteorización de rocas de la Cordillera de la Costa. En efecto, según el estudio geológico, en esa cordillera las rocas consolidadas son mayoritariamente Intrusivas, Metamórficas (del Batolito Costero) y, en menor proporción Sedimentarias y Volcanoclásticas. Una importante fuente natural de Manganeseo son los minerales de las rocas Ígneas (o Intrusivas) y Metamórficas. Ocurre lo mismo con el Hierro y Aluminio<sup>4</sup>. Por último, cabe mencionar que el estudio de calidad objetivo de la DGA concluye que el contenido de Manganeseo y Hierro de las aguas superficiales estaría asociado a la litología de la cuenca. Asimismo, ese estudio concluye que *"en la zona litoral existe una fuerte interrelación entre el acuífero y el río Mataquito, el cual le adiciona metales en solución (al río), los cuales provienen de la lixiviación de toda la litología existente desde la Cordillera de los Andes hasta el litoral mismo"* (estudio citado pág. 92).

El Molibdeno según los registros históricos aparece levemente alto, con valores entre 0.02 mg/l y 0.06 mg/l, en sólo tres puntos ubicados en el sector de Sarmiento al Noreste de Curicó. Este metal normalmente se encuentra en trazas en las aguas naturales (< 1 mg/l<sup>5</sup>).

Según los registros históricos, los Nitritos resultan levemente altos en puntos aislados entre Peralillo y La Huerta (P-241) y en el valle central (al Oriente, al Norte y al Sureste de Curicó), por lo que no reviste mayor incidencia, pudiendo ser atribuido a fuentes puntuales y locales. Además, está el hecho que este compuesto es inestable en la presencia de oxígeno, siendo un nexo entre Amonio y Nitrito dentro del proceso de Nitrificación.

<sup>4</sup> Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, J. Hem, USGS Water Paper 2254, 1989.

<sup>5</sup> Water Quality Guide Sourcebook, Inland Waters Directorate - Water Quality Branch, Canada, 1979, Pag, 24

A grandes rasgos no habría hechos que pudieran señalar una contaminación antrópica claramente definida y extendida, salvo casos puntuales en el valle central. Los casos señalados para el Manganeso, Hierro y Aluminio en el pozo M-1 de Lora, hacen aconsejable no aventurar una conclusión hasta haber concluido el estudio.

## 6. MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS CUENCAS

Se elaboraron modelos hidrogeológicos para los principales rellenos acuíferos de las cuencas de los ríos Huasco y Mataquito mediante el software Visual MODFLOW. El paso de tiempo fue establecido en un mes debido a que los caudales involucrados en el sistema presentan variaciones importantes entre un mes y otro. La base de datos de simulación incorporó un período de 10 años, por lo que los intervalos de tiempo de la simulación son 120. En cuanto a la discretización espacial, se utilizaron para cada estrato 43332 celdas para el modelo de Huasco y un total de 131750 celdas para los 2 modelos de Mataquito. Por otra parte, la cota de terreno de cada una de las celdas se obtuvo de la digitalización de las curvas cada 25 m de las cartas IGM escala 1:50.000, mientras que para definir la cota de fondo del relleno sedimentario se utilizó la información de los perfiles gravimétricos del presente estudio y el estudio hidrogeológico del mismo. Por último, esta información se complementó con la profundidad de los sondajes existentes, de manera de asegurar que la profundidad definida sea mayor que la de los pozos que no han alcanzado el basamento.

En cuanto a los parámetros del medio acuífero, éstos fueron obtenidos de los análisis e interpretaciones previas realizadas en el presente estudio, a saber: el levantamiento geológico-geofísico, el análisis de las pruebas de bombeo y cualquier otro antecedente útil.

Las condiciones de borde utilizadas en los modelos corresponden a: condición de borde de nivel conocido, condición de borde tipo río y condición de borde del tipo recarga. La condición de borde de nivel conocido se obtuvo del completo catastro de captaciones realizado por este consultor para el estudio. En el caso de la desembocadura de los ríos en el océano pacífico, la condición de borde fue de un nivel igual a cero.

En el caso de la condición de borde tipo río, se utilizaron celdas tipo "river" de Visual Modflow, cuya ventaja es que permite representar las variaciones estacionales de la interacción napa-río, cuando por efecto de la variación de los caudales en el río y/o posición de la napa, se generan diferentes valores de los flujos de intercambio, en un sentido y en el otro (recuperación o infiltración). En el caso del modelo Huasco, solo se representó el río del mismo nombre, mientras que en los modelos de Mataquito se representaron los ríos Teno, Lontué y Mataquito.

En relación con la condición de borde del tipo recarga, se consideraron porcentajes que van desde un 15% a un 20% de la precipitación que cae sobre la zona de estudio y de un 5% a un 10% de los aportes de laderas y cuencas de

quebradas que rodean el valle. Los porcentajes mayores corresponden a valores adoptados en la cuenca del Mataquito y los menores a los adoptados en la cuenca del Huasco. También se consideró la recarga por percolación en las zonas de riego, la cual es dependiente del tipo de cultivo y la metodología de riego utilizada.

El proceso de calibración del modelo debe tomar en cuenta muchas variables y magnitudes, siendo los siguientes los más importantes:

- Niveles en el tiempo (limnigramas) de los sondajes ubicados dentro de la zona modelada.
- Caudales de infiltración desde los cauces hacia el acuífero, los que deben ser compatibles con la estimación de pérdidas que se tengan según los estudios existentes.
- Caudales de recuperación hacia los cauces principales, y también coherentes con las estimaciones que se tengan.
- Balance general del sistema acuífero, que de cuenta de valores plausibles y reales según las estimaciones que se tengan del funcionamiento general del sistema hídrico asociado a la zona de estudio.

Debido a la falta de registros históricos, el modelo de la cuenca del Mataquito solo fue calibrado en régimen permanente (verificado en transiente), mientras que el modelo de la cuenca del Huasco pudo ser calibrado además en régimen transiente.

Los resultados de la calibración en ambas cuencas fueron satisfactorios obteniéndose un error relativo de ajuste de niveles (RMS<sup>6</sup>) de menos de 4%. Para el caso de la cuenca del Huasco (única que cuenta con registros históricos de niveles) su ajuste para un periodo de 10 años de simulación también fue satisfactorio.

Finalmente, en cuanto al resultado de los balances hídricos, la calibración en régimen permanente de la cuenca del Mataquito entregó un error de cierre del 2.97%, mientras que en la cuenca del Huasco el error total de cierre fue de 0.06%. El resultado del balance hídrico para el caso transiente en la cuenca del Huasco, es parecido en cuanto a la magnitud de los flujos al del régimen permanente, variando estacionalmente según las solicitaciones externas (recargas y río principalmente). El error de balance máximo es de sólo 0.26 % en el "stress period" 11 (día 324).

## 7. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE CONTAMINACIÓN

Para la modelación del transporte de contaminantes se identificaron fuentes de tipo difuso (Aplicación de Pesticidas y Fertilizantes) y puntual (Actividad

---

<sup>6</sup> Root Mean Square.

Ganadera). La modelación se realizó en cada cuenca para la situación más desfavorable, la cual fue escogida en base a los siguientes criterios: carga por unidad de superficie, superficie total de aplicación del contaminante, carga total de contaminante aplicado, toxicidad, naturaleza orgánica y lugar de aplicación.

Las Tablas 7-1 y 7-2 muestran la selección adoptada para Fertilizante y Pesticida en las cuencas de Huasco y Mataquito. Esta selección fue realizada en un conjunto de 3 fertilizantes y 51 pesticidas utilizados en las cuencas. En cuanto a la Actividad Ganadera, se utilizó un valor de concentración de contaminante (DBO<sub>5</sub>) igual a 1040 mg/l, el cual resulta luego de aplicar a los purines un proceso de biodigestión y dilución con aguas de riego.

Tabla 7-1  
Pesticidas Modelados. Huasco y Mataquito

	Unidad	Huasco	Mataquito	
Pesticida	-	Dimetoato	Carbuforano	Atrazina
Tasa de aplicación	lt/Ha	2	20 (kg/Ha)	3 – 3.5
Área total de aplicación	Ha	2665	40317	58212
Masa total aplicada	m <sup>3</sup>	5.3	806.3 (ton)	196.2
Toxicidad	-	Moderada	Moderada	Moderada - Leve
Naturaleza Orgánica	-	Si	Si	No
Aplicado al Suelo	-	No	Si	Si

Tabla 7-2  
Fertilizantes Seleccionados. Huasco y Mataquito

	Unidad	Huasco	Mataquito
Fertilizante	-	Nitrato	Nitrato
Tasa de Aplicación	kg/Ha	651	4922
Área de Aplicación	Ha	11488	9977
Masa Total Aplicada	ton	7478	49105

La modelación se realizó mediante la utilización del programa WHI Unsat Suite Plus, capaz de simular el comportamiento a través del tiempo de un contaminante en un medio no saturado. Se utilizó el módulo PESTAN para la simulación de la contaminación por pesticidas y el módulo VS2DT para la simulación de la contaminación por fertilizantes y actividad ganadera.

La Tabla 7-3 muestra los diferentes escenarios de modelamiento, los cuales se diferencian según el tipo de contaminante, cuenca y comuna que se ve afectada.

Tabla 7-3  
Escenarios de Modelamiento. . Huasco y Mataquito

Código	Contaminante	Cuenca	Comuna
P-H1	Pesticida - Dimetoato	Huasco	Vallenar
P-M1	Pesticida - Atrazina	Mataquito	Sagrada Familia
P-M2	Pesticida - Atrazina	Mataquito	Teno
P-M3	Pesticida - Carbofurano	Mataquito	Curicó
P-M4	Pesticida - Carbofurano	Mataquito	Hualañé
F-H1	Fertilizante - Nitrato	Huasco	Vallenar
F-M1	Fertilizante - Nitrato	Mataquito	Hualañé
G-M1	Ganadería - DBO <sub>5</sub>	Mataquito	Curicó

Se utilizaron límites máximos aceptables para los contaminantes, los cuales fueron obtenidos de las normas chilenas, en el caso de DBO<sub>5</sub> y Nitrato, y de normas extranjeras en el caso de los pesticidas, debido a que en Chile no existe regulación de los pesticidas modelados.

Los resultados de la modelación muestran que los pesticidas Dimetoato y Carbofurano reducen su concentración a niveles aceptables en tan solo un par de metros de profundidad, con el cual el potencial riesgo que éstos producen en el agua subterránea es muy bajo.

En cuanto al caso del pesticida Atrazina, su comportamiento muestra que en un período de simulación de 50 años alcanza a penetrar una profundidad de más de 20 metros con una concentración por sobre los límites aceptables. Este hecho muestra un potencial peligro en las zonas que aplican este pesticida, sobretodo aquellas que poseen niveles de agua subterránea muy someros. En este sentido, las zonas de riesgo en los escenarios P-M1 y P-M2 son aquellas que se encuentran más cercanas a los cauces superficiales. Para este caso, se realizó un análisis de seguimiento de partículas mediante la rutina Modpath de Visual Modflow, la cual mostró que el contaminante, luego de alcanzar el agua subterránea, continúa su recorrido hasta aflorar en el río Mataquito.

En relación con la aplicación de nitrato como fertilizante, este es capaz de penetrar 3.5 m y 5.5 m en el caso de los escenarios F-H1 y F-M1, respectivamente. Estos resultados muestran un potencial riesgo de contaminación en las zonas próximas a los ríos.

Finalmente, el escenario G-M1 muestra muy poca penetración de la DBO<sub>5</sub> en el suelo, principalmente provocada por la tasa de decaimiento de ésta. Esta penetración resulta ser de tan solo 0.7 m., resultando ser un riesgo mínimo para el agua subterránea de la zona.

## 8. PLAN DE MANEJO HIDROGEOLÓGICO

Una propuesta de manejo de las aguas subterráneas debe considerar en primer lugar la necesidad de conocer en la situación actual el estado de las demandas y de la oferta de esas aguas.

En el caso de las cuencas de los ríos Huasco y Mataquito se considera como relevante las perspectivas de desarrollo agrícola de ambos valles, el estado basal actual de los acuíferos, en cuanto a la calidad de sus aguas, y la potencialidad de que puedan ser contaminados, lo que ocurre, casi exclusivamente, a través de la zona no saturada

En la cuenca del río Huasco se ha determinado la existencia de tres áreas potenciales para mayor desarrollo agrícola y uso de aguas subterráneas:

- La primera corresponde al área costera, en donde debido a la calidad actual de sus suelos y el clima imperante, se debe continuar el trabajo con olivos, pero en vez de ser destinados al consumo de mesa, deben ser orientados a la producción de aceite. En aquellos suelos de mayor potencial se podría cultivar rubros tan rentables como las mandarinas y paltos.
- En el área intermedia, correspondiente básicamente a alrededores de Vallenar, y al poniente del embalse de Santa Juana, además del cultivo de cítricos, paltos y olivos, se puede pensar en la introducción de hortalizas de consumo fresco bajo invernadero y hortalizas con destino agroindustrial. De esta forma, en estado fresco se puede cultivar bajo invernadero tomates y pimentones, que en la forma de primores poseen una alta rentabilidad, y de alcachofines para uso agroindustrial.
- En los valles precordilleranos de El Tránsito y San Félix, el principal cultivo a considerar es la uva de mesa, la cual tiene ventajas comparativas en esta zona debido al clima y al uso de laderas para su mejor exposición.

Con respecto a la cuenca del río Mataquito la situación es diferente. El valle del Mataquito ha adquirido ya un desarrollo agrícola suficiente, de modo que aunque los proyectos futuros existen, no serían ni tan sensibles al tema de la disponibilidad de aguas subterráneas, ni al de su calidad, como los del Huasco, salvo contadas excepciones. En particular, se tienen las siguientes perspectivas de desarrollo:

- En la zona de Romeral y Teno (área nor-oriental), sería adecuada la intensificación con berries, manzanos y cerezos que poseen una adecuada rentabilidad por hectárea.
- En la zona de Curicó, se da una amplia gama de especies, entre las que se recomiendan vides viníferas, cerezos, manzanos y berries.

- En Molina (sector sur-oriente), el principal rubro a explotar es la vid vinífera, además de algunos berries y cerezos.
- En la zona intermedia, donde se ubican las comunas de Sagrada Familia, Rauco y Hualañé, además de considerar en cultivo de vides viníferas, se debe pensar en la introducción de frambuesa y olivos para la producción de aceite.
- En el área costera, específicamente Licantén y Curepto, se plantea el cultivo de frutillas y olivos.

En el presente estudio se ha cumplido con el objetivo de caracterizar el estado actual del agua subterránea asociada a los principales acuíferos presentes en los valles de los ríos Huasco y Mataquito, en cuanto a su cantidad y calidad. Dicho objetivo ha sido logrado, pese a los pocos antecedentes disponibles, particularmente de calidad, y apoyándose en la modelación de los procesos de transporte de sustancias indeseables hasta las napas, por la acción del manejo que se hace allí de los recursos de agua, por los compuestos que se aplican en áreas agrícolas, para proteger cultivos y aumentar su producción, y por la disposición de desechos líquidos y sólidos.

Para lograr un mayor conocimiento del estado y dinámica de los sistemas de aguas subterráneas, algunas líneas de acción consideradas prioritarias según la realidad establecida para cada zona del estudio serían las siguientes:

- Establecer una red de vigilancia y control de niveles y de calidad del agua subterránea en la cuenca del Mataquito.
- Implementar una red de vigilancia de la calidad del agua subterránea en la cuenca del río Huasco, también de competencia de la DGA.
- Desarrollar estudios para mejorar la caracterización de los acuíferos en el valle del río Huasco y de su comportamiento.
- Como ocurre en todos los casos en que en nuestro país se ha intentado realizar estudios como éste, hay un casi total desconocimiento de los valores de parámetros que son fundamentales si se pretende hacer un seguimiento a los procesos de flujo y transporte en la zona no saturada del suelo. Esto significaría incentivar a Universidades y Centros de Investigación Tecnológica sobre la necesidad de que, a estas alturas del Siglo XXI, definan líneas de investigación prioritarias en torno a estos temas.

Como pudo deducirse del presente estudio, en la actualidad no se detectó una franca contaminación antrópica de los acuíferos con información en ambos valles (los asociados a los ríos Huasco y Mataquito). Tampoco existe una limitación actual por falta de disponibilidad de recursos en ninguno de los acuíferos estudiados.

No obstante ello, es posible que en el corto o mediano plazo sea necesario considerar por parte de la DGA, la declaración de un Área de Restricción para nuevas explotaciones en el valle del Huasco, debido al incremento sostenido de las aguas subterráneas para hacer frente a las buenas perspectivas de desarrollo agropecuario del valle. En esto está el mencionado caso del proyecto de AGROSUPER que implica una importante demanda de aguas subterráneas.

Otro elemento de gestión territorial e hidroambiental importante sería la delimitación de zonas o perímetros de protección, equivalentes a los utilizados en Estados Unidos y Europa desde hace mucho tiempo, pero que en el país aún no se implementan como instrumento legal de gestión. Sería entonces conveniente que en el país se promulgue una norma o reglamento sobre la protección de captaciones de agua subterránea destinadas a usos prioritarios (como el consumo potable). Si bien algunas empresas del sector sanitario toman en cuenta ese aspecto en sus políticas de desarrollo, actualmente no es materia de ley la limitación de las actividades en superficie, a objeto de proteger las fuentes de recarga de las napas de aguas subterráneas ante actividades potencialmente contaminantes.

En tal sentido y según los resultados del presente trabajo, cabe destacar lo siguiente:

- El uso intensivo de fertilizantes y pesticidas en una presión que está presente en ambos valles, siendo en algunos sectores de mayor relevancia por su mayor riesgo, como se ha analizado en este estudio. En ese sentido es de gran relevancia que los servicios relacionados con el tema aborden la tarea de mejorar el conocimiento para su análisis.
- El crecimiento de las industrias, sobre todo del tipo agropecuario en ambos valles (y mineros en el Huasco Alto), implica la necesidad de disponer de los RILes, para lo cual es ya una costumbre en el país la práctica de eliminar dichos efluentes mediante parcelas de riego (filtro verde), lo que tiene un evidente riesgo de contaminación cuando las condiciones de operación no son las adecuadas (especies con altas tasas de evapotranspiración, métodos y tasas de riego, capacidad del suelo como elemento de almacenamiento de contaminantes, condiciones climáticas cambiantes, etc.).
- No se detectó contaminación debida a las aguas servidas, históricamente vertidas a los cauces, que hayan afectado a los acuíferos. Dado la existencia de planes de saneamiento de aguas servidas en actual implementación, tanto para las ciudades mayores como para centros poblados de menor tamaño, se estima que éste no será un factor relevante que deba tenerse en cuenta a futuro.