



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

**INFORME TÉCNICO N° 54  
ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LOS  
RECURSOS HIDRICOS SUBTERRÁNEOS  
ACUÍFERO CUENCA DEL RIO LA LIGUA  
Vª REGION**

**REALIZADO POR:**

**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN  
DE RECURSOS HÍDRICOS**

**S.D.T. N° 166**

**Santiago, Marzo de 2004**

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

**M.O.P.**  
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
 OFICINA DE PARTES  
 RESOLUCION TRANSMITIDA  
 08 ABR 2004  
 Fecha

REF.: Aprueba el Estudio "Informe Técnico N° 54. Actualización de la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos acuífero cuenca del río La Ligua, Vª Región".

MINISTERIO DE HACIENDA  
 OFICINA DE PARTES  
 RECIBIDO

CONTRALORIA GENERAL  
 TOMA DE RAZON

RECEPCION

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

REFRENDACION

REF. POR \$ \_\_\_\_\_  
 IMPUTAC. \_\_\_\_\_  
 ANOT. POR \$ \_\_\_\_\_  
 IMPUTAC. \_\_\_\_\_  
 DEDUC. DTO. \_\_\_\_\_

SANTIAGO, 08 ABR 2004  
 D.G.A. N° 401

VISTOS : El estudio "Informe Técnico N° 54. Actualización de la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos acuífero cuenca del río La Ligua, Vª Región". S.D.T. N° 166 de marzo de 2004; y las atribuciones que me confiere el artículo 300 letra c) del Código de Aguas.

RESUELVO:  
**EXENTA**

- 1.- APRUEBASE el Estudio denominado "Informe Técnico N° 54 Actualización de la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos acuífero cuenca del río La Ligua, Vª Región". S.D.T. N° 166 de marzo de 2004.
- 2.- COMUNIQUESE la presente resolución al Sr. Secretario Regional Ministerial de Obras Públicas de la Vª Región, a los Departamentos de la Dirección General de Aguas y Oficina Regional de la Dirección General de Aguas de la Vª Región.

ANOTESE Y COMUNIQUESE

  
 HUMBERTO PEÑA TORREALBA  
 INGENIERO CIVIL  
 DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>BALANCE GLOBAL y DE LOS ACUIFEROS .....</b>	<b>7</b>
	Balance Global.....	7
	Balance de los acuíferos.....	8
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS DE LA MODELACION.....</b>	<b>13</b>
<b>6.</b>	<b>EFFECTO DEL AUMENTO DE BOMBEO SOBRE LOS CAUDALES CAPTADOS POR LOS CANALES y RIO LIGUA.....</b>	<b>15</b>
	CANALES.....	15
	RIO LIGUA.....	16
<b>7.</b>	<b>DERECHOS DE APROVECHAMIENTO.....</b>	<b>20</b>
	Demanda.....	20
	Caudal sustentable de Explotar en el Acuífero de la Cuenca del río Ligua.....	20
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**INFORME TECNICO N° 54**  
**ACTUALIZACION DE LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**SUBTERRÁNEOS ACUÍFERO CUENCA DEL RIO LA LIGUA, Vª REGION.**

**SANTIAGO, 5 DE MARZO 2004**

**1. INTRODUCCION.**

El acuífero del valle del río Ligua se localiza en la Provincia de Petorca, Vª Región y abarca parte de las comunas de La Ligua, Cabildo y una pequeña parte de la comuna de Papudo. Tiene un régimen hidrológico mixto, nival y pluvial.

Las características y el comportamiento que muestra el sistema han conducido a subdividir el valle en tres zonas principales y uno secundario, cuyos límites se indican a continuación:

Zona 1: Alicahue-Quebrada la Cerrada- Quebrada Vitahue- Quitalcura

Zona 2: Quebradas Vitahue- Quitalcura- Estero Los Angeles

Zona 3: Estero Los Angeles- Placilla

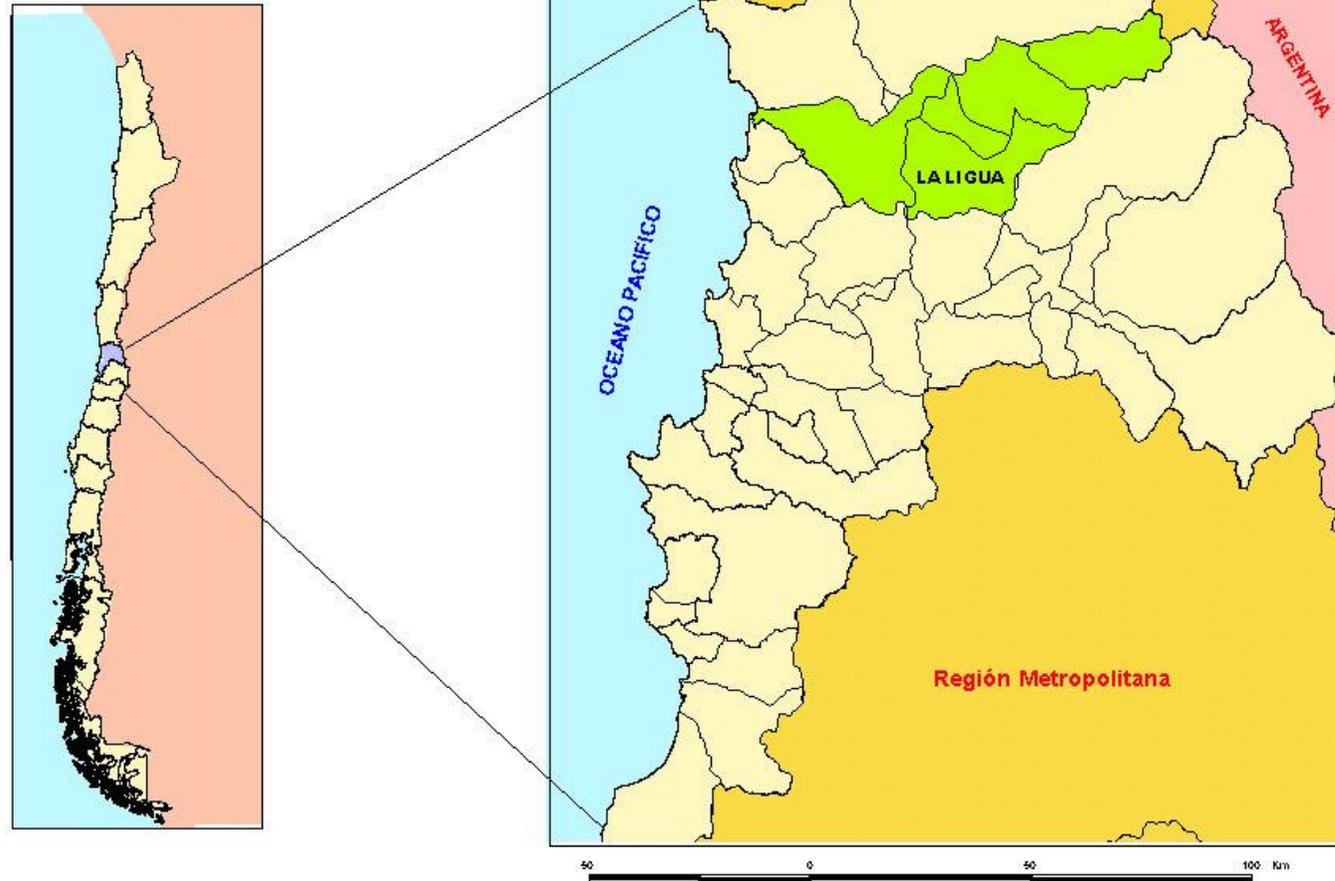
Zona 4: Tributario Estero Los Angeles

En los mapas 1 y 2 se muestran la ubicación de la zona de estudio y la delimitación de la cuenca del acuífero del río Ligua. La delimitación se realizó en base a la cartografía IGM escala 1:50.000 y consideró criterios hidrológicos e hidrogeológicos del sector, esta delimitación se encuentra definida en el "Informe de Zonificación Hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y Vª", SDT N° 133 de mayo de 2002. La delimitación de la cuenca del valle del río Ligua abarca una superficie de 1980 Km<sup>2</sup> aproximadamente.

El presente informe corresponde a la actualización de la evaluación de los recursos subterráneos del acuífero del río La Ligua y está orientado a determinar el caudal susceptible de ser otorgado como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca. Este informe reemplaza a la Minuta N° 14 de fecha 10 de octubre de 1996.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DEPTO. DE ADM. DE RECURSOS HÍDRICOS  
VSM

### VALLE DEL RIO LA LIGUA V REGION



MAPA 1

DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956  
PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM  
EDICION MARZO 2004  
p. 19/20.ppt



## 2. OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es analizar la factibilidad de constituir nuevos derechos de aprovechamiento en el valle del río La Ligua, por sobre los derechos considerados en la Minuta Técnica N° 14 de fecha 10 de octubre de 1996. Para ello se actualizó la demanda de solicitudes subterráneas ingresadas a tramitación hasta el 30 de noviembre de 2003.

Para determinar si es factible constituir nuevos derechos de aprovechamiento posteriores a los señalados en la minuta 14, la Dirección General de Aguas, ha desarrollado el Informe “Evaluación de los Recursos Hídricos, Cuenca del río Ligua, Vª Región”, SIT N° 80 de marzo de 2002. El objetivo de dicho informe fue orientado a evaluar los efectos del bombeo sobre el acuífero y también evaluar el efecto del bombeo sobre los caudales en el río y sobre los caudales captados por los canales, para ello se revisó y actualizó el Modelo Operacional del Sistema MOS-Ligua, que la Dirección General de Aguas ha utilizado en la evaluación de los recursos de la cuenca del río Ligua.

## 3. METODOLOGIA

Para la elaboración del Informe “Evaluación de los Recursos Hídricos, Cuenca del río Ligua, Vª Región”, se hizo una evaluación completa del modelo desarrollado en el estudio “**Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos de las Cuencas de los ríos Petorca y Ligua**”<sup>1</sup>, se realizó la recalibración completa de este modelo y se desarrollaron una serie de simulaciones en las que se analizaron diferentes escenarios, en cuanto a su viabilidad, a sus efectos sobre el acuífero y sobre los canales superficiales.

Los escenarios de interés que se definieron para el informe SIT N°80 se presentan a continuación:

Escenario F1B:

Caudales correspondientes a las extracciones de derechos de aguas subterráneas otorgados en todo el valle hasta **Diciembre 1995**.

Escenario F2B:

Caudales correspondientes a extracciones de derechos de aguas subterráneas totales otorgados más solicitados, en todo el valle, hasta **Septiembre 1996**.

Escenario F4B:

Caudales correspondientes a extracciones de derechos de aguas subterráneas totales, otorgados más solicitados, en todo el valle, **hasta Marzo 2001**.

---

1 DGA, IPLA Ltda.- AC Consultores. Septiembre de 1998

Para realizar la modelación se definieron 13 sectores de riego en el valle del río La Ligua, estos sectores se presentan en el mapa 3 junto con la delimitación de las cuatros zonas en las cuales se ha dividido el valle del río La Ligua para efecto de este informe técnico. La extracción neta de los derechos subterráneos, por sector de riego, en cada uno de los escenarios analizados, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla N°1  
Extracciones netas correspondientes a los derechos de  
aguas subterráneas en el valle de La Ligua.  
Evolución diciembre 1995 a marzo 2001

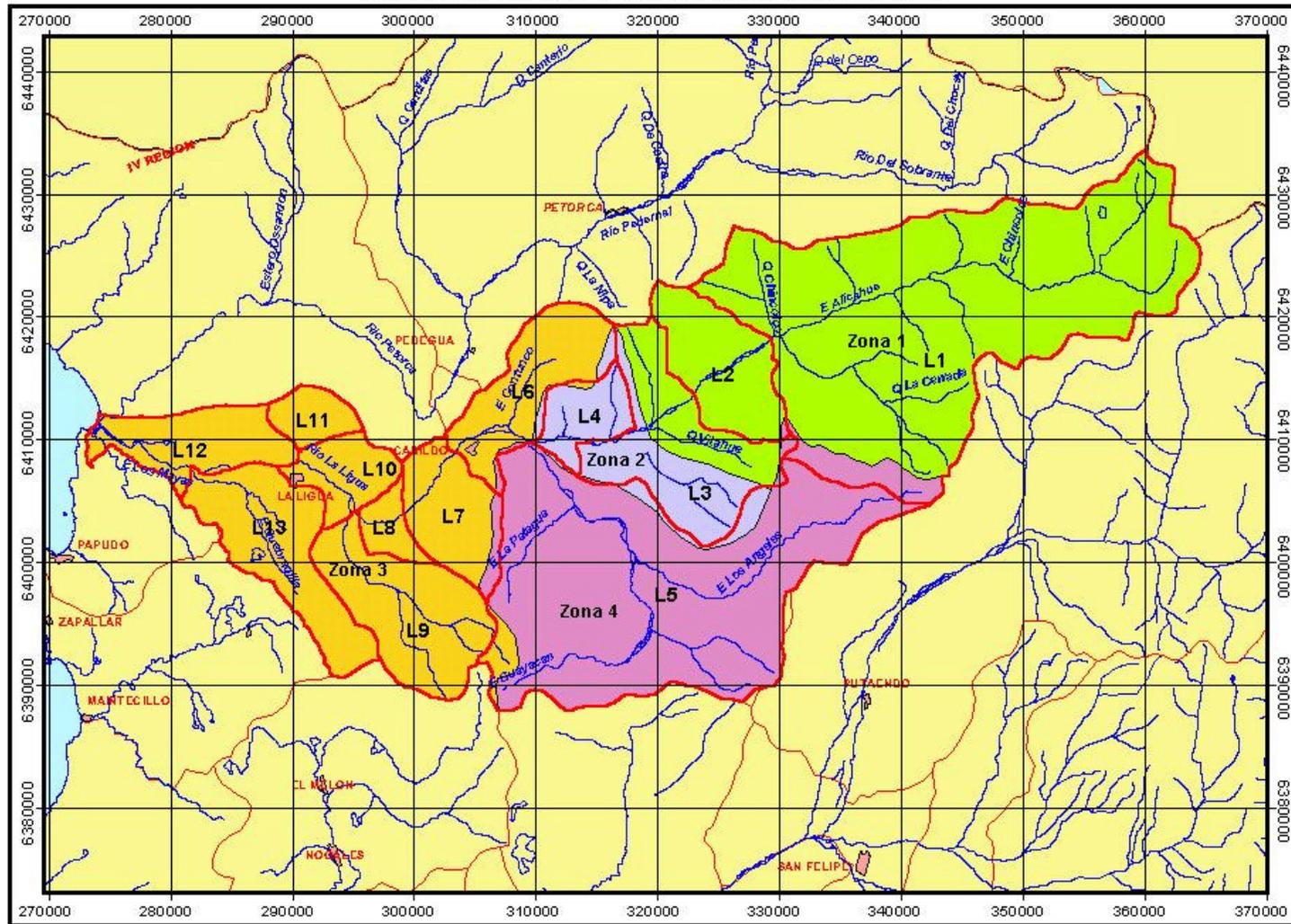
Sector	Esc. F1B Dic.1995		Esc. F2B Sept.1996		Esc. F4B Marzo 2001	
	Total Der. l/s	Der. Riego l/s	Total Der. l/s	Der. Riego l/s	Total Der. l/s	Der. Riego l/s
1	0	0	0	0	13	13
2	36	36	37	37	95	95
3	176	142	187	152	190	156
4	95	95	95	95	95	95
5	20	12	28	20	85	67
6	216	69	216	69	242	72
7	271	271	271	271	252	252
8	57	57	57	57	64	64
9	30	30	30	30	28	28
10	286	85	294	93	279	93
11	0	0	0	0	0	0
12	123	66	123	66	134	64
13	65	65	65	65	92	78
Total	1375	928	1403	955	1569	1077

Fuente: Departamento Administración de Recursos Hídricos, DARH.

En esta tabla se puede observar que entre 1995 (escenario F1B) y 2001 (escenario F4B), no ha habido gran desarrollo de las aguas subterráneas en el valle del río La Ligua. En toda la cuenca, los 928 l/s correspondientes a la extracción neta de los derechos para riego constituidos hasta 1995, hasta marzo 2001 sólo se incrementan con extracciones netas de 149 l/s, llegando a un total de 1077 l/s como extracción neta de los derechos para riego.

También se puede observar que el aumento de solicitudes se produce fundamentalmente en los sectores 2, 5 y 13.

SECTORES DE RIEGO - VALLE DEL RIO LA LIGUA V REGION



DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956  
 PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM  
 EDICION MARZO 2004  
 riego\_ligua.apr



MAPA 3

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
 DEPTO. DE ADM. DE RECURSOS HIDRICOS  
 1974

#### 4. BALANCE GLOBAL y DE LOS ACUIFEROS

##### Balance Global

Para obtener una idea gruesa pero clara acerca de lo que ocurre con los recursos hídricos en el valle, se efectuó un balance hídrico global para el valle del Ligua, el cual presenta las siguientes características:

Tiene por entradas:

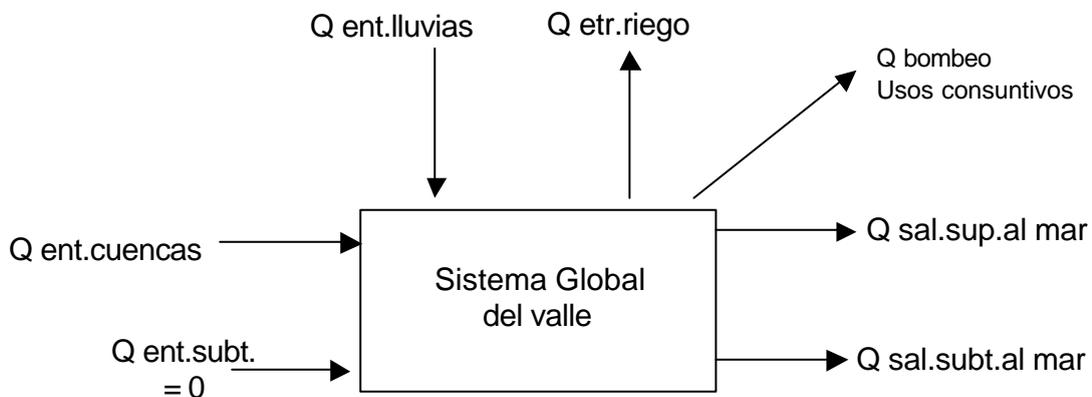
- Los caudales superficiales entrantes desde las cuencas de cabecera, más los caudales superficiales entrantes desde las cuencas aportantes de cada sector de riego.
- Los aportes de la lluvia directa sobre los sectores de riego
- Las entradas subterráneas que son = 0.

Tiene por salidas:

- La evapotranspiración desde los sectores de riego
- Las salidas superficiales al mar
- Las salidas subterráneas al mar
- Los bombeos que no son para riego, que se suponen consuntivos

La diferencia entre entradas y salidas representa las variaciones del almacenamiento, tanto en el suelo no saturado como en el acuífero.

A continuación se presenta un esquema del balance hídrico global del valle:



*Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA, Departamento de Estudios y Planificación.*

Los valores resultantes para los escenarios F1B y F4B son los siguientes:

Tabla N°2. Caudales del balance global, en l/s		
Item	Escenario F1B	Escenario F4B
<b>Entradas</b>		
Q entrada cuencas aportantes	4.091	4.091
Q aportes de lluvia	0.786	0.786
Q entrada subterránea	0.000	0.000
Total entradas	4.876	4.876
<b>Salidas</b>		
Evapotranspiración	1.487	1.520
Salida superficial al mar	2.800	2.739
Salida subterránea al mar	0.146	0.141
Uso Consumo	0.447	0.492
Total salidas	4.880	4.893
Variación de Almacenamiento.	-0.004	-0.016

Fuente:

Marzo 2002. DGA, Departamento de Estudios y Planificación.

SIT N° 80 de

En la tabla se observa que en ambas situaciones se obtiene una variación de almacenamiento negativa, lo que significa un vaciamiento del sistema de 4 l/s en el escenario F1B y 16 l/s en el escenario F4B como promedio para el período simulado.

El hecho que se acentúe este vaciamiento en el escenario F4B, está determinado por el acuífero Jaururo, que no tolera a la explotación impuesto en el escenario F4B.

### **Balance de los acuíferos**

A continuación se presenta el balance de los acuíferos en los escenarios F1B y F4B. Los componentes de este balance son los siguientes:

#### **Entradas**

- Caudal de entrada subterránea: se considera igual a cero en las cabeceras y afluentes, pero es distinta de cero en los demás sectores acuíferos. De hecho, en tales acuíferos, la entrada subterránea es igual a la salida subterránea del acuífero inmediatamente superior.

- Recarga: la recarga a los acuíferos se compone de tres partes:
  - recarga desde ríos
  - recarga desde sectores de riego y canales
  - recarga por infiltración de la lluvia

La suma de las tres constituye la recarga potencial o disponible para cada sector acuífero.

### **Salidas**

- bombeos,
- salidas subterráneas y
- vertidos.

Los vertidos incluyen las aguas en exceso, es decir, aquella parte de la recarga que no puede entrar al acuífero cuando éste está “lleno”.

En las tablas a continuación, se presentan los balances completos promedio de todo el período de análisis, para cada acuífero, y para el acuífero completo de todo el valle, de las simulaciones según derechos, que son los escenarios F1B y F4B.

En una columna adicional, se presentan los caudales superficiales afluentes a cada tramo, para registrar la variación que ellos sufren entre un escenario y otro.

Tabla N°3. Balance de los sectores acuíferos y del acuífero completo, en m <sup>3</sup> /s											
Escenario F1B											
Acuífero	Entradas subterráneas	Percolación Río	Percolación Lluvia	Percolación Riego	Total Recargas	Total Entrada	Salidas Subterráneas	Vertidos	Bombeos	Total Salidas	Caudal afluente
1	0.000	0.025	0.027	0.150	0.202	0.202	0.123	0.079	0.000	0.202	1.613
2	0.123	0.032	0.032	0.214	0.278	0.401	0.261	0.104	0.036	0.401	1.843
3	0.261	0.037	0.030	0.224	0.291	0.552	0.284	0.092	0.176	0.552	1.753
4	0.284	0.032	0.018	0.098	0.148	0.432	0.206	0.131	0.095	0.432	1.602
5	0.000	0.032	0.015	0.050	0.097	0.097	0.027	0.050	0.020	0.097	0.740
6	0.233	0.032	0.018	0.096	0.146	0.379	0.166	0.001	0.216	0.383	2.402
7	0.166	0.085	0.036	0.169	0.290	0.456	0.120	0.065	0.271	0.456	2.381
8	0.120	0.035	0.022	0.101	0.158	0.278	0.175	0.046	0.057	0.278	2.346
9	0.000	0.022	0.008	0.020	0.050	0.050	0.016	0.004	0.030	0.050	0.372
10	0.192	0.016	0.039	0.148	0.203	0.395	0.117	0.002	0.286	0.405	2.668
11	0.000	0.001	0.001	0.003	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.005	0.057
12	0.123	0.021	0.060	0.129	0.210	0.333	0.141	0.069	0.123	0.333	2.679
13	0.000	0.003	0.016	0.059	0.078	0.078	0.005	0.008	0.065	0.078	0.219
Acuífero completo	0.000	0.373	0.322	1.461	2.156	2.156	0.146	0.651	1.375	2.172	
Balance										-0.016	
Acuífero											

Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA Departamento de Estudios y Planificación

Tabla N° 4. Balance de los sectores acuíferos y del acuífero completo, en m<sup>3</sup>/s

**Escenario F4B**

Acuífero	Entradas subterráneas	Percolación Río	Percolación Lluvia	Percolación Riego	Total Recargas	Total Entrada	Salidas Subterráneas	Vertidos	Bombeos	Total Salidas	Caudal afluente
1	0.000	0.025	0.028	0.151	0.204	0.204	0.122	0.069	0.013	0.204	1.613
2	0.122	0.032	0.034	0.228	0.294	0.416	0.253	0.068	0.095	0.416	1.843
3	0.253	0.037	0.030	0.230	0.297	0.550	0.279	0.082	0.190	0.551	1.748
4	0.279	0.032	0.018	0.098	0.148	0.427	0.205	0.126	0.095	0.426	1.591
5	0.000	0.032	0.018	0.071	0.121	0.121	0.021	0.015	0.085	0.121	0.740
6	0.227	0.032	0.018	0.100	0.150	0.377	0.140	0.000	0.242	0.382	2.368
7	0.140	0.084	0.035	0.165	0.284	0.424	0.115	0.057	0.252	0.424	2.342
8	0.115	0.035	0.022	0.099	0.156	0.271	0.168	0.040	0.064	0.272	2.290
9	0.000	0.022	0.008	0.019	0.049	0.049	0.017	0.004	0.028	0.049	0.372
10	0.185	0.015	0.039	0.150	0.204	0.389	0.118	0.003	0.279	0.400	2.615
11	0.000	0.001	0.001	0.003	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.005	0.057
12	0.123	0.021	0.060	0.127	0.208	0.331	0.139	0.059	0.134	0.332	2.631
13	0.000	0.003	0.017	0.064	0.084	0.084	0.003	0.001	0.092	0.096	0.219
Acuífero completo		0.000	0.371	0.328	1.505	2.204	2.204	0.142	0.524	1.569	2.235
Balance Acuífero											-0.031

Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA Departamento de Estudios y Planificación

En las tablas antecedentes se puede observar que el aumento de bombeo en los diferentes acuíferos tiene un efecto menor sobre los flujos subterráneos entre los acuíferos, pero genera una reducción de los vertidos dentro de cada uno de los sectores.

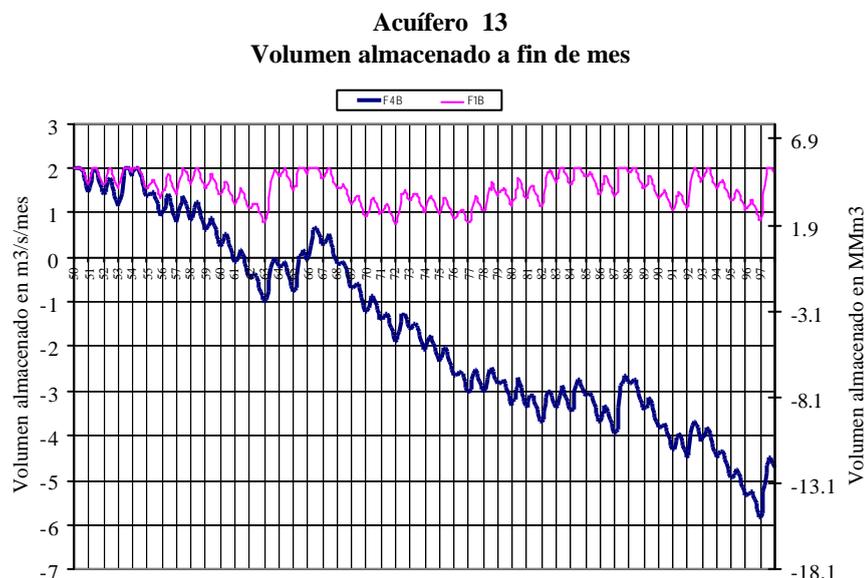
Por otro lado, se observa que, a medida que aumenta el bombeo, aumentan también las recargas. Sin embargo, el aumento de las salidas por bombeo es mayor, de modo que de todas maneras hay una mayor exigencia hacia el acuífero.

Cabe hacer hincapié en el siguiente hecho:

En el balance para el acuífero completo, las cifras de las entradas y salidas subterráneas no corresponden a la suma de los valores de todos los acuíferos. Las entradas subterráneas al acuífero son cero (suma de las entradas en las cabeceras), y las salidas son la suma de los caudales subterráneos de salida de los sectores 12 y 13, que en el modelo son los que salen al mar.

El balance del acuífero completo mostró que en el escenario F1B, el acuífero se vacía a razón de 16 l/s, mientras que en el escenario F4B se vacía a razón de 31 l/s.

Para el escenario F1B, la cifra no es significativa, pues la tendencia es siempre a la recuperación. En el escenario F4B, el responsable de esta baja es el sector de Jaururo, puesto que en los demás sectores, los niveles vuelven prácticamente a su punto de partida, sin excepción, y los caudales de salida igualan a los de entrada en el período considerado. El acuífero 13 es el único en el cual las salidas superan significativamente las entradas, hecho que genera la desestabilización que se observa en el gráfico siguiente:



*Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA Departamento de Estudios y Planificación.*

## 5. RESULTADOS DE LA MODELACION.

De los resultados obtenidos para los escenarios de derechos F1B y F4B en el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos, Cuenca del río Ligua, V Región", SIT N °80, se concluyó que:

1. El aumento de demanda entre los escenarios F1B, derechos otorgados a diciembre de 1995, y el escenario F4B, derechos comprometidos a marzo del 2001, no es significativa: aumenta de 1375 l/s a 1569 l/s de extracción neta, y se concentra en los sectores 2, 5 y 13 del modelo MOS.
2. En relación con el escenario de referencia H00, sin bombeo, y los escenarios de explotación, se observa que las sequías hidrológicas tienen un efecto sensible sobre el volumen almacenado en los sectores de riego 1 y 2, cuyos niveles reflejan el efecto de la hidrología. El resto de los sectores de cabecera de la cuenca, sectores 5, 9, 11 y 13 presentan variaciones casi imperceptibles correspondientes a la hidrología. Por su parte los sectores del valle central se observan a máxima capacidad durante todo el período de simulación, es decir, no reflejan bajas en función de la hidrología. Por lo tanto, en los sectores 3 al 13, la reducción del volumen almacenado que se observa en los escenarios con bombeo, es fundamentalmente atribuible a la explotación. A medida que se intensifica la explotación, aumenta el efecto sobre el acuífero, especialmente en períodos de sequía.
3. En relación con el efecto del bombeo sobre el volumen de los acuíferos, se puede decir que, en general, los sectores de riego 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11 y 12 no presentan variaciones de nivel importantes entre los escenarios F1B y F4B. Las variaciones que se generan son producto de la explotación y de las sequías. Además, algunos acuíferos son pequeños, por lo que tienden a ser más sensibles frente a las explotaciones, pero en general, vuelven a recuperarse, y no mantienen una tendencia a la baja en sus niveles.

El sector 5, estero Los Ángeles, casi no es afectado en el escenario F1B (la explotación era muy pequeña) presenta variaciones de volumen de hasta 2 m<sup>3</sup>/s/mes (25% de su capacidad total) en el escenario F4B, pero también vuelve a recuperarse. El sector 6 tiene variaciones pequeñas con respecto al escenario F1B, pero en este último ya presentaba grandes variaciones de su volumen almacenado y de niveles. No obstante, también presenta una tendencia a la recuperación. El sector de riego 10 es uno de los acuíferos más afectados por la explotación, pero ya sufría fuertes bajas de volumen almacenado en el escenario F1B. Para el caso del sector de riego 13, afluente Jaururo, éste presenta una alta sensibilidad frente a los usos actuales del recurso (escenario F1B) y frente a las condiciones hidrológicas. Para el escenario de bombeo F4B, de 92 l/s de extracción neta, la explotación no es sustentable.

4. El acuífero del estero Jaururo (Sector 13), en el que la extracción neta suma un total de 92 l/s de extracción neta en el escenario F4B, se ve sobreexplotado en esta condición. Los 65 l/s de extracción neta constituidos hasta Diciembre 1995 sólo debieran aumentar hasta 70 l/s para mantener un acuífero viable en este valle. El caudal de 92 l/s de extracción neta generaría el agotamiento irreversible del acuífero en un plazo de 10 años.
5. De acuerdo con lo anterior, se tiene que el acuífero del Ligua admite los caudales de extracción neta que fue sometido en el escenario F4B, y que son los siguientes:

Tabla N°5. Extracción Neta (l/s) acuífero río La Ligua

ZONA	SECTOR	EXTRACCION NETA (l/s)
1	1	13
	2	95
	3	190
2	4	95
	5	85
3	6	242
	7	252
	8	64
	9	28
	10	279
	11	0
	12	134
	13	70
TOTAL		1547

Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA Departamento de Estudios y Planificación.

6. De las modelaciones realizadas se pudo concluir que el acuífero de la Ligua soporta una explotación neta sustentable de 1547 l/s sin producir afecciones a cauces superficiales. Explotaciones mayores a los definidos tabla N°5 producirán afecciones a las aguas superficiales.

## **6. EFECTO DEL AUMENTO DE BOMBEO SOBRE LOS CAUDALES CAPTADOS POR LOS CANALES y RIO LIGUA.**

### **CANALES**

El modelo MOS da la posibilidad de analizar el efecto que el aumento de la explotación subterránea tiene sobre los caudales captados por los canales. A continuación se analiza el comportamiento de las aguas captadas por los canales en cada tramo del modelo, para saber si hay una merma que pudiera ser de consideración.

Los resultados de las simulaciones se presentan mediante dos gráficos para cada tramo de río (Anexo 2). El primero muestra el caudal captado por los canales del tramo en ambos escenarios F1B y F4B, y el segundo, la diferencia porcentual de caudales captados entre ambos escenarios. Porcentajes negativos significan una merma de caudal captado en el escenario F4B, en relación con el escenario F1B.

Se observa en dichos gráficos, lo siguiente:

Los tramos 1, 5, 9, 11 y 13, por ser tramos de cabecera o afluentes, tienen siempre el mismo caudal afluente, independiente del escenario, por lo cual tienen siempre el mismo caudal disponible para los canales, debido a que en la topología del modelo la extracción de canales se efectúa inmediatamente aguas abajo del nodo de entrada al tramo de cabecera. Por este motivo, en estos tramos no hay diferencia para el caudal captado por los canales, entre los escenarios analizados F1B y F4B. De esta forma, a través de este modelo no es posible evaluar la merma de aguas superficiales que produciría la explotación del escenario F4B en los mencionados sectores. Esto significa que la eventual merma en los canales de los sectores mencionados, no es evaluable con este modelo.

Los canales del tramo 2, normalmente no sufren mermas, sino que más bien aumentos de caudal. Las mermas, cuando las hay, se producen en la temporada de riego, y en los años más secos llegan hasta un 10%.

Los canales del tramo 3 generalmente ven aumentado su caudal, especialmente en invierno. Sufren merma sólo ocasionalmente, generalmente al inicio de la temporada de riego, de entre 20 y 40% de su caudal original.

Los canales del tramo 4 tienen casi siempre un superávit cercano al 20%, pero con ocasión de las sequías, una merma que alcanza entre 5 y 40% de su caudal. Esta merma generalmente se produce antes de la temporada de riego, en invierno.

Los canales del tramo 6 presentan generalmente superávit en el período de riego, salvo ocasionalmente en períodos de sequía. Las mermas son muy variables, y pueden llegar al 100%.

Para los canales del tramo 7 se observa lo mismo que para el tramo 6: presentan generalmente superávit en las épocas de riego, y mermas en los períodos de sequía, muy variables, de entre 20 y 100%.

Los canales del tramo 8 presentan una merma sistemática de 15% en plena temporada de riego, y mermas ocasionales mayores, cuando hay sequía, muy variables, que pueden llegar hasta 100%.

Los canales del tramo 10 presentan mermas sistemáticas bajo 2%, y ocasionales, de entre 5 y 40%, generalmente en el invierno.

Los canales del tramo 12 presentan un aumento sistemático de caudal, de un 10%, en plena época de riego. Ocasionalmente, y por lo general en invierno, hay disminución de caudal, de entre 20% y 100%.

Como conclusión del análisis anterior, se puede señalar que el bombeo tiene efectos en ambos sentidos sobre los caudales disponibles para ser captados por los canales: Hay aumentos y mermas. Los tramos más afectados por las mermas, en general las viven en invierno, fuera de la temporada de riego. El tramo más afectado por las mermas, dentro de la temporada de riego, es el tramo 8, con una merma sistemática de 15%.

## **RIO LIGUA**

A continuación se analiza el efecto del aumento del bombeo sobre los caudales en el río, en cada tramo del modelo. Los resultados de las simulaciones se presentan en forma gráfica en las figuras presentadas en el Anexo 3.

Se presentan dos figuras para cada tramo de río: La primera muestra los caudales totales en el tramo, comparando los escenarios F1B y F4B. En la segunda se grafica directamente la diferencia porcentual entre ambos escenarios, debido a que permite tener una clara visión de la magnitud de las consecuencias del incremento de bombeo en los flujos superficiales. La figura de las diferencias no se presenta para los sectores de cabecera; tramos 1, 5, 9, 11 y 13, pues para ellos, como ya se explicó en anteriormente, los caudales de entrada resultan ser los mismos en ambos escenarios.

Al igual que el punto anterior, diferencias positivas significan caudales mayores en el escenario F4B que en el F1B y diferencias negativas significan disminución de caudal en el escenario F4B.

Observando las figuras en detalle, se observa lo siguiente.

En el tramo 2 sólo se observan diferencias en la temporada de riego, con disminuciones puntuales que no superan el 10%, y aumentos también puntuales del orden del 20% con respecto a los flujos del escenario F1B.

En el tramo 3, generalmente hay aumento de caudal, especialmente en invierno. Se aprecian también en la temporada de riego, disminuciones frecuentes, del orden del 20%. En invierno las disminuciones puntuales alcanzan el 40%.

En el tramo 4 se observa en general un aumento sostenido de aproximadamente 18% en la temporada de riego, y algunas disminuciones ocasionales. Las disminuciones ocasionales se presentan generalmente en invierno, y alcanzan hasta 40%.

En el tramo 6 se aprecian aumentos sostenidos de caudal del 58% en la temporada de riego, salvo disminuciones ocasionales. En invierno se observa una disminución promedio del 4% con respecto al caudal del escenario F1B.

En el tramo 7 generalmente se observan aumentos en la temporada de riego, que en promedio alcanzan el 18%. Sin embargo, en las épocas más secas, hay disminuciones del caudal durante la temporada de riego, que pueden llegar a ser muy importantes.

En el sector 8 prácticamente no hay variaciones de caudal durante los meses de invierno, pero se observa una disminución casi sistemática, de hasta un 20%, en los meses de la temporada de riego.

En el tramo 10 se aprecia un leve aumento de caudal en el período de verano y algunas disminuciones ocasionales. En la temporada de invierno hay disminuciones, ocasionales, que llegan hasta un 40%.

En el tramo 12 generalmente se observan aumentos de caudal durante la temporada de riego, de hasta un 10%. Las disminuciones de caudal son ocasionales, se presentan fundamentalmente en los meses de invierno, y son muy variables.

En general, y observando sólo la temporada de riego, se puede decir que en los tramos superiores 2, 4 y 6, no hay disminuciones importantes de caudal en el escenario definido como F4B. En los tramos 7 a 10 se producen disminuciones ocasionales. En el sector 3, las disminuciones durante la temporada de riego son frecuentes, y alcanzan el 20%. El sector más afectado durante la temporada de riego, es el sector 8, que muestra una disminución casi sistemática de alrededor de 20%.

## **ANALISIS DE LA AFECCION A LAS AGUAS SUPERFICIALES**

El análisis presentado hasta aquí muestra que el bombeo, aumentado desde el escenario F1B al escenario F4B, tiene efectos muy menores y tolerables sobre el acuífero (salvo en el sector 13, para el cual se determinó una situación intermedia entre F1B y F4B, hasta la cual puede expandirse el bombeo), y tiene también, como era de esperarse, algunos efectos sobre las aguas superficiales. En este subcapítulo se presenta un análisis enfocado a resumir y calificar

los efectos detectados sobre las aguas superficiales. Para ello se aplicará las siguientes consideraciones:

1. Se considera que no existe afección a los caudales superficiales cuando el porcentaje de merma es menor que un 10%. Este criterio se justifica por el hecho de que el error esperable de medidas y simulaciones puede llegar al 10%.
2. La ocurrencia de mermas comprendidas en el rango de 10% a 50%, serán calificadas de la siguiente manera:
  - sin afección, si las mermas no superan el 5% del tiempo de riego, durante los 48 años.
  - con afección menor, si las mermas se observan entre el 5 y el 20% del tiempo de riego
  - con afección mayor si las mermas se observan entre el 20% y el 50% del tiempo de riego
  - con afección severa si las mermas se observan durante más del 50% del tiempo.
3. Finalmente, las mermas mayores o iguales al 50% serán consideradas de la siguiente manera:
  - sin afección, si no superan el 2% del tiempo de riego durante los 48 años de análisis
  - con afección menor, si se observan entre el 2% y el 5% del tiempo de riego
  - con afección mayor, si se observan entre el 5% y el 20% del tiempo de riego,
  - con afección severa en caso de superar el 20% del tiempo de riego.

El tiempo de riego se consideró comprendido entre octubre y abril de cada año, lo que corresponde a un universo de 336 meses (7 meses por 48 años).

El análisis de afección a los caudales superficiales se realiza sólo en los sectores del río del valle principal, ya que en los sectores de cabecera el caudal afluente no varía en función del escenario simulado.

Para esto y basado en los resultados del capítulo 6.3, se trabajó con los caudales afluentes a los nodos del río que representan el caudal pasante por el río. Considerando como base el flujo superficial resultante del escenario F1B, se calcularon las diferencias tanto en caudal como en porcentaje relativo del escenario F4B en relación con el escenario F1B. A partir de aquí se clasificaron las afecciones en rangos de 10% a 50% y mayores que 50%. Las afecciones menores que 10% no se tomaron en cuenta.

Con esta información se confeccionó la siguiente tabla:

Tabla N°6 Análisis de afecciones aguas superficiales

Tramos								
	T02	T03	T04	T06	T07	T08	T10	T12
Nº meses afecciones entre 10 % y 50 % % afección en relación al Nº total de meses de riego	5  1,5%	36  10,7% Afección menor	12  3,6%	13  3,9%	10  3,0%	68  20,2% afección Menor/mayor	15  4,5%	6  1,8%
Nº meses afecciones mayores al 50%	0	0	1	4	4	4	0	0
% afección En relación al Nº Total de meses De riego	0	0	0,3%	1,2%	1,2%	1,2%	0	0

Fuente: SIT N° 80 de Marzo 2002. DGA Departamento de Estudios y Planificación.

De la tabla anterior se puede concluir que a pesar de que el nivel de afecciones a las aguas superficiales están en un rango tolerable o aceptable, aumentar el bombeo a valores mayores a los impuestos en el escenario F4B, implica aumentar dichas afecciones, lo que conlleva a presentar una situación de afección a derechos de terceros, es decir tener una explotación subterráneas no sustentable en el tiempo. Por lo cual en merito de lo antes expuesto sólo es posible acceder a la constitución de nuevos derechos subterráneos sobre la base de las extracciones netas determinadas en la tabla N°5 del presente informe.

## 7. DERECHOS DE APROVECHAMIENTO.

### **Demanda**

Analizando las peticiones presentadas en la Cuenca del río Ligua se determinó que la demanda vigente de derechos de aprovechamiento al 30 de noviembre de 2003 para el acuífero del es la siguiente:

<b>ACUIFERO</b>	<b>DEMANDA DERECHOS APROV. (l/s)</b>	<b>Nº POZOS</b>	<b>Nº EXP</b>
LIGUA	7.608	467	318

En el Anexo I se presenta el levantamiento de solicitudes de aguas subterráneas, correspondientes al área de estudio, ingresadas a la Dirección General de Aguas que se encuentran constituidas, en trámite y aquellas que pueden ser regularizadas a través del Art. 2° Transitorio del Código de Aguas hasta el 30 de noviembre de 2003 (demanda vigente). No se incluyen en estos listados las solicitudes que han sido denegadas y aquellas regularizaciones que no procede su regularización según lo informado al Juez.

### **Caudal sustentable de Explotar en el Acuífero de la Cuenca del río Ligua**

Basado en los resultados obtenidos de la modelación realizada se tiene que la **OFERTA NETA** sustentable de extraer en el acuífero del río Ligua es de **1547 l/s**.

Por otra parte, la determinación del caudal susceptible de otorgarse como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, se hace sobre la base de la oferta neta sustentable de extraer en el acuífero antes mencionado, y de las recargas inducidas por efecto de la explotación de los derechos previstos para riego y de las pérdidas por conducción de los derechos previstos para agua potable.

Es decir, para determinar los derechos de aprovechamiento que pueden ser constituidos se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{DERECHOS} = \text{OFERTA NETA} + \text{RECARGA INDUCIDA DE RIEGO} + \text{PERDIDAS DE AGUA POTABLE}$$

Donde:

**DERECHOS** = Corresponde al total de derechos que pueden ser constituidos en el acuífero, en carácter de permanentes y definitivos; cuya explotación es sustentable en el tiempo y no afecta derechos de terceros ni al medio ambiente.

**OFERTA NETA** = Corresponde al caudal sustentable que puede ser extraído del acuífero.

**RECARGA INDUCIDA DE RIEGO** = Corresponde a los excedentes que se producen al considerar una extracción de los derechos previstos para riego y que retornan al acuífero. Estos excedentes se producen debido a que al considerar una extracción permanente de estos derechos Las extracciones de los derechos son mayores que las demandas hídricas de los cultivos definidas por la Evapotranspiración potencial<sup>2</sup> . Esta demanda está limitada por las necesidades de agua propias de los cultivos (que está determinada por las etapas de desarrollo de éstos) y por la capacidad de los suelos de retener agua para ser aprovechada por un cultivo cuyos valores se encuentran entre la Capacidad de Campo<sup>3</sup> y el Punto de Marchitez Permanente<sup>4</sup> del suelo.

En general esta recarga inducida de riego se estima en promedio a un 80 % al considerar una extracción permanente en el tiempo, de los derechos para riego.

**PERDIDAS AGUA POTABLE** = Corresponde a las pérdidas originadas de situaciones propias de la operación tales como roturas de cañerías o filtraciones. En el proceso de tarificación la Superintendencia de Servicios Sanitarios considera que el porcentaje de pérdida de la “Empresa Modelo” alcanza aproximadamente al 25% de las extracciones totales de los derechos de aprovechamiento de agua potable. En consecuencia se considera un 25 % como pérdidas por conducción y que retornan al acuífero, de los derechos previstos para agua potable.

---

2 *Evapotranspiración Potencial (Etp)*= corresponde a la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo corto, verde, cubriendo completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y nunca falto de agua.

3 *Capacidad de Campo (CC)*= Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad .

4 *Punto de Marchitez Permanente (PMP)*= Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta.

De los resultados de la modelación se determinó que la **OFERTA NETA** es igual a 1547 l/s y con los datos de la demanda vigente se realizan pruebas iterativas para determinar el valor de los derechos que permiten la explotación sustentable en el acuífero del río La Ligua, determinando que los **DERECHOS** que pueden ser constituidos en el acuífero alcanzan a 5542 l/s, con los siguientes caudales utilizados en Riego y Agua Potable:

Derechos (l/s)		% Recarga o Pérdida		Caudal (l/s)	
Riego	Agua Potable	Recarga inducida Riego	Pérdida Agua Potable	Recarga inducida Riego	Pérdida Agua Potable
4773	707	80	25	3818,4	176,8

Por lo tanto los Derechos susceptibles de constituirse =  $1547 + 3818 + 177 = 5542$  l/s.

Analizando el levantamiento de peticiones presentadas en la Cuenca del río Ligua que determinó la demanda de derechos para este sector al 30 de noviembre de 2003 y sobre la base de la evaluación efectuada mediante el modelo de simulación para el acuífero de la cuenca del río Ligua para determinar la recarga neta sustentable de extraer en el acuífero antes mencionado, y de las recargas inducidas por efecto de la explotación de los derechos previstos para riego y de las pérdidas por conducción de los derechos previstos para agua potable, ha permitido determinar los derechos que pueden ser constituidos en el acuífero, los que contrastados con la demanda vigente al 30 de noviembre de 2003 permiten concluir que es posible constituir derechos de aprovechamiento subterráneos de carácter permanente y definitivo hasta el expediente **ND-V-1-1897** cuya fecha de ingreso es el **23 de octubre de 1996**, considerando que además existen dos solicitudes ingresadas en la misma fecha que el expediente antes mencionado, corresponde constituir derechos de aprovechamiento subterráneos, permanentes y definitivos hasta el expediente **ND-V-1-1908**.

## 8. CONCLUSIONES

**Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas susceptibles de otorgar en el Acuífero de la Cuenca del Río Ligua.**

La determinación del caudal susceptible de otorgarse como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, hecha sobre la base de la oferta neta sustentable de extraer en el acuífero y de las recargas inducidas por efecto de la explotación de los derechos previstos para riego y de las pérdidas por conducción de los derechos previstos para agua potable, ha permitido determinar los derechos posibles de constituir en el sector acuífero del valle del río La Ligua, los que contrastados con la demanda vigente al 30 de noviembre de 2003, permite concluir que:

***La oferta de caudal para constituir derechos en el acuífero de la Ligua sólo permite avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de definitivos, sin producir perjuicios a derechos de terceros para las solicitudes presentadas hasta el expediente ND-V-1-1908.***