

ENAEX SERVICIOS S.A. VIENE EN EVACUAR RESPUESTAS Y COMPLEMENTO DE INFORMACIÓN REQUERIDOS POR LA DIVISIÓN DE SANCIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE, EN RELACIÓN CON AUTODENUNCIA QUE DICHA EMPRESA PRESENTA RELATIVA AL NO INGRESO AL SEIA DEL PROYECTO “PLANTA CONCENTRADORA DE ÁCIDOS, DENOMINADA “PLANTA DENSAC”.

Alejandro Castillo Hamati. Ingeniero Civil Químico y Gerente de la Planta Río Loa de ENAEX SERVICIOS S.A., con Cédula Nacional de Identidad [REDACTED] con mandato suficiente para representar a ENAEX SERVICIOS S.A., Empresa sujeto de la Autodenuncia, según se evidencia en el Mandato Especial que se acompaña como Anexo 1, evacúa en tiempo y forma la contestación correspondiente, según lo ordenado por la Resolución Exenta D.S.C. No 000401, de fecha 5 de mayo de 2017, complementada por la Resolución Exenta D.S.C. No 000479, de fecha 23 de mayo de 2017, esta última que otorga al Regulado una extensión de plazo en 5 días hábiles, para evacuar las respuestas referidas.

Las respuestas requeridas por la División de Sanción y Cumplimiento (en adelante, D.S.C.) de la Superintendencia están referidas a la Autodenuncia por elusión al ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de la Planta Concentradora de Ácido Nítrico y de Ácido Sulfúrico, Planta DENSAC, según se expusiera inicialmente en escrito presentado en la Oficina de la SMA, Regional de Antofagasta, por parte del Regulado, el día 10 de abril de 2017, respecto del que la Autoridad Fiscalizadora Ambiental dictara las dos Resoluciones indicadas en el párrafo anterior, ordenando el complemento de información que ahora se proporciona.

En atención a lo anterior, la Resolución Exenta D.S.C. No 000401 de 5 de mayo de 2017, en su Parte Resolutiva, indica Resuelvo I, donde se requiere a ENAEX SERVICIOS S.A. la información que aquella indica en siete numerales consecutivos.

En efecto, las respuestas del Regulado a los requerimientos de la Autoridad Ambiental, en cuanto a complemento de información, son como siguen:

#### **NÚMERO I 1:**

Identificar la tipología de ingreso principal al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

El proyecto debió haber ingresado al Sistema de Evaluación Ambiental, dentro de la siguiente Tipología, con arreglo al Artículo 3 del DS 40 (RSEIA).

### **Tipología Primaria:**

Artículo 3, letra ñ del RSEIA, “Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas”.

Específicamente la Actividad ingresa por numeral de factor “Almacenamiento”:

ñ.4.) La Planta posee un sector de estanques con capacidad de almacenamiento para sustancias corrosivas, que son utilizados de manera continua en el proceso productivo de concentración de ácidos.

Así, existe un total de 6 estanques, cuyas capacidades suman aproximadamente 290.000 Kg. (sumatoria capacidad de almacenamiento de los estanques), que excede los 120.000 Kg establecidos en el RSEIA, específicamente en el inciso segundo del numeral ñ.4 del Artículo 3 de dicho texto reglamentario.

### **Tipología Secundaria:**

Según el Artículo 3, letra o del RSEIA, ingresan al SEIA “Los Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos”.

Específicamente la Actividad ingresa por numeral:

o.9) Sistemas de tratamiento, disposición y/o Decreto 8, eliminación de residuos peligrosos con una capacidad de veinticinco kilos día (25 kg/día) para aquellos que estén dentro de la categoría de "tóxicos agudos" según DS 148/2003 Ministerio de Salud; y de mil kilos día (1000 kg/día) para otros residuos peligrosos. (Esto último es lo relevante y aplicable).

Los residuos se considerarán sustancias corrosivas o reactivas si se encuentran en las hipótesis de los Artículos 16 y 17 del Decreto Supremo N° 148, de 2003, del Ministerio de Salud, respectivamente, o aquel que lo reemplace.

### **NÚMERO I 2:**

Informar, en forma detallada, el tipo de actividad que se encuentra operando, señalada como Planta Concentradora de Ácidos “Planta Densac”. Para ello deberá incorporar fecha de inicio de actividades de construcción y operación; materias primas utilizadas, con sus respectivas cantidades en masa diaria, en unidad de kg/día; detalles del proceso de concentración de ácidos; estado de funcionamiento actual de la planta; energía total utilizada, en forma adicional, en el proceso, en unidades de KVA; y cantidad de cada ácido producido en masa diaria, en unidades de kg/día. Además de incorporar las unidades de almacenamiento y su capacidad en kilogramos.

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

El proceso de concentración de ácido nítrico (materia prima fundamental para los procesos de fabricación de explosivos) ha experimentado una permanente modernización en la tecnología de producción de ácido nítrico concentrado, desde el inicio de las actividades en Planta Río Loa, hasta llegar a la construcción de la Planta DENSAC, en el año 2007.

En este contexto, a continuación se describe escuetamente la historia de la evolución antes mencionada.

La historia de la concentración de ácido nítrico en Río Loa se remonta a los comienzos de la Planta, donde para concentrar ácido nítrico se utilizaba una Unidad llamada la “Retorta”.

A esta unidad ingresaba salitre (combinación de  $\text{NaNO}_3$  y  $\text{KNO}_3$ ) y sobre éste se adicionaba ácido sulfúrico, cuya mezcla se calentaba en grandes reactores de fierro fundido, mediante carbón de piedra. La reacción de ácido sulfúrico con salitre, en grandes rasgos es la siguiente:



Esta reacción liberaba el ácido nítrico de forma gaseosa (el ácido nítrico ebulle aproximadamente a los  $83^\circ\text{C}$ ). A continuación, el ácido se condensaba en un intercambiador de calor, de vidrio, obteniendo un producto de 98% de concentración.

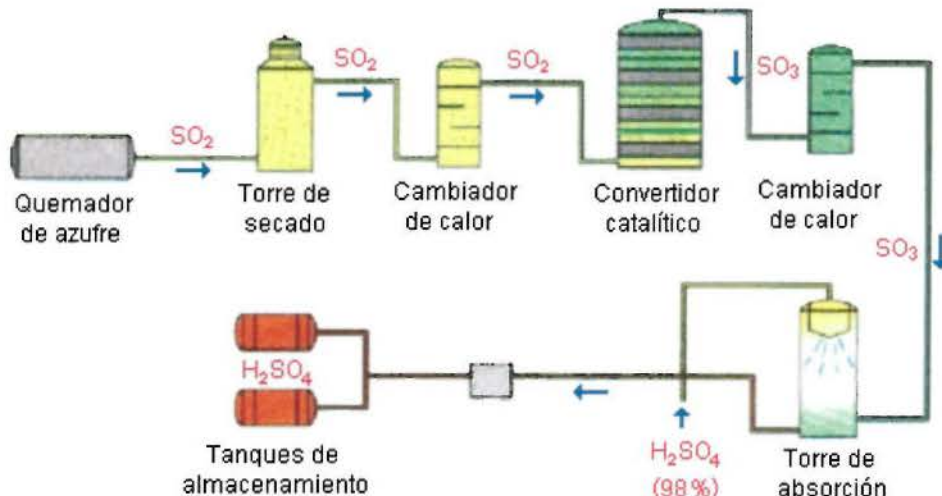
Existían 3 “Retortas”, con las cuales se lograba una producción aproximada de 12 toneladas diarias de ácido nítrico 98%. El producto residual contenido en el reactor, constituido por una masa sólida (sales de sulfato y potasio) más ácido nítrico, a una concentración media 60%. Dicho ácido nítrico era dispuesto en otro estanque.

Además de este proceso, existía una torre de destilación, a partir de la cual se obtenía ácido nítrico concentrado, que luego de ello se utilizaba como materia prima en la producción de PETN y Nitroglicerina.

El ácido nítrico 60% que quedaba de remanente de la “Retorta” también se concentraba en esta columna, utilizando para ello una mezcla de ácidos llamada Con-Mix (60-65%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 96%; 15-20%  $\text{HNO}_3$  al 56% y 15-25%  $\text{H}_2\text{O}$ ), a través de la adición de vapor.

Anexo a esto, en este tiempo existía una unidad a cargo de fabricar ácido sulfúrico 104%. Este proceso se explica en el siguiente diagrama:





Esta Unidad era capaz de producir aproximadamente 28.000 Kg por día.

La evolución del proceso anteriormente descrito consistió en la construcción de tres torres concentradoras (columnas de destilación) de ácido nítrico. Las torres están construidas de un material llamado Duriron, que es una combinación de 14,2% de Silicio, 0,8% de carbón y 85% hierro. El relleno de estas torres es cuarzo.

La forma de trabajar de esta unidad es calentando la mezcla de ácidos llamada Con-Mix, mediante la adición de vapor a cada columna de destilación. Por la parte superior de la columna salen los gases de ácido nítrico, los cuales pasan por un condensador, obteniendo un producto con un 98% de concentración. Como producto de cola se obtenía ácido sulfúrico 70% concentración. Este producto era después enviado a la División Chuquicamata de CODELCO.

La combinación de las 3 torres produce aproximadamente 650 Kg/h.

En una continuidad operacional, el proceso llega cronológicamente a la torre DENSAC.

Durante el año 2007 se inicia el proceso de confección de ingeniería de detalles, por parte de la empresa alemana QVF; luego de esto, se inicia la construcción del proyecto, la que finaliza a mediados del año 2008.

La unidad DENSAC consta de dos procesos principales, que son la de concentrar ácido nítrico hasta un 99% y concentrar ácido sulfúrico hasta un 98%. El proceso mediante el cual se concentra el ácido nítrico es el de destilación extractiva, que consiste en hacer pasar flujos de ácido nítrico (proveniente de los estanques 102 A/B, los cuales tienen una capacidad de 40 m<sup>3</sup> cada uno) y ácido sulfúrico al 89%, proveniente del estanque 02 (con capacidad de 1.5 m<sup>3</sup> de capacidad) a contracorriente, retirando el agua del ácido nítrico y llevando su concentración desde un 60% hasta un 99%. Paralelamente, el ácido sulfúrico contenido en la mezcla disminuye su concentración desde un 89% hasta un 72%.



Por otro lado, el ácido sulfúrico al 72% se reconcentra hasta un 89% mediante la evaporación del agua que hay en el ácido. El ácido sulfúrico ebulle aproximadamente a los 337°C. Anexo a este proceso es posible concentrar el ácido sulfúrico hasta un 98%.

Todos los equipos que participan en estos procesos están hechos de vidrio especial tipo pyrex (borosilicato), incluyendo los anillos raschig que se encuentran dentro de la columna de destilación, ya que es el material que mejor tolera altas concentraciones de ácido a altas temperaturas.

El ácido nítrico que se concentra en esta unidad llega a Planta en camiones desde Planta Prillex Mejillones (RCA vigente para el transporte de sustancias peligrosas para toda la Región de Antofagasta) a una concentración del 60% y el ácido sulfúrico al 98% es adquirido en el mercado nacional.

La producción de ácido nítrico concentrado entregada por la unidad DENSAC es variable y está supeditada al flujo de alimentación al proceso, de acuerdo a la Tabla de más abajo. Suponiendo una alimentación de vapor constante a 9 bares de presión, las producciones aproximadas de ácido nítrico se pueden ver en la siguiente tabla:

<b>Flujo Alimentación (Kg/día)</b> <b>Ácido Nítrico + Sulfúrico + Agua</b>	<b>Producción (Kg/día)</b> <b>Ácido Nítrico 99%</b>
108.000	24.000
96.000	21.600
88.800	20.160
84.000	18.720
76.800	17.280
64.800	14.400

#### Resumen de Continuidad Operacional del Proceso de Fabricación de Ácido Nítrico

La Planta Río Loa comenzó su producción de ácido nítrico desde los comienzos de la operación de la Planta, con el sistema de las “Retortas”. En 1986 ya era posible traer ácido 60% desde Mejillones, por lo que se optó por eliminar parte del proceso (la fabricación del ácido) y simplemente adquirirlo desde Prillex. Con esta idea en mente es que nació la Torre Antigua, siendo totalmente operada con el ácido nítrico que era transportado desde Planta Prillex. Esta torre fue un Upgrade del sistema que se venía usando, ya que si bien la lógica de funcionamiento era la misma, la tecnología y los materiales eran distintos.

Al cabo de un tiempo, las necesidades de ácido nítrico fueron aumentando, por lo que esta torre ya no daba abasto para la demanda. Así, en el año 2007 comenzó el proyecto DENSAC, el cual tenía como objetivo aumentar la capacidad de producción de ácido nítrico e incorporar una mayor tecnología, con la cual podemos ver el proceso como nunca antes, adquiriendo mayor confiabilidad operacional, mayor confiabilidad en los inventarios y un significativo mayor control en sustancias peligrosas.

En la actualidad, la Planta DENSAC opera con total normalidad.

**Capacidad de Unidades de Almacenamiento:**

Producto	Tag	Capacidad (Kg)
HNO3 60%	102 A	53.000
HNO3 60%	102 B	53.000
HNO3 99%	38 A	40.000
HNO3 99%	38 B	39.000
HNO3 99%	39	60.000
HNO3 60%	24	45.000

**Materias Primas Consumidas:**

Materia prima	Cantidad Kg/día	en	Proceso donde se utiliza
Amoniaco	30 - 130		Neutralización de RILes DENSAC
Agua	90 - 390		Fabricación de solución amoniacal para neutralización de RILes DENSAC
HNO3 60%	24.000 – 40.000		Concentración de ácido nítrico
H2SO4	84 – 306		Concentración de ácido nítrico

**Energía Total Utilizada**

La Planta Densac por diseño necesita de una energía de 87 KVA.

**NÚMERO I 3:**

**Indicar las emisiones producidas tanto en la fase de construcción como de operación, de residuos sólidos, líquidos, y gaseosos, a la fecha de respuesta de este requerimiento, describiendo las formas de manejo que ha utilizado para cada tipo.**

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

**(A) Etapa de Construcción:**

**(A1) Riles:**

Se produjo un aumento en la generación de aguas servidas ya que la dotación aumento en aproximadamente 60 trabajadores, las aguas servidas, fueron manejadas a través de baños químicos donde una empresa autorizada se encargó de la limpieza de los baños químicos y del manejo y disposición de dichos residuos.

El lavado de camiones mixer que transportaron el hormigón utilizado en las actividades de construcción, se realizó en las instalaciones del proveedor.

**(A2) Residuos sólidos:**

Los residuos sólidos que se generaron en la construcción de la planta Densac, correspondieron principalmente a restos de chatarra, restos de hormigón y concreto los que fueron manejados y dispuestos temporalmente en las instalaciones de ENAEX. Para luego ser enviados a disposición final de vertedero Municipal o empresas autorizadas para la disposición final de residuos industriales o peligrosos.

**(A3) Emisiones Atmosféricas:**

En la fase de construcción del proyecto, se generaron emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) por actividades tales como la construcción de las nuevas instalaciones, re suspensión de polvo por tránsito vehicular y combustión de equipos.



**(B) Etapa de Operación:**

**(B1) Riles:**

El Titular cuenta con un sistema particular de aguas servidas en sus instalaciones, autorizado bajo Resolución N° del SEREMI N° 3149 del 11 de junio de 2012 de Salud Antofagasta.

Al inicio de las operaciones los Riles provenientes de este proceso se trataron en una planta donde también se neutralizan Riles de otros procesos por medio de Hidróxido de Sodio. Actualmente y como una forma de independizar y optimizar este proceso el tratamiento de riles Densac se realiza en una unidad independiente donde se desarrolla un proceso de neutralización con (Hidróxido de amonio) para luego, el RIL una vez neutralizado ser enviado a las piscinas de evaporación solar (dos) que cuentan con una capacidad operativa de almacenamiento de riles de 540 m<sup>3</sup> c/u y una nominal de 950m<sup>3</sup> c/u, construidas especialmente para Planta Densac.

Mes	RIL Generado Kg/año
2008	105600
2009	230400
2010	230400
2011	237600
2012	233700
2013	242100
2014	229800
2015	239900
2016	215700
2017	74400

## B2) Residuos Sólidos:

Los residuos sólidos que se generan en la etapa de operación son manejados y dispuestos en las instalaciones de Planta Río Loa.

- Los residuos industriales no peligrosos son enviados a Patio de salvataje de Enaex Servicios (Planta Río Loa), para su disposición temporal. Este patio de residuos industriales sólidos no peligrosos está autorizado bajo la Resolución N° 1738 del 07 de mayo de 2013 de la SEREMI de Salud de Antofagasta, la cual ha autorizado un sitio para el almacenamiento de residuos industriales sólidos no peligrosos (RISNP).
- Los residuos peligrosos son almacenados en patio de residuos peligrosos, Este patio de residuos industriales sólidos peligrosos está autorizado bajo la Resolución N° 1738 del 07 de mayo de 2013 de la SEREMI de Salud de Antofagasta, la cual ha autorizado un sitio de 158,25 m<sup>2</sup> para el almacenamiento de residuos industriales sólidos peligrosos (RISP).

## (B3) Emisiones Atmosféricas:

En la etapa de operación se generan emisiones de material particulado y gases producto de las actividades de tránsito vehicular, por el traslado de insumos. La Empresa cuenta con un programa semestral de humectación de caminos.

El proceso genera emisiones de gases nitrosos por la evaporación del ácido nítrico. Estos gases provienen del proceso de condensación de vapores de ácido nítrico que no alcanzaron a ser traspasados a su fase líquida en los condensadores, por lo que son canalizados hacia la torre de absorción para recuperarlos. Los gases que no se logran recuperar son emitidos a la atmósfera. Durante el año 2016 se implementó un sistema de abatimiento de gases, reduciendo estas emisiones en un 350 %, pasamos de un promedio de 3500 ppm a 1000 ppm.

### Fecha Promedio emanaciones NO<sub>x</sub>

Fecha	Promedio emanaciones NO <sub>x</sub> (ppm)
01/01/2017	En comisionamiento
02/01/2017	157
03/01/2017	891
04/01/2017	973
05/01/2017	763
06/01/2017	225
07/01/2017	8

08/01/2017	21
09/01/2017	24
10/01/2017	0
11/01/2017	0
12/01/2017	160
13/01/2017	966
14/01/2017	583
15/01/2017	85
16/01/2017	655
17/01/2017	538
18/01/2017	549
19/01/2017	119
20/01/2017	642
21/01/2017	64
22/01/2017	0
23/01/2017	602
24/01/2017	975
25/01/2017	698
26/01/2017	467
27/01/2017	585
28/01/2017	67
29/01/2017	12
30/01/2017	62
31/01/2017	79
01/02/2017	198
02/02/2017	89
03/02/2017	135
04/02/2017	38
05/02/2017	11
06/02/2017	98
07/02/2017	166
08/02/2017	285
09/02/2017	177
10/02/2017	126
11/02/2017	19
12/02/2017	31
13/02/2017	134
14/02/2017	23
15/02/2017	119
16/02/2017	344



17/02/2017	92
18/02/2017	331
19/02/2017	18
20/02/2017	198
21/02/2017	461
22/02/2017	1409
23/02/2017	840
24/02/2017	336
25/02/2017	19
26/02/2017	6
27/02/2017	136,48
28/02/2017	171,46
01/03/2017	1,46
02/03/2017	0
03/03/2017	0
04/03/2017	Equipo en mantenimiento
05/03/2017	Equipo en mantenimiento
06/03/2017	Equipo en mantenimiento
07/03/2017	Equipo en mantenimiento
08/03/2017	Equipo en mantenimiento
09/03/2017	Equipo en mantenimiento
10/03/2017	Equipo en mantenimiento
11/03/2017	Equipo en mantenimiento
12/03/2017	Equipo en mantenimiento
13/03/2017	0
14/03/2017	6,5
15/03/2017	0,5
16/03/2017	31,3
17/03/2017	895,2
18/03/2017	45,2
19/03/2017	0
20/03/2017	638,1
21/03/2017	1110,4
22/03/2017	828,3
23/03/2017	1113,3
24/03/2017	1099,6
25/03/2017	17,3
26/03/2017	19,0
27/03/2017	928
28/03/2017	1785

29/03/2017	158
30/03/2017	84
31/03/2017	94
01/04/2017	28
02/04/2017	25
03/04/2017	38
04/04/2017	40
05/04/2017	54
06/04/2017	43
07/04/2017	553
08/04/2017	20
09/04/2017	21
10/04/2017	21
11/04/2017	101
12/04/2017	351
13/04/2017	32
14/04/2017	31
15/04/2017	29
16/04/2017	15
17/04/2017	115
18/04/2017	162
19/04/2017	36
20/04/2017	25
21/04/2017	318
22/04/2017	63
23/04/2017	25
24/04/2017	41
25/04/2017	48
26/04/2017	41
27/04/2017	283
28/04/2017	815
29/04/2017	229
30/04/2017	19
01/05/2017	15
02/05/2017	567
03/05/2017	142
04/05/2017	358
05/05/2017	36
06/05/2017	12
07/05/2017	9

**NÚMERO I 4:**

**Adjuntar el layout de la Planta Concentradora de Ácidos con todos sus Equipos y Unidades.**

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

Se adjunta el layout georreferenciado de la Planta DENSAC en Anexo 2

**NÚMERO I 5:**

**Informar sobre el Destino y el Uso Final de los Ácidos Concentrados. Aclarar el Método de Transporte de los Ácidos y su Capacidad en Kilógramos.**

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

El Ácido Nítrico concentrado es utilizado como materia prima, al interior de la Planta, para la fabricación de explosivos (PETN – Nitroglicerina).

El Ácido Sulfúrico es utilizado (en circuito cerrado) en el proceso de concentración de ácido nítrico (tal como fuera descrito antes en NÚMERO I 2).

**NÚMERO I 6:**

**Incorporar las Medidas realizadas por la Empresa para reducir o eliminar los efectos negativos, generados por el incumplimiento, incluidas como acciones concretas con fecha de realización. Para lo anterior, se solicita acreditar la ausencia de efectos negativos derivados de los hechos infraccionales. En caso de que no se acredite lo anterior, el titular deberá precisar los efectos que se producen.**



*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

El Regulado divide la respuesta a este requerimiento en tres partes separadas y distinguibles.

- A) Medidas adoptadas por el Regulado para reducir, abatir o eliminar los EFECTOS NEGATIVOS generados por el incumplimiento - incluyendo las acciones concretas con fecha de realización - teniendo en consideración que el Incumplimiento Normativo ha sido y es la ELUSIÓN AL ingreso al SEIA, que es lo que el Regulado intenta remediar o subsanar, poniendo fin a dicho Incumplimiento.
- B) Acreditar la ausencia de EFECTOS NEGATIVOS derivados de los hechos infraccionales.

Ello se realizará de la forma siguiente:

(B1) acreditando que los efectos no han sido negativos para las matrices o cuerpos receptores en el área de impacto de la Planta objeto de la Autodenuncia. Para esta desacreditación, ENAEX SERVICIOS S.A. ha contratado, en un período inmediato, con posterioridad a la primera Reunión de Asistencia al Cumplimiento, celebrada por la Empresa y la DSC de la SMA, en Santiago, el día 23 de mayo de 2017, a la empresa consultora de ingeniería ambiental ARCADIS, para emprender las tareas que se explican en los siguientes párrafos, según lo exigido por la Superintendencia del Medio Ambiente.

La desacreditación de los EFECTOS NEGATIVOS del incumplimiento se ejecutará específicamente a través de la implementación de un Plan de Investigación y Muestreo de Agua Subterránea, en el área objeto de la Autodenuncia.

En el caso de que se verifiquen impactos que pudieran representar un riesgo potencial, se procederá a la delimitación o confinamiento de los mismos y, consecuentemente, se da inicio a la Fase C, contemplada más abajo.

(B2) demostrando que los efectos producidos o generados no se encuentran (y no se han encontrado) fuera de norma; o bien

(B3) que dichos efectos no se han derivado (generado) directamente, como efecto ambiental negativo del Incumplimiento autodenunciado.

C) En el evento de que lo anterior sea imposible de acreditar, el Regulado debe precisar e identificar los EFECTOS NEGATIVOS producidos o generados, para lo cual la consultora ARCADIS realizará una evaluación de riesgos a la salud humana, que permita cuantificar los EFECTOS NEGATIVOS generados por los impactos y su plan de control/mitigación de los mismos.

Si se han identificado o precisado los EFECTOS NEGATIVOS, ello significa que no puede acreditarse fehacientemente B (la ausencia de impactos negativos derivados del incumplimiento) y que, precisamente por ello se aplicará A, el que consistirá en un Plan de Medidas de Control o Mitigación del Riesgo.

La respuesta, de acuerdo con los criterios y requerimientos de la Autoridad, se explica ahora, en detalle, a lo que se le agrega el Plan de Acción e Investigación concreto, en forma de Anexo 3.

### **(\*) ACREDITAR LA AUSENCIA DE EFECTOS NEGATIVOS DERIVADOS DE LOS HECHOS INFRACCIONALES**

Los antecedentes hidrogeológicos sobre el sector (Anexo 3) señalan que el Sitio se encuentra emplazado a 1,8 Km del cauce del río Loa. El pozo MGX-1 de Minera Lomas Bayas, situado a 2,2 Km del Sitio y de 200 m de profundidad, indica la diferenciación de tres unidades hidrogeológicas bien definidas que se agrupan de la siguiente manera: 5 m superiores de suelo arcilloso, una capa de 40 m de calizas (formación el Loa) y debajo una gruesa capa de arcilla.

Por otro lado, el pozo MGX-2, de 300 m de profundidad, atravesó cuatro unidades de suelo: 6 m iniciales con suelo gravoso y vegetal, alternancias de gravas con areniscas y lutitas hasta los 42 m y un gran estrato de arcilla entre 42 y 246m con intercalaciones delgadas de arena, grava, arenisca y lutita. El flujo de agua se supone en dirección este a oeste, concordante con la dirección del río Loa, no existiendo áreas de protección especial en el sentido del gradiente hidráulico.

En figura 3-1 se muestra ubicación Pozo MGX-1 y MGX-2



## **PLAN DE INVESTIGACIÓN AGUA SUBTERRÁNEA:**

Según se indica en el informe de Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero (Anexo 3),

“la existencia de una zona no saturada del acuífero existente bajo Planta Rio Loa, estimada en un promedio no inferior a los 15 m, ha permitido disipar efectos nocivos en las descargas de efluentes, gracias a su composición calcárea y estratificación casi horizontal, pues ofrece una resistencia física (permeabilidad) al escurrimiento vertical y además impone una resistencia química, pues la cal o caliza actúa neutralizando en forma natural, posibles percolaciones de fluidos contaminantes en dirección a la napa”.

Lo anterior, junto con las condiciones de operación de la Planta desde su entrada en funcionamiento el año 2007 a la fecha, hace improbable que se hayan generado impactos sobre las aguas subterráneas como consecuencia de la operación de la misma.

No obstante lo anterior, y con el objetivo de dar cumplimiento al Número I6 de la Resolución Exenta D.S.C. N° 401 de 5 de mayo de 2017, y acreditar la ausencia de efectos negativos, que se presenta este Plan de Investigación del Agua Subterránea en las inmediaciones del Sitio.

### **3.1 Plan de Investigación del Agua Subterránea**

#### **3.1.1 Objetivo del Plan**

El objetivo del Plan es definir un alcance de trabajo para realizar una investigación que permita desarrollar un modelo conceptual en el Sitio y construir la base para la toma de decisiones futuras. La investigación consistirá en una combinación de trabajo de gabinete y trabajo de campo para coleccionar información que permita identificar las condiciones del agua subterránea en el Sitio; las actividades se concentrarán dentro y alrededor de la Planta Densac y sus instalaciones anexas.

Basado en los resultados de la investigación preliminar, se evaluará la necesidad de implementar trabajo suplementario, por ejemplo, investigación adicional para delimitar dichos impactos en el caso de identificarse impactos significativos en la calidad de las aguas subterráneas debido a las actividades realizadas en el Sitio.

Una vez el modelo del Sitio se haya preparado identificando el alcance de los impactos en el agua subterránea, se evaluará la necesidad de realizar una Evaluación de Riesgos Toxicológica a la Salud Humana y Ecológica.

Si los resultados de la evaluación de riesgos revelan la presencia de condiciones inaceptables para la salud humana o ecológica, se definirán medidas de mitigación y control del riesgo.

#### **3.1.2 Alcance de Trabajo**

El alcance de trabajo de investigación considera lo siguiente:

- ☐ Trabajo de gabinete: revisión de antecedentes (registro de pozos)
- ☐ Inspección de los alrededores: identificación de receptores



□ Perforación de tres sondajes de aproximadamente 45 metros de profundidad, con instalación de pozo de monitoreo en cada sondaje, uno aguas arriba del sector situado entre las piscinas de riles y la Planta, y dos aguas debajo. Los pozos se mantendrán en el sitio para permitir el posterior monitoreo

Figura 3-2: Ubicación de Pozos de Monitoreo.



□ Levantamiento topográfico mediante el uso de un nivel óptico, y GPS para determinación de las coordenadas geográficas de cada pozo. Esta actividad está orientada a establecer la cota del terreno y del acuífero para determinar la dirección de flujo local del agua subterránea.

□ Descripción litológica

□ Medición de parámetros físico-químicos en agua subterránea: conductividad eléctrica, potencial redox, pH, temperatura y oxígeno disuelto;

□ Toma de muestras para análisis de laboratorio, según el siguiente criterio sugerido:

- Una muestra de agua subterránea de cada pozo, para un total de tres (3) muestras de agua subterránea.
- Las muestras serán analizadas por nitritos, nitratos, amoníaco, sulfatos, carbonatos, metales totales y disueltos.

□ Manejo de datos y evaluación de los resultados. Los resultados analíticos de calidad del agua serán analizados de la siguiente manera:

- Comparando los resultados de los análisis del pozo aguas arriba con los pozos aguas abajo o Comparando los resultados con valores de línea de base de estudios de la zona o Comparando los resultados con un estándar de referencia internacional para la calidad de las aguas subterráneas (Norma Canadiense o USEPA)

☐ Informe.

### 3.1.3 Informe de Resultados

Se entregará un informe que contendrá lo siguiente:

- ☐ Descripción del Sitio y sus alrededores, incluyendo: actividades históricas y actuales en el sitio, figura del layout de infraestructura en el sitio, uso de terrenos circundantes, y condiciones ambientales de la zona (clima, hidrografía, geología, hidrogeología, etc.);
- ☐ Descripción de las actividades realizadas en terreno
- ☐ Resultados de la caracterización del Sitio: descripción litológica de suelos, parámetros hidrogeológicos (profundidad del agua subterránea, conductividad hidráulica, dirección y magnitud del flujo de agua subterránea, etc.), mediciones in-situ, muestreo de suelo y agua subterránea y resultados analíticos; los datos serán presentados en tablas y figuras que destaquen los resultados más relevantes de la investigación (contaminantes de preocupación);
- ☐ Modelo conceptual para el Sitio preliminar, en donde se identifican los compuestos de interés, potenciales fuentes de contaminación (primarias y secundarias), potenciales mecanismos de transporte.
- ☐ Conclusiones y Recomendaciones
- ☐ Figuras de localización del Sitio, layout, ubicación de los sondeos, resultados analíticos sobre la norma de referencia (permitida, como vehículo normativo viable) por el Artículo 11 del DS 40 (RSEIA);
- ☐ Tablas con los resultados analíticos detectados y/o que sobrepasen los valores de referencia;
- ☐ Anexos pertinentes, que incluyen fotografías, registros de sondeo y construcción de pozos, planos, certificados de laboratorio, cadenas de custodia.



**(\*) EN CASO QUE NO SE ACREDITE LO ANTERIOR, EL TITULAR DEBERÁ PRECISAR LOS EFECTOS QUE SE PRODUCEN**

Una vez los impactos en el agua subterránea se encuentren delimitados y sobre la base de los resultados de calidad del agua y su interpretación, se determinará la necesidad de realizar un levantamiento de potenciales cuerpos receptores, humanos y ecológicos, que pudieran verse afectados.

En el caso que existan condiciones potenciales de riesgo para receptores cuyas vías de exposición se presenten completas, se recomendará la realización de una evaluación de riesgos toxicológica a la salud humana o al ecosistema, según corresponda. La evaluación de riesgos se realizará siguiendo las directrices señaladas en la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

**NÚMERO I 7:**

**Un segmento relevante de este escrito de respuestas se deriva del Numeral 1 7, el que indica lo siguiente: Informar sobre posibles áreas de protección oficial, que pueden verse afectadas por la ejecución del Proyecto señalado en su escrito.**

*A dicho requerimiento, el Regulado responde de la siguiente manera:*

Como antecedente previo, informamos que el sector global de emplazamiento del complejo PLANTA RÍO LOA de ENAEX SERVICIOS S.A. es el de las siguientes coordenadas. Coordenada UTM (m) Este 505.314 y Coordenada UTM (m) Norte 7.509.983.

En dicho emplazamiento del Complejo Planta Río Loa de ENAEX se encuentra ubicada la Planta DENSAC, que es la afectada por la actual Autodenuncia.

Esta información verificable y adjunta en Anexo 4 se coteja y compara con la información objetiva de coordenadas UTM georeferenciadas, proporcionada por la Resolución 529 del año 2003 del Ministerio de Obras Públicas / Dirección General de Aguas (Anexo 4) que “Modifica Resolución No 909, de 1996, en el Sentido de Actualizar Identificación y Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales de la II Región de Antofagasta”.

En una vinculación directa e inmediata con la respuesta a Número I 6, este ejercicio es de vital menester, para demostrar y comprobar que el área perimetral y de impacto de la Planta DENSAC (dentro del Complejo Planta Río Loa) se encuentra FUERA del área confinada a

que hace referencia la Resolución que se cita, como área designada de protección oficial por acto administrativo.

En efecto, el área directamente afecta a protección oficial, denominada Calama, bajo el número 25 de la Tabla 6 (Vegas Actualmente Protegidas por Resolución 529/2003) de la Resolución del Ministerio de Obras Públicas (DGA), antes citada, es la siguiente: Coordenada Este 506.300 y Coordenada Norte 7.513.150, en Mapa 4 de DGA y con Número de Ficha asignado (2001-101).

Es menester señalar que la Resolución MOP-DGA No 529 del año 2003 fue modificada y actualizada por la Resolución No 87 del MOP-DGA del 1 de junio de 2006, denominada “Modifica Resolución DGA No 529 de 2003 en el Sentido de Actualizar Identificación y Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales de la II Región de Antofagasta”. (Anexo 5)

Pues bien, bajo el número 2 de la Parte Resolutiva o Resuelvo de dicho acto administrativo se actualizan y adicionan Coordenadas UTM a las expresadas en la Resolución modificada. De los 267 nuevos puntos debidamente coordinados y afecto a la aplicación de los Acuíferos, el número 90, aplicable al área global de Calama mantiene precisa e íntegramente las Coordenadas UTM de la Resolución previa. No hay modificación alguna, en lo que al área de Calama se refiere. Tampoco se adiciona alguna área que pudiese coincidir con las Coordenadas UTM de la Planta autodenunciada o su área adyacente.

Sin perjuicio de lo anterior y de la evidencia acá presentada, incluso en el evento de que el área perimetral de la Planta DENSAC (en Coordenadas UTM), que es objeto de la Autodenuncia, se hubiese encontrado dentro de lo que el Decreto Supremo 40, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), de 24 de diciembre de 2013, en su Artículo 3 letra “p” señala o describe como “Área Colocada bajo Protección Oficial” (Tipología especial), existe en actual vigencia el Oficio Ordinario No 161081, de fecha 17 de agosto de 2016, dictado por el Director Ejecutivo del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que en su Considerando 8 Inciso Final indica “.....Así entonces, cabe sostener que NO todo proyecto o actividad que se pretende ejecutar, en un área que se encuentra bajo protección oficial, debe necesariamente ser sometida al SEIA, sino sólo aquellos (proyectos) que resulten relevantes, desde el punto de vista del impacto ambiental que son susceptibles de provocar”.

Esta norma administrativa emanada del Director Ejecutivo, dictada en consistencia plena con el Procedimiento Reglado del SEIA (con arreglo a los Dictámenes Nos 20.477 y 34.021 de 2003, de la Contraloría General de la República) es plenamente aplicable a la Planta DENSAC y su área perimetral, debido a que, como se indicara y evidenciara en el número I 6 anterior y en este número I 7, dicha Planta no se encuentra dentro de áreas declaradas por protección oficial ni tampoco el proyecto DENSAC resulta RELEVANTE en impacto ambiental susceptible de provocar efectos negativos en dichas áreas bajo protección oficial.





POR TANTO:

ROGAMOS RESPETUOSAMENTE a la División de Sanción y Cumplimiento (DSC) de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) tener por evacuado el trámite ordenado por ésta y por recibidas las respuestas elaboradas por el Regulado ENAEX SERVICIOS S.A. y que fueran requeridas por dicha Autoridad, a través de Resolución Exenta D.S.C. No 000401, de fecha 5 de mayo de 2017, para efectos de tener dicha Autoridad Ambiental, los antecedentes adicionales sobre cómo resolver y mejor proveer el escrito de Autodenuncia ingresado por el Regulado.

SE ACOMPAÑAN A ESTE ESCRITO, LOS SIGUIENTES ANEXOS:

ANEXO 1: "Mandato Especial"

ANEXO 2: Layout Planta Concentradora Densac

ANEXO 3: Plan de Investigación Aguas Subterráneas- ARCADIS

ANEXO 4: Resolución 529/2003 MOP/DGA

ANEXO 5: Resolución 87/2006 MOP/DGA



**Alejandro Castillo Hamati**

**Gerente Planta Río Loa**

**Enaex Servicios S.A.**

**(por Mandato Especial que se acompaña)**

CJ.



MANDATO ESPECIAL

ENAEX SERVICIOS S.A.

A

ALEJANDRO CASTILLO HAMATI

\*\*\*\*\*



EN SANTIAGO DE CHILE, a veintinueve de mayo del año dos mil diecisiete, ante mí, **EDUARDO AVELLO CONCHA**, Abogado, Notario Público Titular de la Vigésima Séptima Notaría de Santiago, con oficio en calle Orrego Luco cero ciento cincuenta y tres, Providencia, Santiago, comparece: Don **EDMUNDO JIMÉNEZ GALLARDO**, chileno, Ingeniero Civil Industrial, casado, Cédula Nacional de identidad número [REDACTED]


[REDACTED] en representación de **ENAEX SERVICIOS S.A.**, sociedad de Fabricación y Comercialización de Explosivos Industriales, Rol Único Tributario número setenta y seis millones cuarenta y un mil ochocientos setenta y uno guión cuatro, ambos domiciliados en calle El Trovador cuatro mil doscientos cincuenta y tres, comuna de Las Condes, Santiago; el compareciente mayor de edad, quien acredita su identidad con la cédula personal antes citada y expone: **PRIMERO:** Que en nombre y representación de la sociedad **ENAEX SERVICIOS S.A.** (en adelante también la "Sociedad"), viene en conferir



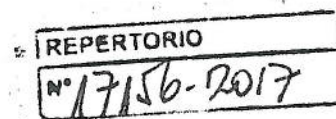
mandato especial al señor **ALEJANDRO CASTILLO HAMATI**, Cédula Nacional de Identidad número nueve millones ciento cincuenta y dos mil novecientos diecisiete guión tres; para que represente a la sociedad mandante y proceda a la tramitación íntegra de la auto denuncia generada por ENAEX SERVICIOS S.A. ante la División de Sanción y Cumplimiento de la Superintendencia de Medio Ambiente, hasta su conclusión y durante la tramitación íntegra del programa de cumplimiento por parte de la empresa auto denunciada. **SEGUNDO:** En el ejercicio de este mandato, el mandatario queda facultado expresamente para realizar y ejecutar todos los actos, trámites y actuaciones ante la Superintendencia del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación ambiental y en general ante cualquier organismo público o privado en relación con la auto denuncia ya referida, pudiendo al efecto efectuar toda clase de presentaciones y declaraciones, modificarlas o desistirse de ellas; suscribir a nombre de la Sociedad toda clase de formularios y/o solicitudes; comparecer ante todo tipo Instituciones o Entidades y sus respectivos funcionarios, por escrito o personalmente, solicitar audiencias y reuniones donde actuará en su representación, presentar recursos y ejercer todas aquellas facultades necesarias a que se refiere el Decreto número treinta y número treinta y uno que establece el Reglamento para Cumplimiento, Autodenuncia, Reparación y Operación del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental, (SNIFA), la ley número veinte mil cuatrocientos diecisiete , artículo veintidos de la Ley número diecinueve mil ochocientos ochenta , Ley número veinte mil seiscientos y en general cualquier normativa referida al tema ambiental. **TERCERO:** El presente mandato se confiere para todo trámite o gestión en que se presente hasta la completa ejecución del encargo, pudiendo el mandatario nombrar abogados patrocinantes y apoderados con todas las facultades que en este instrumento se le confiere, y pudiendo delegar este poder y reasumir cuantas veces sea necesario. **CUARTO:** El presente mandato es de vigencia indefinida. **PERSONERIA** La personería de don **Edmundo Jiménez Gallardo** para representar a **ENAEX SERVICIOS S.A.** consta el acta de fecha diecisiete de diciembre de dos mil quince la que se redujo a escritura pública con fecha once de enero de dos mil dieciseis ante Raul Undurraga

EDUARDO AVELLO CONCHA  
NOTARIO PUBLICO  
Orrego Luco 0153  
Fono 22600400 - 226200418  
Providencia



Laso Notario Público de Santiago y no se inserta a expresa solicitud del compareciente.- En comprobante y previa lectura, el compareciente firma. Se da **DOY FE.** = 

  
EDMUNDO JIMÉNEZ GALLARDO  
P.P. ENAEX SERVICIOS S.A.



ESTA COPIA ES TESTIMONIO FIEL DE ORIGINAL  
Santiago, 29 MAYO 2017

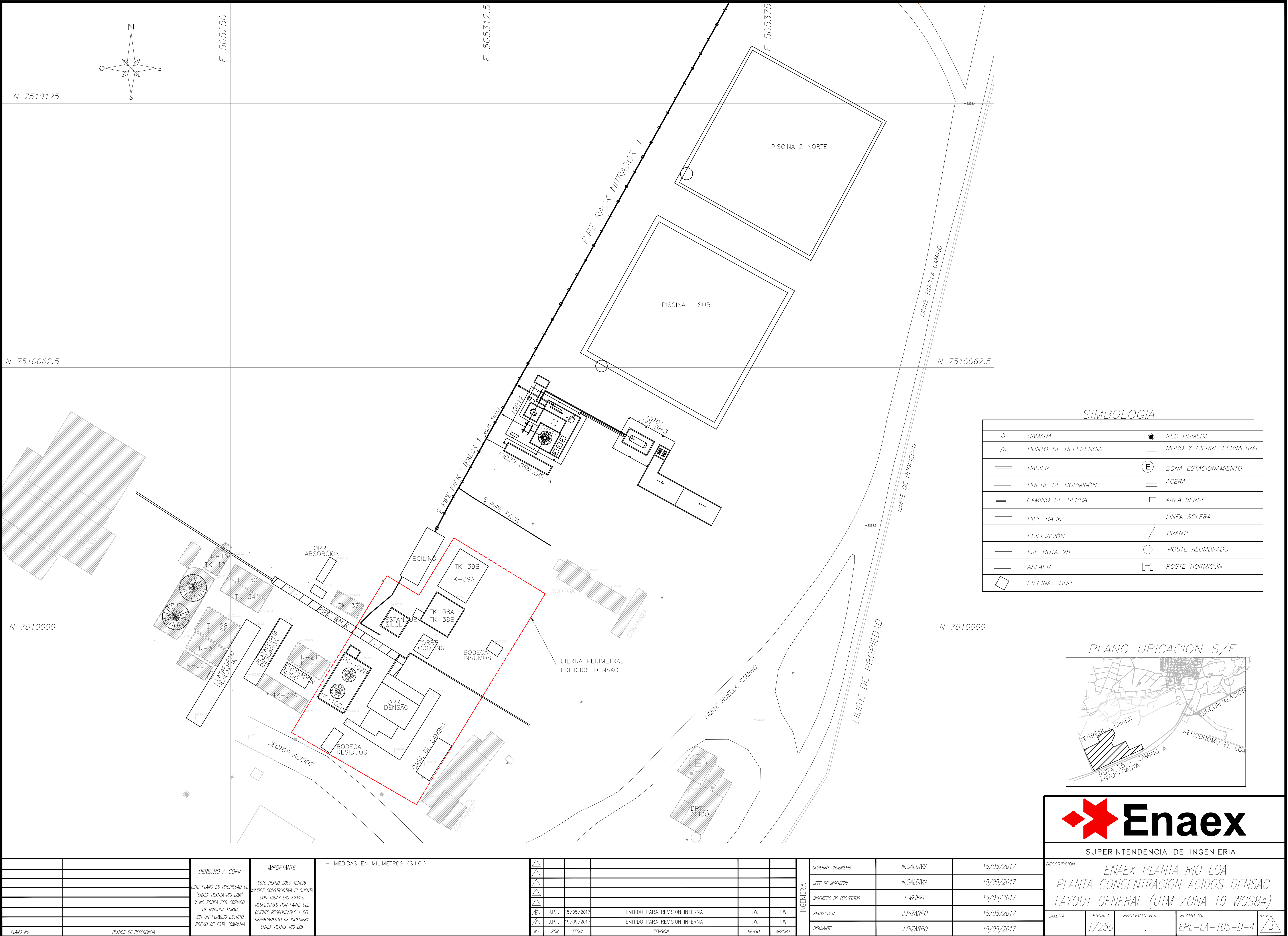


CUMPLIENDO EL ART 404 COD. ORG TRIB.  
DE PAGINA O CARTELA  
**UTILIZADA**





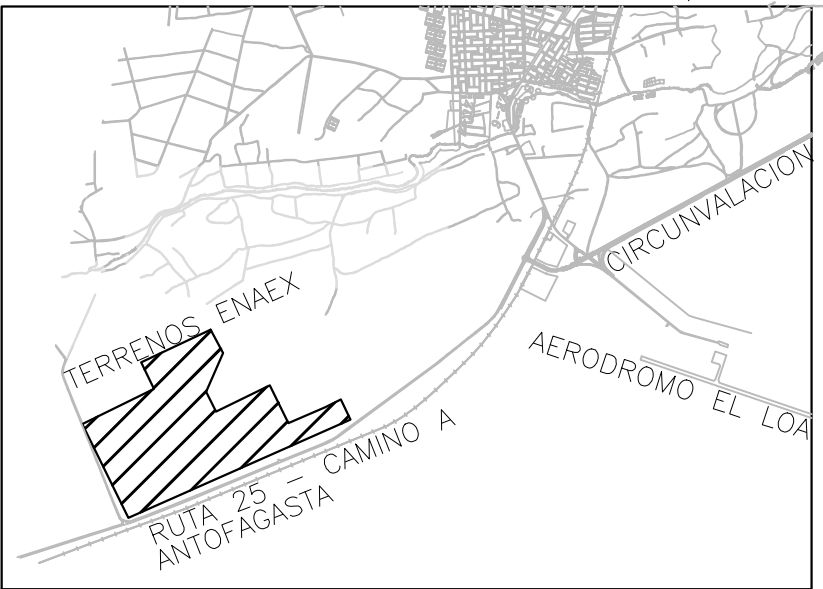
Formato A-1 Rev. A



SIMBOLOGIA

◊	CAMARA	●	RED HUMEDA
△	PUNTO DE REFERENCIA	==	MURO Y CIERRE PERIMETRAL
==	RADIER	ⓔ	ZONA ESTACIONAMIENTO
==	PRETIL DE HORMIGÓN	==	ACERA
==	CAMINO DE TIERRA	□	AREA VERDE
==	PIPE RACK	—	LINEA SOLERA
—	EDIFICACIÓN	/	TIRANTE
—	EJE RUTA 25	○	POSTE ALUMBRADO
==	ASFALTO	⌌	POSTE HORMIGÓN
◊	PISCINAS HDP		

PLANO UBICACION S/E



SUPERINTENDENCIA DE INGENIERIA

DESCRIPCION  
ENAEX PLANTA RIO LOA  
PLANTA CONCENTRACION ACIDOS DENSAC  
LAYOUT GENERAL (UTM ZONA 19 WGS84)

LAMINA	ESCALA	PROYECTO No.	PLANO No.	REV.
	1/250		ERL-LA-105-D-4	B



## PLAN DE INVESTIGACIÓN AGUA SUBTERRÁNEA

CÓDIGO ARCADIS: 4911-0000-RH-INF-001-0

## PLANTA DENSAC

JUNIO 2017

REV.		Ejecutor	Revisor	Aprobador	DESCRIPCIÓN
A	Nombre Firma	A. Llenas	N. Ramírez	A. Llenas	Coordinación Interna
	Fecha	01.06.2017	01.06.2017	01.06.2017	
B	Nombre Firma	A. Llenas	N. Ramírez	A. Llenas	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	02.06.2017	02.06.2017	02.06.2017	
0	Nombre Firma	A. Llenas	N. Ramírez	A. Llenas	Aprobado Cliente
	Fecha	06.06.2017	06.06.2017	06.06.2017	

## CONTACTO

**ANNA LLENAS**  
**Consultor Sénior y Jefe de Proyecto**

+T 5 [REDACTED]  
[REDACTED]

Arcadis.  
Av. Antonio Varas 621  
Providencia, CP 7500966  
Santiago | Chile



## CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INCORPORAR LAS MEDIDAS REALIZADAS POR LA EMPRESA PARA REDUCIR O ELIMINAR LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR EL INCUMPLIMIENTO, INCLUIDAS COMO FECHAS CONCRETAS CON FECHAS DE REALIZACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>3 ACREDITAR LA AUSENCIA DE EFECTOS NEGATIVOS DERIVADOS DE LOS HECHOS INFRACCIONALES .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Plan de Investigación del Agua Subterránea .....</b>	<b>5</b>
3.1.1 Objetivo del Plan .....	5
3.1.2 Alcance de Trabajo .....	5
3.1.3 Informe de Resultados .....	7
<b>4 EN CASO QUE NO SE ACREDITE LO ANTERIOR, EL TITULAR DEBERÁ PRECISAR LOS EFECTOS QUE SE PRODUCEN. ....</b>	<b>7</b>
<b>5 CALENDARIO .....</b>	<b>8</b>

## LISTADO DE ANEXOS

Anexo A	Estudio de Vulnerabilidad del Acuífero
---------	--

## 1 INTRODUCCIÓN

Arcadis ha sido seleccionado por Enaex para preparar un Plan de Investigación del Agua Subterránea para el sector donde se emplaza la Planta Densac (en adelante “la Planta”) y sus instalaciones anexas (concentradora de ácidos nítrico y sulfúrico, sector de estanques de almacenamiento de materias primas y de productos, torre de absorción, planta de riles que trata los residuos líquidos que genera la unidad, casa de cambio para los operadores de la misma planta, sitio de recolección diaria de residuos sólidos clasificados y la bodega de insumos), en adelante “el Sitio”. El Sitio se encuentra ubicado en las dependencias de Enaex Planta Río Loa, que a su vez se emplaza en los terrenos industriales propiedad de Enaex S.A., que se encuentran fuera del límite urbano de la comuna de Calama, y tiene una superficie aproximada de 4.000 m<sup>2</sup>.

La Planta Densac fue construida en el año 2007 y se encuentra actualmente en un proceso de regularización ante la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Durante el proceso de regularización, mediante Resolución Exenta D.S.C. N° 401 de 5 de mayo de 2017, fue solicitado a Enaex, en su numeral 6:

1. Incorporar las medidas realizadas por la empresa para reducir o eliminar los efectos negativos generados por el incumplimiento, incluidas como fechas concretas con fechas de realización;
2. Acreditar la ausencia de efectos negativos derivados de los hechos infraccionales.
3. En caso que no se acredite lo anterior, el titular deberá precisar los efectos que se producen.

A continuación se describen los antecedentes que dan respuesta a los puntos 1 y 2. Para el punto 1, se describen las medidas de control implementadas en el Sitio para reducir o eliminar los efectos negativos sobre las aguas subterráneas. Para el punto 2, se presenta el alcance para la investigación del agua subterránea en el Sitio.

## 2 INCORPORAR LAS MEDIDAS REALIZADAS POR LA EMPRESA PARA REDUCIR O ELIMINAR LOS EFECTOS NEGATIVOS GENERADOS POR EL INCUMPLIMIENTO, INCLUIDAS COMO FECHAS CONCRETAS CON FECHAS DE REALIZACIÓN

Desde sus orígenes operacionales, hace más de 90 años, en el Sitio se producía ácido nítrico con el sistema de las “Retortas”. A la Unidad llamada la “Retorta” ingresaba salitre (combinación de NaNO<sub>3</sub> y KNO<sub>3</sub>) y sobre este se ingresaba ácido sulfúrico, lo cual se calentaba en grandes reactores de fierro fundido mediante carbón de piedra. Además de este proceso existía una torre de concentración, la cual reconcentraba el ácido nítrico. Existía también una unidad a cargo de fabricar ácido sulfúrico 104%, a partir de caliche de azufre (cuya composición es una mezcla de carbonato y azufre). En 1986 se optó por eliminar parte del proceso de fabricación del ácido. Al cabo de un tiempo las necesidades de ácido nítrico fueron aumentando, y el 2006 comenzó el desarrollo de la Ingeniería del proyecto Densac. Anexo a estos procesos en el año 2003 comenzaron los planes de cierre de la planta de concentración de ácido sulfúrico, optando por proveedores externos debido principalmente a obsolescencia tecnológica, elevados costos de mantención entre otros. Esta forma de abastecimiento se mantiene hasta la actualidad.

Desde el año 2008, en el Sitio opera la Planta, que concentra ácidos nítrico y sulfúrico. Los principales productos y materias primas de la Planta corresponden a ácido sulfúrico y ácido nítrico de distintas concentraciones, que se almacenan en el sector de estanques ubicados frente al edificio. Desde el año 2011, la Planta dispone de sistema de contención de derrames en los estanques, que consisten en un pretil, así como sistema de escurrimiento y recolección de derrames en los sectores de carga y descarga de los camiones, con elevaciones de hormigón para la contención de derrames. En base a información proporcionada por los responsables de la Planta, entre 2008 y la actualidad no han ocurrido eventos de derrame mayores, limitándose estos a roturas de línea, filtraciones en estanques y goteos. La mayor parte del suelo de la Planta se encuentra sin pavimentar.

Asimismo, en el Sitio se encuentra hoy día el sistema de tratamiento de los riles ácidos de la Planta, que se compone de una unidad de neutralización y otra de evaporación. La planta de tratamiento de riles se compone de estanques para preparar y almacenar hidróxido de amonio y amoníaco y piscinas de evaporación que se utilizan para evaporar el ril neutralizado, resultante de la unidad de neutralización. Cada piscina mide 37x37x0,68 m, tiene una capacidad de 930 m<sup>3</sup> y se encuentra cubierta por cuatro capas de HDPE / Geotextil, con sistema de detección de fugas. En base a revisión de imágenes satelitales e información proporcionada por los responsables de la Planta, previo a las piscinas actuales y hasta el año 2011, se acopiaron residuos de la producción de ácido nítrico provenientes del antiguo proceso de Retortas sobre el suelo desnudo en este sector.

### 3 ACREDITAR LA AUSENCIA DE EFECTOS NEGATIVOS DERIVADOS DE LOS HECHOS INFRACCIONALES

Antecedentes hidrogeológicos sobre el sector<sup>1</sup> señalan que el Sitio se encuentra emplazado dentro de la cuenca del Río Loa, a 1,8 Km del cauce de dicho río. El pozo MGX-1 de Minera Lomas Bayas, situado a 2,2 Km del Sitio y de 200 m de profundidad, indica la diferenciación de tres unidades hidrogeológicas bien definidas que se agrupan de la siguiente manera: 5 m superiores de suelo arcilloso, una capa de 40 m de calizas (formación el Loa) y debajo una gruesa capa de arcilla. Por otro lado, el pozo MGX-2, de 300 m de profundidad, atravesó cuatro unidades de suelo: 6 m iniciales con suelo gravoso y vegetal, alternancias de gravas con areniscas y lutitas hasta los 42 m y un gran estrato de arcilla entre 42 y 246 m con intercalaciones delgadas de arena, grava, arenisca y lutita. El flujo de agua se supone en dirección este a oeste, concordante con la dirección del río Loa, no existiendo áreas de protección especial en el sentido del gradiente hidráulico.

**Figura 3-1: Ubicación del Sitio, Pozo MGX-1 y MGX-2**



<sup>1</sup> Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero del Sector. Planta Río Loa. Victorino Araya (2004).

## PLAN DE INVESTIGACIÓN AGUA SUBTERRÁNEA

Según se indica en el informe de Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero (Victorino Araya, 2004), “la existencia de una zona no saturada del acuífero existente bajo Planta Río Loa, estimada en un promedio no inferior a los 15 m, ha permitido disipar efectos nocivos en las descargas de efluentes, gracias a su composición calcárea y estratificación casi horizontal, pues ofrece una resistencia física (permeabilidad) al escurrimiento vertical y además impone una resistencia química, pues la cal o caliza actúa neutralizando en forma natural, posibles percolaciones de fluidos contaminantes en dirección a la napa”. Lo anterior, junto con las condiciones de operación de la Planta desde su entrada en funcionamiento el año 2007 a la fecha, hace improbable que se hayan generado impactos sobre las aguas subterráneas como consecuencia de la operación de la misma. No obstante lo anterior, y con el objetivo de dar cumplimiento al numeral 6 de la Resolución Exenta D.S.C. N° 401 de 5 de mayo de 2017, y acreditar la ausencia de efectos negativos, que se presenta este Plan de Investigación del Agua Subterránea en las inmediaciones del Sitio.

### 3.1 Plan de Investigación del Agua Subterránea

#### 3.1.1 Objetivo del Plan

El objetivo del Plan es definir un alcance de trabajo para realizar una investigación que permita desarrollar un modelo conceptual en el Sitio y construir la base para la toma de decisiones futuras. La investigación consistirá en una combinación de trabajo de gabinete y trabajo de campo para coleccionar información que permita identificar las condiciones del agua subterránea en el el Sitio; las actividades se concentrarán dentro y alrededor de la Planta Densac y sus instalaciones anexas. Basados en los resultados de la investigación preliminar, se evaluará la necesidad de implementar trabajo suplementario, por ejemplo, investigación adicional para delimitar dichos impactos en el caso de identificarse impactos significativos en la calidad de las aguas subterráneas debido a las actividades realizadas en el Sitio. Una vez el modelo del Sitio se haya preparado identificando el alcance de los impactos en el agua subterránea, se evaluará la necesidad de realizar una Evaluación de Riesgos Toxicológica a la Salud Humana y Ecológica. Si los resultados de la evaluación de riesgos revelan la presencia de condiciones inaceptables para la salud humana o ecológica, se definirán medidas de mitigación y control del riesgo.

#### 3.1.2 Alcance de Trabajo

El alcance de trabajo de investigación considera lo siguiente:

- Trabajo de gabinete: revisión de antecedentes (registro de pozos)
- Inspección de los alrededores: identificación de receptores
- Perforación de tres sondajes de aproximadamente 45 metros de profundidad, con instalación de pozo de monitoreo en cada sondaje, uno aguas arriba del sector situado entre las piscinas de riles y la Planta, y dos aguas debajo. Los pozos se mantendrán en el sitio para permitir el posterior monitoreo



**Figura 3-2: Ubicación de Pozos de Monitoreo**



- Levantamiento topográfico mediante el uso de un nivel óptico, y GPS para determinación de las coordenadas geográficas de cada pozo. Esta actividad está orientada a establecer la cota del terreno y del acuífero para determinar la dirección de flujo local del agua subterránea.
- Descripción litológica
- Medición de parámetros físico-químicos en agua subterránea: conductividad eléctrica, potencial red-ox, pH, temperatura y oxígeno disuelto;
- Toma de muestras para análisis de laboratorio, según el siguiente criterio sugerido:
  - Una muestra de agua subterránea de cada pozo, para un total de tres (3) muestras de agua subterránea.
  - Las muestras serán analizadas por nitritos, nitratos, amoníaco, sulfatos, carbonatos, metales totales y disueltos.
- Manejo de datos y evaluación de los resultados. Los resultados analíticos de calidad del agua serán analizados de la siguiente manera:
  - Comparando los resultados de los análisis del pozo aguas arriba con los pozos aguas abajo
  - Comparando los resultados con valores de línea de base de estudios de la zona
  - Comparando los resultados con un estándar de referencia internacional para la calidad de las aguas subterráneas (por ejemplo, Tabla 3 de la Norma Canadiense para agua subterránea de uso no potable, o similar).
- Informe.

### 3.1.3 Informe de Resultados

Se entregará un informe que contendrá lo siguiente:

- Descripción del Sitio y sus alrededores, incluyendo: actividades históricas y actuales en el sitio, figura del *layout* de infraestructura en el sitio, uso de terrenos circundantes, y condiciones ambientales de la zona (clima, hidrografía, geología, hidrogeología, etc.);
- Descripción de las actividades realizadas en terreno
- Resultados de la caracterización del Sitio: descripción litológica de suelos, parámetros hidrogeológicos (profundidad del agua subterránea, conductividad hidráulica, dirección y magnitud del flujo de agua subterránea, etc.), mediciones in-situ, muestreo de suelo y agua subterránea y resultados analíticos; los datos serán presentados en tablas y figuras que destaquen los resultados más relevantes de la investigación (contaminantes de preocupación);
- Modelo conceptual para el Sitio preliminar, en donde se identifican los compuestos de interés, potenciales fuentes de contaminación (primarias y secundarias), potenciales mecanismos de transporte.
- Conclusiones y Recomendaciones
- Figuras de localización del Sitio, *layout*, ubicación de los sondeos, resultados analíticos sobre la norma de referencia;
- Tablas con los resultados analíticos detectados y/o que sobrepasen los valores de referencia;
- Anexos pertinentes, que incluyen fotografías, registros de sondeo y construcción de pozos, planos, certificados de laboratorio, cadenas de custodia.

## 4 EN CASO QUE NO SE ACREDITE LO ANTERIOR, EL TITULAR DEBERÁ PRECISAR LOS EFECTOS QUE SE PRODUCEN.

Una vez los impactos en el agua subterránea se encuentren delimitados, y en base a los resultados de calidad del agua y su interpretación, se determinará la necesidad de realizar un levantamiento de potenciales receptores, humanos y ecológicos, que pudieran verse afectados.

En el caso que existan condiciones potenciales de riesgo para receptores cuyas vías de exposición se presenten completas, se recomendará la realización de una evaluación de riesgos toxicológica a la salud humana o al ecosistema, según corresponda. La evaluación de riesgos se realizará siguiendo las directrices señaladas en la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

## 5 CALENDARIO

Una vez recibida la aprobación para la realización de los trabajos, se dará inicio a la planificación y posterior ejecución de los mismos. Los plazos estimados para realizar las actividades, son los siguientes:

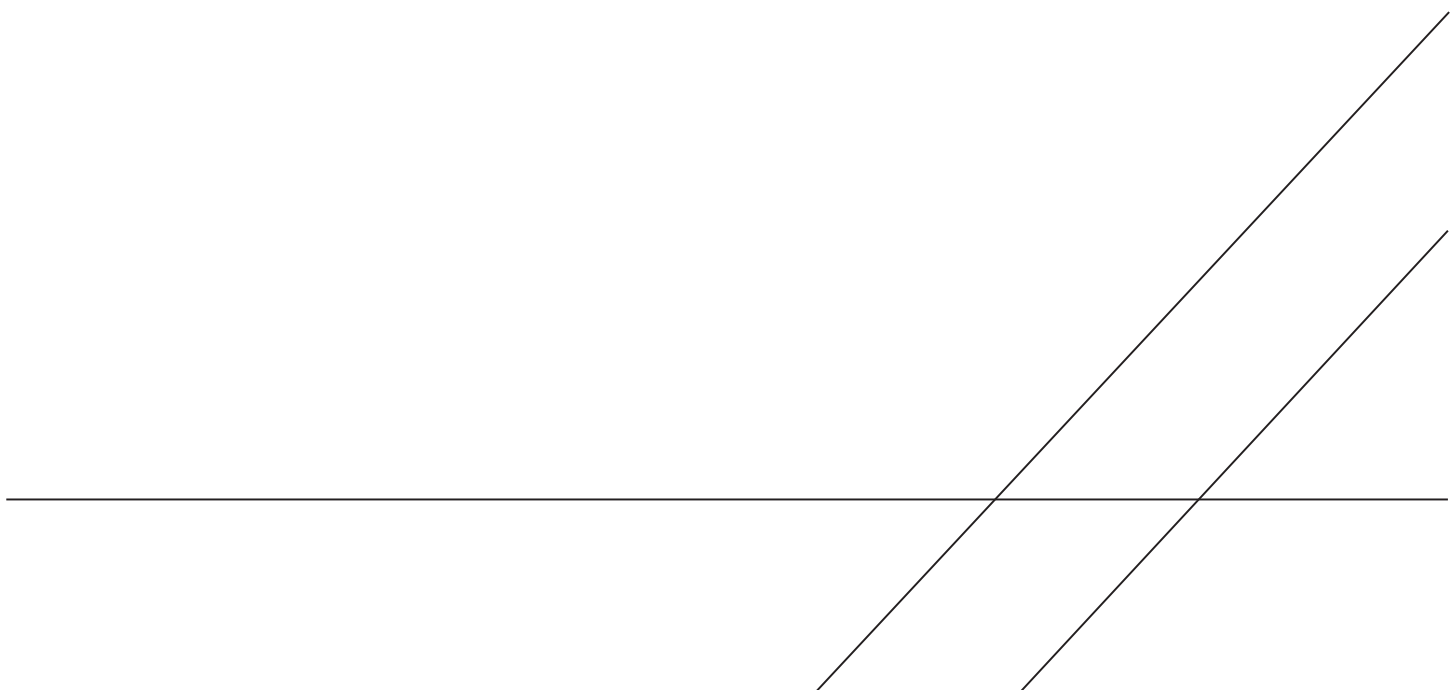
**Tabla 5-1 Calendario de Tareas**

Tarea	Calendario
Reunión de inicio del proyecto y planificación	1ª – 3ª semana
Instalación de 3 pozos de monitoreo y muestreo de agua subterránea	4ª – 7ª semana
Análisis de las muestras en el laboratorio	8ª-10ª semana
Procesamiento de Datos	11ª – 13ª semana
Entrega de Informe	14ª semana



## ANEXO A

### ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO



Enaex S.A.  
Planta Río Loa  
Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero del Sector

# Enaex S.A.

## Planta Río Loa de Calama

### Determinación de la Vulnerabilidad Intrínseca del Acuífero

Junio 2004

## INDICE TEMÁTICO GENERAL

### CAP.1 : PRELIMINARES

1.1.- Introducción General

1.2.- Introducción Específica

### CAP.2 : BASES Y FUNDAMENTOS DE LA EVALUACIÓN

2.1.- Aspectos Físico, Químicos y Biológicos

2.2.- Detección y Medición de la Contaminación

2.3.- Evaluación del Riesgo de Contaminación

### CAP.3 : EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

3.1.- Descripción del Acuífero Bajo Planta Río Loa

3.2.- Clasificación y Coeficientes Elásticos del Acuífero a Evaluar

3.3.- Métodos para Evaluar Vulnerabilidad

A.- DRASTIC

B.- GOD

C.- EPIK

D.- Ekv

### CAP.4 : CONCLUSIONES

4.1.- Ubicación Relativa del Acuífero

4.2.- Profundidad del Acuífero y Monitoreo

4.3.- Magnitud de Descargas de Enaex

4.4.- Vulnerabilidad Intrínseca del Acuífero

4.5.- Consecuencias según Decreto 46 – 2002

4.6.- Aprovechamiento de Efluentes

### ANEXOS

Plano del Informe

Parámetros Físico Químicos del Acuífero Superficial

Correspondencia electrónica con Dirección Regional de Aguas



## RESUMEN EJECUTIVO

Planta Río Loa de Enaex S.A. está ubicada dentro de la cuenca del Río Loa y relativamente cerca del cauce de dicho río, razón por la que el tema de la calidad de sus descargas líquidas provenientes de los procesos internos de fabricación de explosivos, siempre será de cuidado, para la autoridad de turno, más todavía hoy, en que el tema y legislación medio ambiental encabeza cualquier proyecto o actividad productiva, en estricto apego a los actuales estándares de calidad certificada que gobiernan al planeta, en este rubro.

Consecuencia de su cercanía con el cauce del Río Loa y la formación misma del valle de Calama, bajo Planta Río Loa sub-yace un acuífero almacenador de aguas subterráneas, cuyo origen se relaciona con la presencia de la Falla Occidental (tendida más o menos en línea recta entre Chuquicamata y Sierra Gorda) y las exfiltraciones del lecho del río aludido, esto último, desde tiempos inmemoriales, asociado incluso con el riego indígena y actual del valle.

Con esto en mente y la entrada en vigencia del Decreto N° 46 del año 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Decreto impulsado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, más ciertas señales recibidas desde el Servicio de Salud II región en Planta Río Loa, Enaex S.A. decidió realizar una evaluación particular de la sensibilidad intrínseca del acuífero que sub-yace bajo sus instalaciones, toda vez que a esta fecha y ya fuera de plazo, la Dirección General de Aguas no ha realizado tal evaluación, como le obliga el Art.4 (N°14) del Decreto aludido.

La evaluación de vulnerabilidad para la napa de Planta Río Loa, debido al citado incumplimiento de la autoridad nacional de Aguas, obligó a considerar las cuatro metodologías más utilizadas actualmente en este tipo de evaluaciones, denominadas : DRASTIC, GOD, EPIK y Ekv, obteniéndose en tres de ellas, una clasificación de vulnerabilidad media y sólo una de vulnerabilidad alta; pero sin embargo, de las cuatro metodologías consideradas, justamente la más apropiada a Planta Río Loa, arrojó una clasificación de vulnerabilidad intrínseca media para el acuífero y en consecuencia (además de ser mayoría concluyente) se adoptó tal clasificación como la oficial y final para este estudio.

La conclusión anterior (vulnerabilidad media) provoca a Enaex una obligación administrativa inmediata, que consiste en que hasta el día 8 de Marzo del año 2005, se tiene plazo para que los efluentes de Planta Río Loa, se ajusten para respetar los límites máximos de la Tabla N°1 del Art.10 del Decreto 46-2002; lo anterior, sin perjuicio de aquellos efluentes de Enaex que no sean finalmente clasificables como riles, en cuyo caso, tal plazo sería voluntario para la empresa.

No obstante lo anterior, este trabajo concluye – entre otras - insinuando a Enaex la posibilidad de otorgar valor agregado a sus efluentes, aprovechando cierto mercado latente que podría estar interesado en utilizar tales líquidos en sus procesos mineros, lo cual traería aparejado un sistema de evaporación y cosecha que se provoca mediante una batería de piscinas de tierra, debidamente encarpetadas y que permiten una circulación del efluente, que implique decantación (cosecha) y evaporación, para que finalmente el líquido residual sea vendido como materia prima a terceros, mediante camiones equipados pertinentemente al caso.

Antofagasta, Junio del año 2.004.-



## EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO INFERIOR

### PLANTA RIO LOA, ENAEX S.A., CALAMA

## CAPITULO I: PRELIMINARES

### 1.1.- Introducción General

Hoy en día ha sido reconocido que la calidad del agua, provenga de fuentes superficiales o subterráneas, es de tanto o mayor importancia que la cantidad. Es por ello que un adecuado manejo resulta fundamental para lograr y/o gozar de los beneficios de su aprovechamiento.

La contaminación de las aguas en general, ha sido un tema que ha preocupado a la medicina desde siglos, cuando se relacionaba claramente que las aguas para bebida podrían ser un vehículo de gérmenes patógenos y responsables de muchas epidemias, relación ya establecida desde mucho antes por métodos puramente empíricos.

Al aspecto puramente sanitario de la contaminación se ha añadido, en nuestros tiempos, el aspecto químico de la misma, al crearse grandes núcleos urbanos, grandes zonas industriales, notables complejos agrícolas, etc., y actualmente la contaminación en general empieza a preocupar seriamente a las autoridades competentes y al ciudadano medio en general. Algunos aseguran que la humanidad está creando su propia destrucción a través de la contaminación y degradación del medio ambiente, mientras otros creen firmemente que tras un período transitorio se logrará dominar suficientemente la situación, posición que parece razonable y anima al hombre a un esfuerzo para defender su supervivencia.

Los problemas de la contaminación han adquirido notable importancia en los países más desarrollados, que son los más afectados y los mayores avances en su estudio, corresponden a los Estados Unidos y los países Europeos.

Ya que un importante porcentaje del agua que se utiliza, sea para consumo humano, procesos productivos, regadío, etc., proviene de fuentes subterráneas, es que la calidad del agua que se ubica en el subsuelo depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran las condiciones particulares de cada acuífero, su litología, la calidad del agua de infiltración que llega a la napa subterránea y muy especialmente, los focos de contaminación de sistemas colindantes que pudieran afectarse.

Es importante indicar que tanto las aguas superficiales y subterráneas tienen en su estado natural una serie de sales disueltas, las que se incorporan al agua por contacto entre agua y los diversos materiales y minerales que forman el suelo y el subsuelo. De la misma manera, el agua va recogiendo en su recorrido materia orgánica en diversos estados de biodegradación, lo que contribuye a deteriorar aún más su calidad. Otra forma natural de contaminación lo constituye el mezclado con aguas de menor calidad o con un alto contenido de sales, tales como aguas fósiles atrapadas en depósitos sedimentarios que datan de la época en que el mar se retiró de la zona, por ejemplo.

Enaex S.A.  
Planta Río Loa  
Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero del Sector

Por último debe tomarse en cuenta los factores externos directamente atribuibles a la intervención del hombre que influyen en la calidad del agua, tales como la contaminación con residuos industriales, químicos, mineros, biológicos y residuos domésticos.

Dadas las características del agua subterránea, en cuanto al tipo de movimiento de fluido y del transporte de los compuestos disueltos en ésta, su condición de calidad se manifiesta a lo largo de mucho tiempo o periodos prolongados, los que en cierto sentido complica al pronto y adecuado manejo de los problemas que en esos casos se generan. De todas maneras, es importante indicar que el efecto de la contaminación de las aguas subterráneas, va atenuándose a medida que el flujo va moviéndose a través del medio permeable.

### 1.2.- Introducción Específica

Planta Río Loa de Enaex esta ubicada en tierras rurales, unos 8 km. al Sur de la ciudad de Calama, medidos en la Ruta 25 que lleva a Antofagasta. Hidrográficamente la planta se ubica dentro de la cuenca del Río Loa y sus deslindes están a unos 2 km. al oriente de dicho cauce, en el sector conocido con el nombre de "Dupont".

En este sector de la cuenca del Loa, se reconocen dos acuíferos, uno superficial y otro más profundo, siendo el interés de este informe, evaluar la vulnerabilidad del primero de ellos, principalmente.

### 1.3. - Antecedentes

Para realizar esta evaluación, se tuvo en consideración, los siguientes antecedentes :

- Decreto #46 del 05.03.2002, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece normas de emisión de residuos líquidos hacia cuerpos de aguas subterráneas.
- Normas especiales que Atañen a la contaminación por Riles, USACH – Web.
- Set de Normas Preliminares de la Superintendencia de Servicios Sanitarios y del MOP
- Antecedentes sobre el riego campesino y ferti-riego en el valle de Calama
- Expediente ND-II-1454 de la Dirección Regional de Aguas de la II región
- Leyes sobre Riles, Aguas mar leet – web.
- Aforos volumétricos de caudal, realizados terreno en varios puntos de descargas



## CAPITULO II : BASES Y FUNDAMENTOS DE LA EVALUACION

### 2.1. - Aspectos Físicos, Químicos y Biológicos de la Contaminación de Aguas Subterráneas:

#### 2.1.1. - Aspectos Físicos

La contaminación desde un punto puramente físico, se relaciona con el movimiento del contaminante a través del medio permeable.

En primer lugar se hace necesario distinguir entre el movimiento del fluido a través del medio no saturado y saturado respectivamente. En el primer caso el contaminante se desplaza preferentemente en la vertical, frente al pequeño desplazamiento que puede sufrir en la horizontal, en contraposición al movimiento que se produce en la zona saturada, en que la componente principal del escurrimiento es en sentido horizontal.

El escurrimiento en la zona no saturada esta condicionado por la conductividad hidráulica del suelo en conjunto con el gradiente hidráulico entre la superficie del suelo y la zona saturada; la humedad, porosidad y heterogeneidad del suelo. Cada una de las características hidráulicas anteriormente indicadas influyen en forma distinta sobre el escurrimiento, dependiendo de la condición en la que se encontraba el suelo al iniciarse el movimiento del contaminante. Por ejemplo, un suelo arenoso con un alto contenido de humedad, favorece la filtración del contaminante al acuífero; una mayor porosidad del suelo aumenta la velocidad del escurrimiento, pero al mismo tiempo tiende a retener más contaminante; una mayor conductividad facilita la evaporación desde la zona no saturada, con la consiguiente acumulación de sales en el suelo, las que posteriormente pueden percolar producto de una infiltración dada; el grado de heterogeneidad del suelo, que se traduce en estratificación de este en capas con mayor o menor conductividad hidráulica o una distribución no uniforme y disparea de los poros, influye en la velocidad del escurrimiento.

Otro condicionante del escurrimiento es la ubicación del límite entre la zona no saturada y saturada, el que a su vez influye en la humedad disponible para percolación y/o evapotranspiración desde el suelo. En zonas húmedas el movimiento será fundamentalmente descendente, en cambio, en zonas áridas (Planta Río Loa de Enaex) será al revés, esto es, en el primer caso la ubicación de la zona saturada estará más cercana al nivel del terreno, en cambio, en el segundo caso, se encontrará más profundamente.

Por otra parte el escurrimiento del contaminante en la zona saturada se ve sometido a factores similares a los indicados para la zona no saturada, tales como conductividad hidráulica y distribución espacial, porosidad del medio y las condiciones externas, tales como extracción o condiciones límite o de contorno, tales como bordes impermeables, etc.

También influye, aunque en menor medida, el tipo de acuífero, ya sea este confinado o libre. En el primer caso, el transporte es fundamentalmente horizontal y en el segundo caso existe un componente de tipo vertical, aunque predomina el escurrimiento horizontal, al igual que como en el primer caso.

Por otro lado y conforme el agente contaminante se mueve el acuífero, se va diluyendo fundamentalmente debido al fenómeno denominado "dispersión". Este término representa, en realidad, un grupo de efectos, cada uno de diferente escala. El primero de ellos denominado



difusión molecular, produce la mezcla de los líquidos adyacentes en ausencia de movimiento producto del movimiento Browniano de las moléculas. Este fenómeno generalmente no tiene importancia al considerar el manto acuífero, pero puede ser de importancia en el caso de un medio no saturado. Por una parte está el fenómeno de la dispersión mecánica, a una escala superior, cuyo efecto es causar una mezcla debido a las diferentes velocidades que se presentan en el seno del medio poroso.

#### 2.1.2. - Aspectos Químicos

Corresponden al efecto de los fenómenos químicos sobre la contaminación, ya sea en escurrimiento a través de la zona no saturada o saturada. En este caso el contaminante va cambiando su composición debido al contacto con los diversos tipos de terrenos y minerales, los diversos constituyentes orgánicos e inorgánicos del suelo, entre otros. Todo esto se traduce en disolución, que en algunas oportunidades es precedida por algunas reacciones químicas, por lo que el suelo va acumulando numerosas impurezas disueltas.

Los fenómenos químicos básicos que intervienen en la mayoría de los problemas relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas son: volatilidad, reacciones ácido base, precipitación solución, óxidos reducción, intercambio iónico y adsorción, pero en el caso particular de los metales pesados, sustancias orgánicas y la hidrólisis.

En las reacciones ácido base, los ácidos son incorporados fundamentalmente por las actividades humanas y son prácticamente neutralizados por los componentes alcalinos del terreno. Por otra parte las bases más frecuentes aportadas por los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) y los carbonatos ( $\text{CO}_3$ ), se debe a la presencia de rocas compuestas por carbonatos, tales como las calizas (Planta Río Loa de Enaex).

La presencia de ácidos en el agua queda representada por el pH del agua, el que en aguas naturales se sitúa entre 6 y 8. El pH disminuye en procesos de oxidación y aumenta en procesos tales como la reducción de sulfatos y la desnitrificación.

Otro proceso involucrado corresponde al de precipitación - disolución, el que queda caracterizado entre otros parámetros por la solubilidad de los contaminantes en el agua y por la cantidad de éstos, dado por el total de sólido disueltos (TSD).

La solubilidad en el agua de una determinada sustancia depende entre otros factores de la propia sustancia, presión, temperatura, pH, potencial redox (rH), presencia de material orgánico y de la concentración relativa de otras sustancias presentes en la solución.

El segundo factor mencionado, TSD, incluye a todas las sustancias sólidas disueltas en el agua y se utiliza para caracterizar el grado de disolución y de concentración de una muestra de agua particular.

La importancia que presentan estos factores en la contaminación estriba en que hay compuestos que aún teniendo una baja solubilidad, su sola presencia en las aguas es dañino para el medio ambiente, a menos que sean fijados en la matriz de suelo mediante procesos como el de adsorción.



Con el fin de caracterizar totalmente la química de las aguas subterráneas, deben incluirse la influencia de los electrolitos en las reacciones químicas involucradas. Esta inclusión se hace considerando el potencial redox (rH) de la solución, el que se manifiesta en un intercambio de electrones entre los distintos componentes de las reacciones químicas involucradas. La importancia que tiene este proceso en el estudio de la contaminación de las aguas subterráneas está dado por el hecho de que ciertas reacciones químicas, que en el laboratorio se producen muy lentamente, en un medio natural se aceleran debido al efecto catalizador de microorganismos presentes en el agua, los que ayudan a la liberación de los electrones y por ende en el proceso de óxido reducción.

Dentro de los fenómenos químicos que se presentan en la interacción de las aguas subterráneas con el suelo, están los de adsorción y el intercambio iónico. La combinación de ambos efectos en conjunto con la precipitación del contaminante en el suelo, produce la eliminación total o parcial de la fase líquida, fenómeno que es llamado fijación. El peligro que introduce esta situación es que la sustancia química que es fijada en el suelo, puede en el largo plazo liberarse, contaminando nuevamente el sistema agua suelo.

La hidrólisis ocurre ya que los metales presentes en el suelo o en el contaminante, son susceptibles de reaccionar con el agua dando lugar a la formación de una solución ligeramente ácida o básica.

Por último se debe tomar en cuenta la influencia de metales pesados y de sustancias orgánicas. En este caso existen algunas sustancias orgánicas solubles que reaccionan con los metales en solución, dando origen a complejos órgano metálicos, también llamados quelatos. La importancia de estos quelatos está en que los metales se vuelven menos susceptibles a la adsorción y por lo tanto aumenta su movilidad en las zonas no saturadas y saturada. Por el contrario existen otros compuestos orgánicos que producto de la interacción del intercambio iónico con la adsorción limitan la movilidad de los metales pesados.

### 2.1.3. - Aspectos Biológicos

El tercer aspecto involucrado en la contaminación de las aguas es el relacionado con la contaminación biológica de las mismas, esto se debe a que la actividad biológica influye sobre la calidad de las aguas subterráneas a través de diferentes mecanismos. En primer lugar se debe considerar el peligro de transmisión de organismos patógenos proveniente de los residuos orgánicos que se originan como residuo; ambos puntos están relacionados el uno con el otro. Además existe la influencia de los microorganismos y las reacciones de oxidación reducción que tienen lugar entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Esta influencia es probablemente la más importante en lo que respecta al ciclo de los nutrientes y a la contaminación de los acuíferos por materia orgánica.

La acción biológica es importante en cuanto a la movilidad de los iones en el terreno y a la capacidad de su adsorción por parte de las plantas (por ejemplo), al influir sobre ciertos fenómenos tales como mineralización, precipitación, inmovilización, oxidación, reducción, quelación, volatilización y disolución. Esta acción biológica, se ve alterada por la aplicación de insecticidas y otras sustancias necesarias para el cuidado de los cultivos, que terminan afectando el equilibrio ecológico.



Por otro lado, la amenaza para la salud pública debida a la transmisión de organismos patógenos, es tan real para las aguas subterráneas como para las superficiales, pues aún dándose generalmente como un hecho la protección que proporciona el suelo, esto no supone una eliminación total del problema. Entre los organismos patógenos que pueden llegar al terreno y después al acuífero se encuentran bacterias y virus, y entre las enfermedades transmitidas por estos se cuentan disentería y el cólera, enfermedades cuyo origen es bacteriológico, y la hepatitis infecciosa que es de origen viral. En ambos casos la fuente principal de contaminación proviene del vertido de aguas con contenido fecal.

## 2.2. - Detección y Medición de la Contaminación

Con el objetivo de velar por la calidad del agua subterránea o para evitar su contaminación y su correspondiente baja en la calidad, es que se requiere un conocimiento previo del problema. Esto es, cómo saber si ha existido una merma en la calidad de las aguas de un acuífero si no se conoce previamente cual era el estado de la calidad de sus aguas, o cuales son las causas específicas que incidieron en el deterioro de esta calidad.

Con el fin de lograr lo anterior, se debe realizar una observación periódica de las características de las aguas subterráneas. Para esto, se debe definir qué características físico químicas del agua subterránea se requiere conocer para determinar si en un momento dado la calidad del agua ha sufrido una merma importante. Además de los parámetros a muestrear, se debe definir con que frecuencia se debe realizar la medición de éstos; esto es debido a que si el acuífero se encuentra una zona en la que hay una gran concentración de posibles fuentes de contaminación, la frecuencia de medición debe ser mayor que si el acuífero se encuentra en una zona en que existen menos focos de contaminación. Dentro de los puntos que se deben incluir en la definición de la red de control está la vigilancia de los posibles focos de contaminación, ya sean estos existentes o a la posible instalación de nuevas fuentes.

En la relación de los parámetros a muestrear, se debe tomar en cuenta los tipos de contaminación posibles de producirse, así como también la distribución espacial de estas fuentes, la distribución espacial y temporal de la explotación del acuífero, las características geológicas e hidrogeológicas del sistema. En lo relacionado a la distribución espacial de las captaciones de aguas subterráneas, se debe tomar en cuenta la cercanía entre éstas y los focos de contaminación.

Fundamentalmente entonces, el objetivo de la vigilancia de la calidad de las aguas subterráneas es obtener la información necesaria para poder tomar decisiones con respecto al control de las aguas, teniendo un aviso a tiempo de la existencia de este tipo de problemas, así como su evolución en el tiempo, tanto en composición como en extensión.

Con el fin de lograr una correcta interpretación de los antecedentes recogidos, se debe tomar en cuenta la forma en la que se realizó la medición de éstos. Lo anterior radica en que si la medición se realizó en forma inadecuada, las conclusiones que se obtengan respecto a la calidad de las aguas pueden no indicar lo que realmente está ocurriendo en el acuífero.

Con este fin una recomendación es que la obtención de las muestras de aguas que van a ser analizadas sea luego de un bombeo que asegure que el agua que se esté extrayendo sea



efectivamente el agua que ésta aportando la napa. Esto es así, en el caso en que el pozo haya estado sin uso previo a la realización de la medición.

Otra recomendación es asegurarse que los recipientes que se utilizarán para contener el agua que será analizada, estén limpios y que la toma de la muestra sea analizada de una sola vez.

### 2.2.1. - Contaminación Natural

La contaminación natural, es originada, entre otras formas por la existencia de mantos de aguas saladas fósiles.

En el caso de los acuíferos continentales, el problema se debe principalmente, en la mayoría de los casos, al agua de mar que alguna vez existió ahí y que luego de su reiterada quedó atrapada en los sedimentos durante su depositación o producto de movimiento tectónico, aunque también puede deberse a la existencia de domos salinos u otras sales que pueden producir aguas con un elevado contenido salino.

Dentro del fenómeno de mezcla de las aguas saladas con aguas dulces, en acuíferos continentales, son relevantes los cambios de presión o en la altura piezométrica en zonas de donde ambos fluidos están en contacto o por la destrucción de las barreras naturales que los separan y que puede inducir la presencia de estratos impermeables profundos.

Una tercera forma de contaminación natural, corresponde a la contaminación por aguas contaminadas por polución atmosférica. Esto ocurre debido a que la gotas de lluvia recogen diversas impurezas naturales caída hasta el suelo y una vez allí producen un lavado del terreno en el que también adquiere impurezas que traspasa al acuífero cuando termina su recorrido en el subsuelo. Es muy común que esta contaminación provenga de materia orgánica en diverso estado de degradación que es disuelta y transportada hasta las napas.

En el caso del acuífero superficial que subyace bajo todo el Valle de Calama y Planta Río Loa, considerando que el río y riego se hace con aguas del Río Salado incluídas (en mayor cantidad) con las del Loa, este acuífero superficial es efectivamente más salobre, justamente por esta razón.

### 2.2.2. - Contaminación Industrial

Este tipo de contaminación es muy variado, dada la gran variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, empleadas en los procesos productivos, ya sea como materia prima o como producto terminado y que son susceptibles de convertirse en contaminantes. Otra característica importante de este tipo de contaminación, es el hecho que puede provocarse como una contaminación de tipo puntual o local.

Las fuentes de contaminación industrial pueden clasificarse en tres categorías principales: en cuanto a la cantidad, el tipo más importante de contaminación corresponde a los residuos derivados de los procesos de producción que son enviados directamente al suelo. Un segundo tipo lo constituye las fugas desde instalaciones, que al ocurrir en forma solapada no es posible detectarlas en forma rápida, lo que significa que el control de éstas es muy dificultoso. Por último, debe considerarse la contaminación ocasionada por vertimientos accidentales.



Dentro de los tipos de contaminación industriales puede contarse a los siguientes: contaminación con metales pesados procedente de la industrial metalúrgica; contaminación con sustancias orgánicas e inorgánicas proveniente de la industria química y petroquímica; contaminación con aguas residuales con altos contenidos de materias orgánicas proveniente de la industria alimenticia.

Las fugas se ocasionan principalmente en los sectores en el que se procede al acopio de los residuos contaminantes de los distintos tipos de industrias considerados, tales como acopio de líquidos combustibles, ya sea en silos o estanque enterrados.

En el caso de los accidentes, la fuente más usual se relaciona con el volcamiento de vehículos que transportan combustibles o productos químicos en estado líquido.

Sobre este punto, el Valle de Calama y el acuífero asociado, están directamente comprometidos con faenas industriales ubicados aguas arriba de la ciudad (y de Planta Río Loa), como ser el mineral de El Abra, el gran Tranque de Relaves de Talabre y estará sujeto a contaminaciones que se pudieran provocar en el nuevo proyecto Santa Margarita (en construcción) del sector Angostura.

#### 2.2.3. - Contaminación Agrícola

La gran diferencia entre la contaminación industrial y la ocasionada por las actividades agrícolas, es que esta última ocurre en grandes extensiones de terrenos y no en forma localizada como ocurre con la primera, de esta forma, el impacto areal es más relevante y nocivo en la agricultura practicada con agro-químicos, por ejemplo, sin perjuicio de la contaminación por animales (fecas) y los siguientes aspectos.

Este tipo de contaminación procede principalmente de los residuos animales, ya sean líquidos o sólidos, por la presencia de sales en las aguas de riego proveniente de fertilizantes o insecticidas usados en la práctica agraria.

Entre los contaminantes presentes en las aguas de riego, se cuenta los abonos derivados del nitrógeno, del fósforo o potasio, siendo sólo los primeros los que afectan de mayor manera a las aguas subterráneas, ya que los compuestos a base de fósforo son fácilmente fijados por el suelo, lo que también ocurre con los abonos potásicos.

Entre los factores que influyen en el movimiento de los fertilizantes agrícolas hacia las aguas subterráneas están: la cantidad de agua de riego, ya que un exceso de esta ocasiona la percolación de los compuestos en exceso hacia el acuífero; el tipo de cultivo, en lo que refiere a los requerimientos de nutrientes, ya que la cantidad de nutrientes del cultivo depende de la etapa de crecimiento vegetativo en el que este se encuentre; la temperatura, que influye sobre la cantidad de nutrientes empleados por el cultivo, etc.

Los residuos animales, tanto sólidos como líquidos, son ricos en nitrógenos y fósforo, que tal como se indicó anteriormente, son fuentes potenciales de contaminación. Estos residuos usualmente se utilizan como abonos y son por lo tanto aplicados directamente al suelo, desde donde se produce la percolación hasta la napa subterránea.



Para el caso del Valle Agrícola de Calama, ubicado acuífero arriba de Planta Río Loa, es oportuno señalar que se han estado aplicado el último tiempo programas estatales de recuperación de suelos, probablemente sobre parte importante del actual territorio cultivable (unas 700 Has, por lo menos), siempre conservando la antigua tasa de riego de 28700 m<sup>3</sup>/Ha/año que se aplica típicamente en forma tendida (inundando predios) y en total a razón de más o menos 700 l/seg. Lo anterior, supera con creces el caudal de efluentes de Planta Río Loa, que nunca supera los 3 l/seg, en procesos y que por lo demás, corresponden a descargas puntuales que no cubren extensas superficies (sino puntos específicos) como el caso de la agricultura.

#### 2.2.4. - Contaminación Urbana

La contaminación urbana, proviene principalmente de los residuos sólidos y de las aguas residuales urbana, propios de la vida moderna.

Cuando estos residuos se vierten directamente sobre el suelo, sin ningún tipo de tratamiento o precaución, las aguas subterráneas resultarán fácilmente afectadas. También pueden afectar indirectamente, en casos en que el vertido de las aguas residuales se realice sobre aguas superficiales.

Para el vertimiento de aguas residuales directamente sobre el terreno, el afecto que tendrá sobre las aguas subterráneas dependerá del caudal vertido, el grado de absorción del suelo, la contaminación inicial de las aguas y el grado de tratamiento previo de las mismas, las características geológicas e hidrogeológicas del terreno en el que se realiza el vertido, entre otras.

La contaminación producto de los residuos sólidos, se produce principalmente en los centros de acopio de éstos o en los vertederos que se utilicen para su disposición final. En el caso de vertederos sin ningún tipo de control o precaución, los residuos se encuentran expuestos a diversos factores que los pueden afectar, tales como la precipitación sobre el terreno la que ocasiona un aumento importante en la cantidad de compuestos lixiviados que son susceptibles de percolar, en caso que el terreno tenga características hidrogeológicas que favorezcan la percolación de estos líquidos. En el caso en que el terreno haya sido tratado previamente para disminuir estas posibles filtraciones, se deberá tener cuidado con la acción de sismos que dañen en algún grado este tratamiento, con el consiguiente efecto de percolación de los residuos hacia la napa subterránea.

Sobre este tipo de contaminación, es dable señalar que el vertedero municipal de Calama, ubicado relativamente cerca del aeropuerto, se posiciona a mayor cota y esto es, acuífero arriba de Planta Río Loa y cualquier líquido percolado desde su matriz, podría inducirla.

#### 2.2.5. - Contaminación Inducida

Esta contaminación dice relación con la contaminación que se produce en el acuífero, ya sea producto de una sobre explotación o por una desinteligente explotación de éste.

En zonas costeras, por ejemplo, está el efecto de la intrusión marina de los acuíferos continentales, con el consecuente empeoramiento de la calidad de este último. En estos acuíferos, la explotación irracional, ya sea desde el punto de vista de la cantidad de caudal bombeado como de la cantidad total de horas de bombeo, ocasiona que el agua salada que se encuentra en contacto directo con el agua dulce se mezcle con esta última, ocasionando la



contaminación del agua dulce con las sales marinas, lo que en caso de no ser controlado a tiempo puede inutilizar al acuífero costero para el abastecimiento de agua.

En relación a Planta Río Loa de Enaex S.A., la presencia del pozo CMG-1 con derechos para explotar 31 l/seg a menos de 2 km, implica cierto riesgo de descenso de la napa del entorno de la captación, con el consecuente impacto inducido, al acarrear junto al descenso del nivel freático, la percolación de minerales anteriormente posicionados en la capa no saturada del lugar.

## 2.3. – Evaluación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas

### 2.3.1. - Concepto

La forma más lógica para definir el riesgo de contaminación de aguas subterráneas es entenderlo como la interacción entre dos factores semi-independientes correspondientes a :

- a) La carga contaminante que es o podrá ser aplicada en el subsuelo como resultado de la actividad humana.
- b) La vulnerabilidad natural a la contaminación del acuífero

Al referirse a la carga contaminante, se habla de los medios a través de los cuales se puede llegar a contaminar las napas; esto es por descarga de desechos urbanos, industriales, minerales y/u otros.

De acuerdo con lo señalado, se puede tener una alta vulnerabilidad pero cero riesgo de contaminación, debido a la ausencia de una carga contaminante y viceversa. Ambos son perfectamente consistentes en la práctica. Aún más, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero no así la vulnerabilidad del acuífero.

Otras consideraciones determinarán si el riesgo de contaminación del acuífero resulta ser una seria amenaza para la calidad del agua subterránea, entre las que se puede mencionar a :

- a) La magnitud del episodio de contaminación y
- b) El valor de los recursos de aguas subterráneas

Estos dos elementos, a su vez dependen de una serie de otros factores relacionados.

La interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero, permite determinar finalmente el riesgo de que la contaminación llegue al acuífero.

El termino "vulnerabilidad a la contaminación del acuífero" se utiliza entonces, para presentar las características intrínsecas que determinan la "sensibilidad" de una parte del acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta. En consecuencia es, en rigor, lo inverso a la capacidad de asimilación de contaminantes de un cuerpo de agua receptor, en el lenguaje de la calidad de las aguas de los ríos.

En vista de la complejidad de factores que afectan la migración de los contaminantes en los sistemas de aguas subterráneas, el significado potencial de los factores hidrogeológicos y la



condición específica en cada lugar, podría parecer más lógico tratar cada actividad potencialmente contaminante en forma individual con ciertas condiciones hidrogeológicas dadas y realizar investigaciones de campo para evaluar el riesgo de contaminación. Esto, sin embargo, sería muy costoso y en la mayoría de los casos, se necesitaría inicialmente un procedimiento de evaluación más simple. Tal procedimiento utilizaría los datos básicos normalmente disponibles para elaborar un mapa de vulnerabilidad del acuífero y, por lo tanto, identificar los principales riesgos de contaminación de aguas subterráneas. Sin embargo, se debe hacer notar que el concepto de una "vulnerabilidad general para un contaminante universal en un escenario típico de contaminación" no tiene mucho significado científico. Todos los acuíferos, por Ejemplo, son vulnerables a contaminantes persistentes derivados de una actividad contaminante que se prolongue a largo plazo.

### 2.3.2. - La Zona No Saturada como Limitante u Obstáculo a la Contaminación

La zona no saturada o el subsuelo seco sobre el nivel freático (NF), tiene especial importancia debido a que corresponde a la primera línea de defensa natural contra la contaminación del agua subterránea ubicada en la zona saturada. Esto no es solo debido a su posición estratégica entre la superficie y el NF del acuífero, sino también a que constituye un ambiente favorable para atenuar o eliminar contaminantes.

El movimiento del agua en la zona no saturada es generalmente lento y restringido a los poros más pequeños con una superficie específica grande; la condición química es normalmente aeróbica y frecuentemente alcalina. Esto resulta en un potencial considerable para la intercepción, adsorción y eliminación de microorganismos patógenos; la atenuación de metales pesados y otras sustancias químicas inorgánicas, mediante precipitación (como carbonatos, sulfuros o hidróxidos), adsorción o intercambio de cationes; la adsorción y la biodegradación de muchos hidrocarburos y compuestos orgánicos naturales y sintéticos.

Por lo general, tales procesos continuarán más abajo, en la zona saturada de los acuíferos, pero generalmente a tasas menores. En esta zona no saturada la reducción de las concentraciones de los contaminantes dependerá principalmente de la dilución que resulte de la dispersión hidrodinámica, que es un control adecuado para contaminantes altamente tóxicos.

Por lo tanto, es importante que se tome en consideración la zona no saturada para la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero. Si esta se ignora, las evaluaciones podrían ser excesivamente conservadoras. Sin embargo, el rol de la zona no saturada puede ser complejo y su capacidad para atenuar los contaminantes es difícil de predecir. Pueden ocurrir cambios marcados en el comportamiento de algunos contaminantes si la actividad contaminante cuenta con la suficiente carga orgánica o ácida como para causar un cambio radical en la zona no saturada apenas significa un retraso en el tiempo de llegada de éstos al nivel freático, sin atenuación efectiva y beneficiosa alguna. En muchos otros casos el grado de atenuación dependerá en gran medida del régimen del flujo y del tiempo de retención en la zona no saturada.

Mientras que las velocidades de flujo natural en la zona no saturada de casi todas las formaciones no exceden de 0,2 m/día y menos cuando se promedian por períodos más extensos, el flujo de agua y las tasas de penetración del contaminante en formaciones fisuradas pueden ser mayores, con la presencia de una sobrecarga hidráulica artificial. Por tanto, el carácter litológico y especialmente el grado de consolidación y fisuración son los



factores claves en la evaluación de la vulnerabilidad de contaminación de acuíferos, especialmente en relación con la vulnerabilidad comparativa de contaminación microbiana, biodegradable y mayormente retardada.

La zona biológicamente activa del suelo forma, en efecto, la parte más alta de la zona no saturada. Muchos de los procesos que causan la eliminación y atenuación de contaminantes ocurren a tasas más altas en esta zona como resultado de su contenido mineral orgánico y de arcilla más alto, y una población bacteriana mucho mayor. En muchas fuentes de contaminación puntual, sin embargo, la carga contaminante es aplicada debajo del nivel de terreno natural, en la base o sello de excavaciones tales como fosos, zanjas, lagunas, drenes y canteras. Por lo tanto, la capacidad de atenuación de la zona no contribuye a la reducción de la vulnerabilidad total del acuífero. La situación es diferente para la mayoría de las fuentes de contaminación difusa. Por ejemplo, las características del suelo influirían grandemente sobre la lixiviación de nutrientes y plaguicidas desde tierras agrícolas y determinarían si la depositación de sustancias ácidas en el área podrían ser neutralizadas.

### 2.3.3. - Clasificación Regional de la Vulnerabilidad a la Contaminación de Aguas Subterráneas.

Es posible elaborar una división a gran escala de los ambientes hidrogeológicos encontrados en América Latina y el Caribe.

- a) Cordillera con valles intermontañosos. Estas áreas incluyen importantes acuíferos volcánicos conformados por lavas basálticas, andesíticas, riolíticas y rocas piroclásticas, de abanico o secuencia aluviales intercaladas. El riesgo elevado de contaminación estará presente donde los acuíferos de lava afloren o tengan sólo una cubierta delgada de materiales piroclásticos o aluvio – volcánicos y en áreas limitadas donde los acuíferos aluviales de alta permeabilidad tiene un nivel freático poco profundo.
- b) Basamento igneo continental. Estas rocas cristalinas metamórficas pueden dar origen a acuíferos poco profundos y menores en su zona de meteorización que son importantes para los suministros rurales de agua y altamente vulnerables a la contaminación.
- c) Cuencas sedimentaria y mesetas volcánicas. En estas condiciones geológicas pueden hallarse acuíferos regionales mayores, especialmente dentro de las formaciones de calizas y arenisca más significativas. Las primeras, sobre todo cuando tiene un aspecto kárstico (Planta Río Loa de Enaex S.A), son altamente vulnerables a la contaminación.
- d) Sedimentos costeros calizos y arenosos recientes. Estas formaciones, especialmente las calizas, pueden conformar acuíferos muy productivos de elevada o extrema vulnerabilidad a la contaminación, especialmente en áreas densamente pobladas, tales como islas, en donde no existen otras fuentes de abastecimiento de agua.
- e) Aluviones recientes de grandes ríos. Se puede encontrar acuíferos importantes en las partes más arenosas de las acumulaciones aluviales mayores, pero éstas están casi siempre semiconfinadas y, a pesar de tener un nivel freático poco profundo, no siempre son muy vulnerables a la contaminación, excepto en el caso de los contaminantes más móviles y persistentes



#### 2.3.4. - Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea

La relación de la vulnerabilidad natural de un acuífero con las cargas contaminantes potenciales, permite delimitar áreas con diferentes niveles de riesgo de contaminación para el agua subterránea.

Las napas con riesgo de contaminación por vulnerabilidad, a una escala regional, pueden detectarse teóricamente para la planificación de acciones y controles del acuífero. Los resultados así obtenidos pueden ser considerados como un primer paso en el proceso de evaluación del riesgo de contaminación de acuíferos y pueden ser utilizados para asignar prioridades en los programas de vigilancia e investigación. En general, la influencia de los elementos y variables que definen el riesgo de contaminación puede determinarse al menos cualitativamente.

Para su cuantificación o evaluación, su influencia relativa puede tomarse en cuenta a partir, por ejemplo, de los factores que propone Hirata (1991), en un rango entre 0,0 y 1,0 para definir un índice de vulnerabilidad. En ese caso, se analizan las características del tipo de acuífero (napa, libre, confinada u otro), la estratigrafía del suelo intermedio, la profundidad del nivel freático o piezométrico y la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

Combinando los índices que se defina que corresponden a cada caso, se puede establecer un índice único que globalice el riesgo de contaminación del caso en estudio.

En los últimos años han surgido otros intentos por mejorar la aproximación a la cuantificación del riesgo de contaminación.

La más conocida es la metodología denominada DRASTIC, que agrega a los elementos incluidos en la anterior, el tipo de cobertura del suelo y la recarga. En este caso se trata de establecer la influencia que tiene sobre el riesgo de contaminación la cubierta del suelo (muchas veces artificiales en zonas con alta carga de contaminante), relacionada a su vez con la recarga que puede generarse (natural, artificial o ambas).

Al agregarse esos dos parámetros, la aproximación de DRASTIC mejora, ya que teniendo un suelo con pavimento - por ejemplo - el riesgo de contaminación disminuye frente a un suelo natural, aunque la carga contaminante sea alta, pues la recarga se verá limitada. Otros ejemplos semejantes pueden derivarse de situaciones reales en sistemas de aguas subterráneas bajo explotación.



### CAPITULO III: EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO

#### 3.1. – Descripción del Acuífero Bajo Planta Río Loa de Enaex S.A.

##### 3.1.1. – Introducción

El acuífero cuya vulnerabilidad se evalúa, ha sido explorado por Minera Lomas Bayas desde el año 1996, aprovechando su dominio sobre la parcela 11 del Sector Nuñez y la forestación con Algarrobos de las parcelas 1 a 10 del mismo lugar, ubicado inmediatamente al noreste (N – W) de Planta Río Loa. Los antecedentes de los pozos perforados por Lomas Bayas, constan al interior del expediente 1.454 de la Dirección Regional de Aguas de Antofagasta, el cual está resuelto y por tanto, son de libre acceso al público en general.

La exploración que Lomas Bayas realizó, implicó la perforación de dos sondajes exploratorios (6") de 200 m y 300 m de profundidad, bastante adecuados para los fines que persigue cumplir este informe y quedaron ubicados como se indica en la tabla siguiente :

**TABLA**

#### POZOS EXPLORATORIOS EN ACUIFEROS BAJO PLANTA RIO LOA DE ENAEX S.A

POZO	PROF (m)	PARCELA	NF (m)	COORDENADAS	
				NORTE UTM (m)	ESTE UTM (m)
MGX – 1	200	N° 11	3,3 prom	7.512.200	504.875
MGX - 2	300	Gémenis	6,6 prom	7.513.520	507.470

El pozo MGX – 1 solo permitió reconocer un "acuífero superior", relacionado con estratos de calizas (40 m promedio), pero en el pozo MGX – 2 se reconoció otro más profundo, el cual se desarrolla en una unidad de gravas, con matriz arenosa y poco limo arcilla. En ninguno de los pozos se llegó a la roca basal.

#### 3.1.2. - Estratigrafía del subsuelo en Planta Río Loa

Con los pozos exploratorios de Lomas Bayas, se atravesó la estratigrafía del subsuelo que se muestra en la tabla siguiente :

**TABLA**  
**ESTRATEGRAFIA ACUIFERO DUPONT**

POZO	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFIA GENERAL
MGX – 1	En los 200 m de su extensión, se pudieron diferenciar 3 unidades bien definidas que en general se pueden agrupar de la siguiente manera: 5 m superiores de suelo arcilloso y con una capa superficial vegetal, a continuación existe una capa de 40 m de calizas (formación El Loa) y debajo se detectó una gruesa capa de arcilla. Nunca se llegó a indicios de roca o grava al finalizar la habitación del pozo.
MGX – 2	Cuenta con 300 m de hondura y atravesó 4 unidades de suelo: los 6 m iniciales con suelo gravoso y vegetal, luego hasta los 42 m se encontraron alternancias de



gravas con arenisca y lutitas. Entre los 42 y los 246 m se encuentra un gran estrato de arcilla con algunas intercalaciones delgadas de arena, grava, arenisca y lutitas. Finalmente la cuarta unidad se ubicó entre las 246 y 300 m., correspondiendo a gravas en una matriz arenosa y con un pequeño porcentaje de arcillas.
--

De acuerdo con lo anterior, se confirma la presencia de dos acuíferos, uno superior desarrollado en calizas y conglomerados arenosos y otro acuífero inferior formado por gravas.

Entre los 2 acuíferos existe un grueso estrato de arcilla con 150 m de espesor promedio. En el plano de Anexos, se muestra gráficamente la estratigrafía descrita.

### 3.1.3.- Acuífero Superficial

#### 3.1.3.1.- Coeficiente Elásticos

El acuífero superficial de Calama fue explorado y es explotado por Minera Leonor que posee derecho para aprovechar sus aguas subterráneas, mediante 5 pozos de 60 m cada uno y que no atraviesan un estrato arcilloso que lo separa de un acuífero más profundo. Los pozos de Leonor cuentan con derechos por un caudal de 209 l/seg, materia de las Resoluciones DGA N° 219, 315, 316, 319, y 322 todas del año 1995.

Las pruebas de bombeo efectuados en cada pozo, indicaron los siguientes valores de transmisividad : 2.338,1992, 1716, 12.567 y 20.111 m<sup>2</sup>/día más los siguientes valores para el coeficiente de almacenamiento:  $2,4 \times 10^{-4}$ ,  $3,8 \times 10^{-4}$ ,  $6,7 \times 10^{-4}$  y  $7,4 \times 10^{-4}$ , entonces es factible de ubicar en el rango  $8,3 \times 10^{-4}$  a  $2,6 \times 10^{-4}$  (descartando valores de orden  $10^{-4}$  por no ser representativo de acuíferos en calizas).

Igualmente las pruebas de bombeo realizados indican que la napa escurre en dirección NE a SW con una gradiente promedio del 1,8% (ver plano del Anexo)

#### 3.1.3.2. - Parámetros Físicos Químicos del Acuífero Superficial

Las aguas subterráneas muestreadas desde los 5 pozos de Leonor (PPR -1 a 5), en el acuífero superior del Valle de Calama, fueron obtenidas casi al término de cada prueba de bombeo y desde los afloramientos de aguas situadas en el área (ríos Loa y San Salvador, vertientes San Lorenzo y Ojo de Opache y poza cercana). Las Tablas que a continuación se anexan, muestran los resultados de los análisis.

Todas las muestras son de carácter sódico cloruradas. Las concentraciones de cationes presentan proporciones relativas similares para todas las muestras, representado por:  
 $Na > Ca > Mg > K$ .

Las concentraciones relativas de aniones presentan 2 variantes. Las muestras obtenidas a partir de 3 pozos de Minera Leonor Río Loa y Vertiente Ojo de Opache presentan una relación  $Cl > HCO_3 > SO_4$ . Otra relación se establece para los otros 2 pozos Leonor, Río San Salvador y Vertientes San Lorenzo, representado por la relación  $Cl > SO_4 > HCO_3$ , invirtiéndose las proporciones de sulfatos y carbonatos.



El total de sólidos disueltos (TSD) varía entre 2,95 g/l (Vertiente San Lorenzo) y 6,54 g/l (Río San Salvador, agua arriba de la confluencia con aguas servidas y Vertiente San Lorenzo). En los pozos de Leonor, el TSD está en un rango más restringido: de 3,99 g/l (PPR-5) a 5,36 g/l (PPR-1), con un promedio de 4,59 g/l. Se trata por lo tanto, de aguas salobres, con un contenido salino muy superior al límite asignado al agua potable (1,0 g/l). La distribución areal de este parámetro establece dos tipos de aguas:

Sector 1: Pozos PPR – 1, 4 y 2, con un TSD alto (5,36 a 4,67 g/l)

Sector 2: Pozos PPR – 3 y 5 con TSD bajo, (4,02 a 3,99 g/l)

El pH varía entre 7,07 y 7,95, excepto en la Vertiente Ojos de Opache con 6,87. El promedio en los pozos es de 7,22 lo que representa un pH ligeramente alcalino, característico de las aguas de acuíferos en rocas calcáreas y dolomíticas. Sin embargo, debe considerarse que no siempre se mide el pH del agua en su estado natural debido a que se está sometiendo a cambios de presión y temperatura. De hecho las medidas de pH se efectuaron al llegar las muestras al laboratorio, unas horas después de haberse obtenido. El Río Loa presenta un pH medido en varios sitios cercanos a Calama de 7,8 a 8,0 (ESPILDORA y otros, 1973).

La turbiedad presentó valores bajos situados, entre 0,27 y 0,85 NTU. Asociados a estos parámetros se halla frecuentemente el color aparente, analizado con un método cuyo límite de detección es 5 unidades Pt – Co. Los valores encontrados variaron entre < 5 y 10 unidades; solo durante los primeros 2 minutos se manifestaba una coloración evidente y notoria del agua, provocado por los sedimentos finos incorporados. Este parámetro aparte de presentar valores bajos no tiene una importancia significativa para la mayoría de los procesos industriales, excepto cuando se requiere evitar explícitamente la coloración de un producto (por ejemplo, la celulosa).

La dureza total representa la sumatoria de sales de Mg y Ca, expresado como  $\text{CaCO}_3$ . Para uso doméstico resultan inconvenientes valores superiores a 100 ppm. En caso que las aguas han estado en contacto con yeso o rocas carbonatadas, las concentraciones van de 200 a 300 ppm. Las aguas de los pozos tienen durezas de 981 a 1.246 ppm, los que son extremadamente altos, aunque no sorprendente por el alto contenido salino de las aguas.

La conductividad eléctrica va de 634 mS/m (pozo PPR – 5) a 783 mS/m (pozo PPR – 1), estableciéndose una relación para el TSD en 63 a 70%.

Los compuestos nitrogenados se hallan en su mayoría bajo el límite de detección. Son todos inferiores a 0,3 pp para el amoníaco, excepto el pozo PPR – 1, con 0,3 ppm; inferiores a 0,004 ppm, excepto el pozo PPR – 4 con 0,35 ppm, (pudiendo representar un resultado erróneo). Los nitratos se hallan en el rango de 8,2 (pozo PPR – 5) a 15,3 ppm (pozo PPR – 1). El valor máximo registrado podría reflejar algún nivel de contaminación bacteriana.

El contenido de materia orgánica, determinado mediante la pérdida de peso por calcinación de residuo seco, originó valores en el rango de 567 a 851 ppm. Sin embargo, el método aplicado no parece reflejar tan solo el contenido orgánico, sino también pérdida de peso por deshidratación de ciertos componentes minerales.



El compuesto carbonatados son casi exclusivamente bicarbonatos por tratarse de aguas con pH inferior a 8,2. La única muestra conteniendo  $\text{CO}_3$  provino del Río San Salvador, con una concentración de 50 ppm, teniendo un pH de 7,95 y altas concentraciones de K (115 ppm), Na (1.400 ppm), Ca (350 ppm) y Mg (170 ppm), los favorece la aparición de carbonato. Los bicarbonatos tienen un rango de 385 a 489 ppm en los pozos, existiendo valores inferiores en ambos ríos.

Los sulfatos están presentes en el rango de 283 a 470 ppm (pozo PPR – 1), siendo su promedio de 349 ppm. El alto contenido en las aguas muestreadas deriva de la significativa presencia de minerales evaporíticos, tales como yeso y anhidrita, en la zona.

Los cloruros poseen un rango de 1.770 a 2.140 ppm, con una concentración promedio en los pozos de 1.980 ppm.

Consecuentemente en los altos contenidos de cloruros, el sodio también presenta fuerte concentraciones: de 1.020 a 1.219 ppm, con un promedio de 1.151 ppm. Estas concentraciones generan un alto índice SAR, el cual se basa en los contenidos de Na, Ca, y Mg. Los valores resultantes oscilan entre 14,11 a 15,81 ppm.

El potasio presenta rangos de 70 a 84 ppm, con un promedio de 75,6 ppm. Comúnmente, la concentración de K es superior a 10 g; rara vez supera los 15 ppm, aunque en salmuera pueda alcanzar varios miles de ppm.

El calcio tiene un rango de concentración de 233 a 294 ppm, con un promedio de 263 ppm. En las aguas de escurrimiento superficial, los valores son en general inferiores (200 ppm para el Río Loa y 166 ppm para la Vertiente San Lorenzo). Resulta evidentemente fácil de explicar el alto contenido en Ca en estos acuíferos calcáreos.

El magnesio tiene un rango de concentración de 95 a 127 ppm, con un promedio de 110 ppm. La baja relación entre Ca y Mg (2,4) indicaría una probable presencia de calizas dolomíticas.

En arsénico se halla en concentraciones de entre 1,61 y 1,96 ppm, con un promedio de 1,74 ppm. El límite máximo permitido por la Norma de Agua Potable, tanto en Chile como Estados Unidos, es de 0,05 ppm. En las vertientes se alcanzan valores aún más altos: San Lorenzo: 2,42 ppm, Ojo de Opache: 2,15 ppm. El Río Loa tiene un valor más bajo 1,05 ppm, mientras que el Río San Salvador esta en el rango 1,60 ppm.

Los contenidos de hierro total se hallan en el rango de 0,05 a 0,56 ppm (pozo PPR – 1). El hierro soluble ( $\text{Fe}^{++}$ ) se halla debajo del límite de detección (0,05 ppm) en todas las muestras analizadas.

El manganeso presenta una concentración superior al límite de detección en un solo caso, al pozo PPR – 4 con 0,16 ppm. No existe una aplicación evidente de tal fenómeno, siendo que el Fe de esta muestra no presenta valores altos; esto podría atribuirse a la presencia de sedimentos limo arcillosos, que liberan Fe y Mn.

El boro presenta concentraciones muy altas, de 42 a 61 ppm, y un promedio de 53 ppm. El Río Loa tiene un contenido más bajo (37 ppm). Su origen está relacionado con gases volcánicos ricos en ácido bórico o halogénidos. En el norte de Chile, las aguas ligadas a vertientes



hidrotermales y con volcanismo reciente presentan altos contenidos de boro, elemento perjudicial para las plantas en concentraciones superiores a 1 – 2 ppm.

El flúor presenta contenidos de entre 0,3 y 0,6 ppm. Los demás parámetros físicos químicos analizados presentan concentraciones inferiores al límite de detección para todas las muestras. Este es el caso de cadmio (<0,02 ppm), cobre (<0,05 ppm), cromo total (< 0,05 ppm), plomo (<0,05 ppm), zinc (<0,04 ppm) molibdeno (<0,04 ppm, excepto el Río San Salvador con 0,05 ppm), antimonio (< 0,5 ppm), mercurio (<0,001 ppm), selenio (<0,001 ppm), cianuro total (<0,1 ppm), compuesto fenólicos (0,002 ppm) y detergentes (<0,2 ppm). Cabe señalar que estos últimos parámetros enumerados, fueron exclusivamente analizados en nuestras agua proveniente de los pozos.

### 3.1.3.3. - Parámetros Bacteriológicos e Isotópicos

Los parámetros bacteriológicos fueron analizados para las muestras de agua provenientes de los pozos, fundamentalmente para tener un conocimiento completo de la muestra, aún cuando ya ha quedado claro que esta agua no es potable.

Tanto los coliformes fecales como totales presentan un recuento nulo en todas las muestras. Los heterótrofos tienen valores de entre 500 y 16.833, adjudicándose los pozos PPR – 1 y PPR – 2 los valores más altos, lo cual podría atribuirse a un cierto grado de contaminación bacteriana.

El análisis de los isótopos  $^{18}\text{O}$  y deuterio ( $^2\text{H}$ ), permite establecer la existencia de diferentes tipos de agua, debido fundamentalmente al tiempo de residencia de las aguas en la formación rocosa. Seis de las muestras analizadas presentan concentraciones de  $^{18}\text{O}$  de – 8,2 a 8,7 ‰, siendo que el error analítico es de  $\pm 0,5\%$ ; los contenidos en  $^2\text{H}$  son de – 63 a – 67 ‰, con error analítico de  $\pm 2\%$  (todos los valores están expresados con respecto al Standard Mean Ocean Water, SMOW). Sólo una muestra, aquella proveniente del pozo PPR – 2 posee valores situados fuera de estos rangos, – 7,8 ‰, para  $^{18}\text{O}$  y – 59 ‰, para el  $^2\text{H}$ .

Al graficar las 7 muestras en un gráfico  $^{18}\text{O}$  -  $^2\text{H}$ , en combinación con la "recta de agua meteórica", elaborada por GRAIG in DREVER (1982), se obtiene la superposición de 2 puntos sobre la recta. Los dos puntos representan por una parte la muestra del pozo PPR – 2 y por otra las muestras de los restantes pozos, de la Vertiente Ojo de Opache y Río San Salvador. Se concluye, por lo tanto, que todas las aguas muestreadas son de origen meteórico.

### 3.1.3.4.- Comentarios con Respecto a Aportes Subterráneos hacia Aguas Superficiales

Según estudios de ESPILDORA y otros (1973), la sección del Río Loa comprendida entre las estaciones de aforo fluviométrico, Yalquincha y Chintoraste (aproximadamente 4 km aguas arriba y 12 km aguas debajo de Calama, respectivamente), manifiesta una fuerte variación hidroquímica, descrita como "contaminación adicional". La conductividad eléctrica asciende de 4.000 a 5.700  $\mu\text{mhos}$ , lo cual se traduce en valores aproximados para el TSD en 2.630 ppm y 3.750 ppm respectivamente; el boro sube 7 ppm al rango 9,7 – 20 ppm; el arsénico sube de 0,4 ppm a 1,3 – 4,7 ppm; el SAR sube de 9,8 a unos 14 y los contenidos en cloruros y sodio suben aproximadamente un 50%. Se ha concluido que esta brusca variación de la calidad del agua no se produce sólo por la concentración de las aguas de riego agrícola; sería más bien una prueba de la incorporación al flujo superficial, de aportes subterráneos provenientes de la alta



cordillera. Este fenómeno ocurriría en este sector por el estrechamiento notorio de las unidades permeables en el sector de Calama, con la presencia de la Sierra del Medio y la Sierra Limón Verde. Estas deducciones son, además, coherentes con la fuerte similitud entre las aguas de los pozos, Río Loa y las vertientes del sector.

### 3.1.3.5.- Acuíferos Kársticos

El acuífero superficial estudiado, se desarrolla preferentemente en calizas, que se caracteriza porque el agua subterránea circula entre grietas o querdades, geo-canales, cuevas y otras cavidades que se forman debido a la disolución y lixiviación de las calizas, dolomitas, yesos, anhidritas y sales (halitas y otros). Estas cavidades que incluso pueden ser microscópicas o de varios metros, pueden extenderse por varios centenares de metros, total o parcialmente llenas de agua con y sin interconexiones, a veces formando verdaderos "ríos subterráneos".

A diferencia del movimiento de las aguas subterráneas en las rocas fisuradas insolubles, las vías de circulación de las aguas Kársticas en las rocas solubles pueden ampliarse, por eso el movimiento de las aguas subterráneas transcurre más intensamente. Además, el régimen predominante de movimiento de las aguas kársticas en la zona de saturación completa, es laminar y solo en la zona de aireación y cerca de la frontera superior de la zona de saturación puede formarse un régimen turbulento de movimiento.

Las condiciones hidrogeológicas de las rocas kársticas y las rocas fisuradas se parecen en mucho, pero en condiciones de Karst (sobre toda en la zona superior), el movimiento de las aguas subterráneas transcurre más intensamente y el rendimiento de las corrientes de aguas kársticas suele ser mucho mayor. El caudal de algunas fuentes kársticas importantes constituye decenas de metros cúbicos por segundo, alcanzando, a veces, 150 m<sup>3</sup>/seg (por ejemplo, la fuente Vaucluse en Francia).

El régimen de las aguas kársticas se distingue por grandes fluctuaciones del caudal y de nivel, lo cual se haya totalmente condicionado por el carácter inestable de alimentación. El caudal de las fuentes varía bruscamente: sus valores máximos y mínimos difieren en decenas y centenares de veces. En algunas partes del planeta se registran fluctuaciones considerables de nivel de las aguas kársticas, sin embargo, la mineralización y temperatura de ellas, no experimentan tales fluctuaciones.

En los territorios constituidos por rocas kársticas carbonatadas se pierden los riachuelos e incluso se reduce el caudal de los grandes ríos (del tipo del Angará). Así pues, la relación de las aguas superficiales y subterráneas en las regiones donde están desarrolladas las rocas kársticas es no sólo muy íntima, sino que también suele ser muy compleja. Si por volumen de desagüe subterráneo se adopta el caudal total de todas las fuentes presentes en la región, es posible llegar a conclusiones incorrectas, ya que algunas fuentes aparecen en la superficie varias veces.

Al realizar investigaciones hidrogeológicas en regiones cársticas, se presta gran atención al estudio de la zonación hidrodinámica vertical de las aguas cársticas y al establecimiento de las regiones, de su extensión, alimentación y desagüe, así como a la anisotropía de filtración de las rocas cársticas.



En las regiones constituídas por potentes series de rocas kársticas, se destacan cuatro zonas hidrodinámicas verticales, que se distinguen una de otra por las condiciones de movimiento y el régimen de las aguas kársticas.

A.- Zona de aireación, en la que ocurre principalmente el movimiento descendente de las aguas de infiltración y aflujo. Su potencia es diferente en distintas regiones y depende del clima de la región kárstica, de las condiciones de infiltración y aflujo de las aguas atmosféricas, de la permeabilidad de las rocas, de la profundidad de los valles de denudación en la región y de otros factores.

En algunos lugares, en la zona de aireación yacen las llamadas aguas kársticas suspendidas (o colgadas) que se forman a consecuencia de la permeabilidad heterogénea de las propias rocas kársticas y la presencia en ellas de intercalaciones hidrófugas locales; calizas arcillosas o monolíticas, sectores colmatados y lentes. Las intercalaciones hidrófugas locales detienen la infiltración y el aflujo, lo cual precisamente conduce a la formación de corrientes kársticas suspendidas que actúan estacionalmente o durante todo el año.

B.- Zona de fluctuación estacional de las aguas kársticas, la cual en los periodos de intensa alimentación y ascenso del nivel se fusiona con la zona inferior, y en los periodos de merma se une con la zona que se mueve horizontalmente y cuando permanece bajo, verticalmente.

El espesor de la zona de fluctuación estacional del nivel de las aguas kársticas varía no sólo en distintas regiones, sino también dentro de los límites de cada una de ellas. Dichas variaciones están determinadas por: 1) la cantidad irregular de precipitación atmosférica que recibe durante el año la zona de aireación; 2) la distinta deformación kárstica de las rocas y su permeabilidad diferente; 3) las fluctuaciones del nivel del río con el que se halla relacionada la zona; y 4) la presencia, en la zona de aireación, de aguas suspendidas que detienen las aguas de infiltración y asimismo reducen la amplitud de las fluctuaciones del nivel de las aguas kársticas de la zona de saturación.

C.- Zona de saturación completa, la cual yace en la esfera de influencia drenadora de la red hidrográfica local que atraviesa el macizo de rocas Kársticas. El agua en la zona se mueve hacia el valle fluvial. El hecho de que esta zona permanece bajo el horizonte de aguas superficiales, radica en que se mueve de abajo hacia arriba.

La zona de saturación completa contiene las principales reservas de aguas Kársticas. La profundidad de yacimiento de su frontera inferior depende de muchos factores naturales, pero los principales de ellos son: 1) la profundidad del valle de denudación (cuando más profundo sea ese valle tanto más potente será la zona de saturación); 2) la anchura del valle fluvial (cuando más ancho sea éste, tanto mayor profundidad alcanzará la frontera inferior de la zona de saturación); 3) la permeabilidad de las rocas (la capas poco permeable o impermeables pueden ser frontera inferior de la zona de saturación); 4) la diferencia de los niveles de agua en el río y en la divisoria de aguas del macizo cárstico (cuando más grande sea esa diferencia, tanto mayor será la potencia de la zona de saturación); y 5) la variación de la fisuración y deformación cárstica de las rocas con la profundidad (cuando más profundamente se manifieste la fisuración y deformación cárstica de las rocas, tanto más potente será la zona de saturación).



D.- Zona de circulación profunda, donde el movimiento del agua ocurre fuera de la influencia drenadora directa de la red hidrográfica local. La dirección de las aguas subterráneas aquí está determinada principalmente por las particularidades de la estructura tectónica y la posición de las regiones de descarga, que pueden permanecer más arriba o más abajo del nivel del mar.

En la descarga de las aguas de esta zona desempeñan un papel muy importante las grietas tectónicas profundas y dislocaciones de rotura. Las aguas subterráneas se mueven lentamente hacia las depresiones tectónicas o hacia los valles de denudación aún más profundos, que se encuentran fuera de los límites del macizo kárstico.

Las velocidades de movimiento se miden en centímetros al año y tanto el intercambio de agua como el proceso kárstico transcurren muy lentamente.

La referida característica de movimiento de las aguas subterráneas en las regiones kársticas es general. En condiciones naturales a menudo se observan desviaciones de la regularidad general.

En el plano horizontal del territorio karstico se destacan tres regiones: 1) la región de difusión de las aguas Karsticas, que puede coincidir (carst oculto) con el área de desarrollo de las rocas kársticas; 2) la región de alimentación de las aguas kársticas, que corresponde al área de infiltración y aflujo de las precipitaciones atmosféricas; y 3) la región de descarga de las aguas kársticas, que puede permanecer más arriba y mas abajo del nivel del mar, es decir, puede ser sub-aérea y submarina.

La composición química y la mineralización de las aguas kárstica están determinadas por la composición de las rocas kársticas, la zonación hidrodinámica de la corteza terrestre y los procesos químicos, bioquímicos y otros.

Las aguas kársticas de las calizas, dolomitas y mármoles de la zona de intenso intercambio de agua suelen obstaculizado son aguas mineralizadas, sulfáticas y cloruradas; y las de la zona de intercambio de agua muy obstaculizado son por lo general, aguas saladas altamente mineralizadas, y también salmueras de composición clorurada. Las aguas kársticas de los yesos y las anhidritas de la zona de intenso intercambio de agua son sulfáticas, y en la zona de intercambio de agua obstaculizado y muy obstaculizado son aguas cloruradas, frecuentemente del tipo de salmuera.

Las aguas kársticas de las sales, en las tres zonas, son saladas de composición cloruradas.

#### 3.1.4. - Acuífero Profundo

El acuífero profundo que sub-yace bajo Planta Río Loa y que no tiene riesgos con los efluentes del proceso de elaboración de explosivos de Enaex, se ubica bajo una capa de arcilla altamente impermeable y de 50 m de espesor mínimo (valor medio = 150 m). Considerando que el acuífero superior (desarrollado en calizas) se desarrolla sobre la capa de arcilla y hasta una profundidad promedio de 65 m, se puede señalar que el acuífero mas profundo, de todas maneras se ubica bajo los 100 m desde terreno natural.

Por otra parte, la roca basal bajo todo el Valle de Calama y que conecte (por ejemplo) Sierra de Moctezuma y Cerro la Cruz, se ubica bajo los 300 m, desde la cota promedio del valle; en



razón de lo anterior, el acuífero mas profundo (desarrollado en gravas) alcanzan un espesor mínimo de 200 m, mucho mayor que el acuífero superficial.

Este acuífero ha sido explorado por Cía Minera Lomas Bayas y el pozo CMG – 1 (H = 300 m) cuenta con derechos consuntivos por 31 l/seg, está ubicado unos 2 km al NW de planta Río Loa y unos 500 m al NE del cauce Río Loa en el sector Dupont.

Puesto que este acuífero profundo no se relaciona con los efluentes de Planta Río Loa, a continuación sólo se hace una descripción muy general de éste.

#### 3.1.4.1. - Clasificación y Coeficiente Elásticos del Acuífero Profundo

Conforme se ha señalado precedentemente y debido básicamente a la existencia de una capa de arcilla con espesor mínimo de 50 m sobre el acuífero profundo, este último puede clasificarse con toda seguridad, como "confinado".

Las propiedades o coeficientes elásticos para este acuífero profundo y confinado, determinados durante las pruebas de bombeo en el pozo CMG – 1, son los siguientes :

- Coeficiente de Almacenamiento (S) =  $1 \times 10^{-5} = 0,00001$
- Coeficiente de transmisibilidad (T) = 80 m<sup>2</sup> /día

#### 3.1.4.2.- Calidad Físico Química del Agua en el Acuífero Profundo

El origen de la napa es Salino (Cloruro – Sódicos) al igual que el Río Loa, pero con bajo contenido de Arsénico en el acuífero, a diferencia del río, lo cual permite concluir que entre acuífero profundo y Río Loa, no existe conexión geo- hidráulica; misma conclusión de desconexión pueda extrapolarse a los acuíferos analizados, esto es: el acuífero superficial y el más profundo (separado por una fuerte capa de arcilla) no están hidráulicamente conectados.

#### 3.2.- Clasificación y Coeficiente Elásticos del Acuífero en Evaluación

Los puntos se descargan de riles en Planta Río Loa de Enaex se podrían relacionar con el acuífero superficial del sector cuyo nivel freático esta entre los 16 m bajo terreno natural y se desarrolla en calizas.

Este acuífero superficial se clasifica como "No Confinado", también conocido como acuífero libre o freático, el cual puede caracterizarse con los siguientes parámetros elásticos promedio :

- S =  $1 \times 10^{-3} = 0,001$
- T = 2.000 m<sup>2</sup>/día

#### 3.3.- Método para evaluar Vulnerabilidad de Acuíferos

##### 3.3.1.- Criterios de selección

Para seleccionar el método teórico que evaluará la vulnerabilidad de un acuífero, se debe considerar lo siguiente :



- Información Disponible : Actualmente el órgano Estatal Chileno a cargo de los recursos hídricos continentales, superficiales o subterráneos, Dirección General de Aguas (DGA) no cuenta con un catastro procesado y concluidos de calidad de las aguas en la cuenca del Río Loa, no ha identificado acuíferos vulnerables, como le obliga el Art.4 del Decreto 46/2002 y recién está concluyendo un estudio de calidad de las aguas del Río Loa y sus afluentes; la información expuesta en este informe, respecto del acuífero superficial de Calama, fue preparada por un particular (Minera Leonor) faltando conocer otros sectores del acuífero para cruzar información. Para este informe entonces, se concluye que la información disponible es moderadamente útil, pues carece de medios de contraste para verificar su autenticidad o exactitud, si se quiere así.
- Alcance de la Evaluación : Planta Río Loa de Enaex cubre menos del 1 % de la superficie del acuífero sobre el que se ubica, razón por la que esta evaluación de vulnerabilidad se corresponde con un análisis bastante focalizado o localizado.
- Validación de Resultados: Los resultados de vulnerabilidad de un acuífero deben validarse conociendo la situación previa y actual de calidad, pero en este caso solo existen datos para validar la vulnerabilidad intrínseca de la napa.

Cada uno de los tópicos anteriores, mas el criterio del especialista, permitirán concluir acerca de que método conviene más utilizar.

### 3.3.2.- Métodos para Evaluar Vulnerabilidad de Acuíferos

#### 3.3.2.1.- Introducción

Desde que Margat (1968) introdujera el término "vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación", se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica.

Hasta la fecha, sin embargo, no se ha logrado consenso sobre el alcance del término y en este sentido, existen dos grandes corrientes.

Una corriente o tendencia está representada por aquellas investigaciones que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.) sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) y en la otra tendencia, se agrupan los que si le otorgan, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga de contaminante (vulnerabilidad específica).

También existen divergencias respecto a la utilidad de las representaciones cartográficas y si la vulnerabilidad debe mantenerse en un marco cualitativo o pasar a otro cuantitativo.

A continuación se hace una breve referencia a las definiciones, a los componentes y a los métodos mas difundidos para caracterizar a la vulnerabilidad del agua subterránea respecto de la contaminación o agentes contaminantes, incluyéndose métodos para acuíferos libres y para semi-confinados.



### 3.3.2.2.- Definiciones

Vrba y Zaporozec (1994) definen a la vulnerabilidad como "una propiedad intrínseca del sistema de una agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales". De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como los contaminantes y dentro de éstos, a los artificiales y a los naturales.

Foster e Hirata (1991) dicen que la "vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta". En este caso al citar a una carga contaminante impuesta, los autores parecen referirse solamente a una contaminación de origen artificial.

Custodio (1995) señala "la vulnerabilidad a la polución expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales". Vuelven a aparecer aquí procesos naturales y/o artificiales, como potenciales generadores de la alteración.

Carbonell (1993) define la vulnerabilidad a la contaminación, como la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero. En este caso el autor considera solamente la acción de los contaminantes.

EPA (1991) hace referencia a la vulnerabilidad subterránea respecto a un plaguicida, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede alcanzar al acuífero en función de las prácticas agrícolas empleadas, la características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica. Esta definición incorpora, además de las condiciones del medio, las propiedades del contaminante y las prácticas de cultivo (vulnerabilidad específica).

Otro concepto intimamente asociado a la vulnerabilidad es el riesgo a la contaminación, aunque este también genera diferencias en su definición, utilidad y técnicas para el mapeo.

En las aguas subterráneas, el riesgo de contaminación esta compuesto por dos partes :

- La pasiva, representada por la vulnerabilidad, que no depende de la actividad humana y no cambia perceptiblemente en el tiempo y
- La amenaza, relacionada con la vida humana en la superficie o sub superficie

Algunos autores (Foster, 1987) definen al riesgo como el peligro de deterioro en la calidad de un acuífero, por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno. Otros (Vrba y Zaporozec, 1994) lo asimilan a la vulnerabilidad específica, que se refiere al peligro de contaminación del agua subterránea respecto a un contaminante de características y comportamientos similares (nitratos, hidrocarburos livianos o pesados, plaguicidas, materias orgánicas, fenoles, metales, etc.)

En nuestro caso la vulnerabilidad intrínseca tiene mayor utilidad en los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua, particularmente en el que respecta a la presentación de la calidad del recurso, en los sitios donde no esta afectado, ni se realizan prácticas como



fertilización, aplicación de plaguicidas, riego, cría y concentración de ganado, ni actividad doméstica, urbanas, o industriales, que por su intensidad pudieren afectarlo.

La vulnerabilidad específica incluye parcialmente el concepto de riesgo, toda vez que se refiere al peligro del deterioro en relación con sustancias contaminantes específicas.

Con el objeto de clarificar, se cita un ejemplo sencillo :

- a) Un depósito con puerta sin llave ni candado, ubicado en la zona rural, es muy vulnerable debido al fácil acceso; sin embargo el riesgo de hurto o robo es bajo, porque en la región no hay vándalos.
- b) Otro depósito, ubicado en la zona urbana y provisto de fuerte cerraduras, candados y ventanas enrejadas, es poco vulnerable pero de alto riesgo, debido a la presencia de delincuentes en la región.

En este informe y conforme lo señala el Decreto 46/2002 (Art.4) la vulnerabilidad específica de un acuífero dice relación con la velocidad con la que un contaminante puede migrar hasta la zona saturada del acuífero clasificándose como alta, media y/o baja, en términos tales que – en general – se tendrá que a mayor rapidez mayor vulnerabilidad.

#### 3.3.2.3.- Métodos para la Evaluación de Vulnerabilidad

Se exponen las metodologías más empleadas actualmente para la evaluación, cualificación y el mapeo de la vulnerabilidad de un acuífero.

##### A.- DRASTIC.

Fue desarrollado por Aller et al (1987) para EPA, con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Es un método de uso muy difundido, tanto para la cualificación (evaluación cualitativa) como para el mapeo y se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC :

- D (depth – profundidad del agua freática)
- R (recharge – recarga neta)
- A (aquifer – litología del acuífero)
- S (soil – tipo de suelo)
- T (topography - topografía)
- I (impact – litología de la sección subsaturada)
- C (hydraulic conductivity – conductividad hidráulica del acuífero).

El índice 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima

Además, a cada variable se le asigna una ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad. Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, adoptando los autores el mayor (5) para la profundidad del agua (D) y litología de la sección subsaturada (I) y el menor (1) para la topografía (T).

Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínima) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice generalmente varía entre 50 y 200.

- DRASTIC también considera la incidencia de las actividades agrícolas, en particular de los pesticidas.
- Tanto este como el resto de los métodos que aquí se mencionan, califican a la vulnerabilidad en forma cualitativa y su mayor utilidad es que permiten realizar comparaciones relativas dentro de una misma región, o entre regiones distintas.

#### B.- SINTACS.

Es una derivación del DRASTIC, desarrollado por Civita et al (1990) para adecuarlo a las diversas características hidrogeológicas de Italia y al requerimiento de un mapeo de mayor detalle. El acrónimo SINTACS significa letra por letra, lo siguiente :

- S (soggiacenza – profundidad del agua)
- I (infiltrazione – infiltración)
- N (nom saturo – sección saturada – zona no saturada)
- T (tipologia della copertura – tipo de suelo)
- A (acquifero – características hidrogeológicas del acuífero)
- C (conducibilità – conductividad hidráulica)
- S (superficie topográfica – pendiente topográfica)

Este método presenta una estructura compleja, tanto para la entrada de datos como para la salida, por lo que su operación se realiza mediante un programa computacional preparado especialmente para el mismo. A las variables mencionadas, que influyen en la vulnerabilidad intrínseca, se les puede añadir la incidencia del agua superficial y el uso de la tierra.

#### C.- GOD

Este método propuesto por Foster (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que nominan el acrónimo:

- G (ground water occurrence – tipo de acuífero)
- O (overall aquifer class – litología de la cobertura)
- D (depth – profundidad del agua o del acuífero)

Otros métodos similares a los descriptos, pero menos conocidos y utilizados, son los desarrollados por Fenge (1976), Zaporozec (1985), Marcolongo y Pretto (1987), Sotornikova y Vrba (1987), Villumsen et al (1983).

#### D.- EPIK.

Es un método paramétrico desarrollado por Doerfliger y Zwahlen (1997) para acuíferos kársticos. El acrónimo EPIK significa desglosadamente lo siguiente :



E (Epikarst)  
P (Protective cover)  
I (Infiltration conditions)  
K (Karst network development)

El Epikarst es una zona de intensa karstificación y elevada permeabilidad, cercana a la superficie (Tripet et al, 1997), al que se asignan 3 valores:

E1= corresponde a la red kárstica típica (dolomita, depresiones, cavidades, grutas, etc.)  
E2= cuando hay superficies de debilidad en la zona matricial que generan alineamientos (valles secos, alineación de dolinas, etc.)  
E3= ausencia de morfología epikárstica.

El Protective cover está formado por el suelo y otros materiales de cobertura como depósito glaciales, loess, limos aluviales, derrubios de falda, etc. A este parámetro se le asignan 4 valores (de P1 a P4), en función del espesor de la cobertura.

El parámetro Infiltration (infiltración) es el de más complicada estimación.

- a) I1 se aplica a regiones con vías accesibles para la infiltración directa.
- b) I2 e I3 se emplean para zonas con pendientes topográficas entre 0 y 25%.

Contrariamente a otros métodos paramétricos, en éste la vulnerabilidad aumenta con el incremento de la pendiente, que favorece la concentración de la escorrentía en los sitios más karstificados.

Al parámetro Karst network (red kárstica) se le asigna 3 valores:

K1= para una red karstica bien desarrollada.  
K2= para zonas pobremente karstificadas.  
K3= para acuíferos kársticos con descarga en medios porosos, o que presentan fisuración, pero subordinada.

El método incluye 4 factores de ponderación ( $\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\delta$ ), aplicables a cada parámetro (EPIK), para valorar su peso relativo en el cálculo del índice de vulnerabilidad intrínseca. Este índice de vulnerabilidad, denominado también factor de protección es:

$$V_i = (\alpha \cdot E_i) + (\beta \cdot P_i) + (\gamma \cdot I_i) + (\delta \cdot K_i)$$

Donde:

$V_i$  = índice de vulnerabilidad en el área i  
 $E_i, P_i, I_i, K_i$  = valores relativos de los parámetros E, P, I, K  
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  = factores de ponderación correspondiente a los parámetros EPIK.

Los valores relativos para los parámetros E, P, I y K son :

E1	E2	E3	P1	P2	P3	P4	I1	I2	I3	I4	K1	K2	K3
1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

A diferencia de la mayoría de los otros métodos, el EPIK brinda vulnerabilidad creciente a medida que disminuyen los valores relativos de los parámetros considerados. Lo anterior, porque el método apunta a definir el factor de protección para el agua subterránea, más que la vulnerabilidad.

Para los factores de ponderación Doerfliger y Zawanhlem (1977) proponen:

$$\alpha = 3 \quad \beta = 1 \quad \gamma = 3 \quad \delta = 2$$

Considerando los valores relativos y los factores de ponderación, surge que el índice de vulnerabilidad o factor de protección de un acuífero en medio kárstico puede variar entre extremos de 9 (más vulnerables) y 34 (menos vulnerable). Los mismos autores recomiendan emplear las siguientes categorías :

- Vulnerabilidad alta (9 – 19)
- Vulnerabilidad media (20 – 25)
- Vulnerabilidad baja (26 – 34)
- Vulnerabilidad muy baja cuando exista una cobertura de suelo detrítico, de por lo menos 8 m de espesor, con baja conductividad hidráulica.

#### E.- EKv

Auge (1995), considera que la vulnerabilidad "es un concepto cualitativo, que en la generalidad se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación. Por ello también se la conoce como protección o defensa natural".

En relación a los acuíferos libres desarrolla una clasificación basada en la profundidad de la superficie freática (E) y la permeabilidad vertical de la zona subsaturada (Kv), parámetro que también considera el método AVI (Aquifer Vulnerability Index).

A ambas les asigna índices que van de 1 (menos vulnerables) a 5 (más vulnerable), finalizando en el diagrama de la tabla 3 donde Kv es la permeabilidad vertical y E el espesor de la sección subsaturada. Ambos valores se suman brindando un índice final, con extremos de 2 y 10. Para índice final, con extremos de 2 y 10. Para índices de E + Kv entre 2 y 4 la vulnerabilidad es baja, entre 5 y 7 media y de 8 a 10 alta

**TABLA**  
**Valor del índice según el espesor de la zona subsaturada**

	ESPESOR DE LA ZONA SUBSATURADA (E)				
m	> 30	> 10 a 30	> 5 a 10	> 2 a 5	< 2
índice	1	2	3	4	5



**TABLA**

**Valor índice según la permeabilidad vertical**

PERMEABILIDAD VERTICAL DE LA ZONA SUBSATURADA (Kv.)					
m/día	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$> 1 \cdot 10^{-3}$ a 0,01	$> 0,01$ a 1	$> 0,1$ a 50	$> 50$ a 500
índice	1	2	3	4	5

Vulnerabilidad	Muy baja	baja	media	alta	Muy alta
----------------	----------	------	-------	------	----------

- 5: con permeabilidades verticales (Kv) de 50 a 500 m/día, esta representado por arena mediana y gruesa, grava arenosa y grava.
- 4: Kv. de 1 a 50 m/d, por arena muy fina a limosa, arena fina y arena mediana gruesa.
- 3: Kv. de 0,01 a 1 m/d, por limo y limo arenoso
- 2: Kv. de 0,001 a 0,01 m/d, por limo y limo arcilloso.
- 1: Kv < de 0,001 m/d, por arcilla y arcilla limosa

**TABLA**

**Diagrama de vulnerabilidad – acuíferos libres**

Kv	1	6	5	4	3	2
	2	7	6	5	4	3
	3	8	7	6	5	4
	4	9	8	7	6	5
	5	10	9	8	7	6
		5	4	3	2	1

**E**

Es muy poco lo que se ha hecho respecto a la vulnerabilidad de acuíferos parcialmente confinados o semiconfinados.

F.- AhT' (Relación de potenciales hidráulico)

Apto para establecer la vulnerabilidad de acuíferos confinados, bajo otro superior y que en consecuencia está controlado por las propiedades físicas y geométricas del acuífero que conforma su techo (permeabilidad vertical, porosidad, espesor y continuidad) y también por la diferencia de potencial hidráulico que guarda con el acuífero libre sobrepuesto. Esta diferencia, que bajo condiciones de no alteración generalmente es pequeña (algunos dm a pocos m), se amplifica durante la explotación, donde puede alcanzar decenas y aún centenas de metros.

La permeabilidad vertical del acuitardo (K') y su transmisividad vertical ( $T' = K'/e'$ ) no son de fácil determinación. Una forma es mediante ensayos hidráulicos, pero estos pueden brindar valores bastante mas altos que los reales, particularmente cuando las perforaciones ensayadas

carecen de un buen aislamiento entre el acuífero libre y semiconfinado. Más representativo es comparar la freaticometría con la piezometría de la misma zona y obtener un mapa residual, con las diferencias de potencial hidráulico entre el freático y el acuífero semiconfinado y a partir de este último, conociendo el flujo por el acuífero parcialmente confinado, estimar el valor de  $T'$  (Augue, 1986). Magnitudes de  $T'$  entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$  día $^{-1}$ , significa que por cada metro de diferencia de potencial hidráulico entre el acuífero parcialmente confinado y el freático, pasarán por una superficie de 1 m<sup>2</sup> del sellante,  $5 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup> (0,5 litros), al cabo de 1 día. Esta magnitud que parece despreciable, deja de serlo cuando el ámbito involucrado en el pasaje, adquiere dimensiones naturales (cientos de miles de km<sup>2</sup>).

Los potenciales hidráulicos relativos de las unidades hidrogeológicas involucradas resultan fundamentales, pues condicionan el flujo vertical. Si los niveles son parecidos el flujo vertical a través del acuífero estará limitado, pero la dinámica vertical se acentúa notoriamente en condiciones de alteración artificial o la presencia y explotación de pozos.

G.- Flujo a través del acuífero por variación de la transmisividad vertical.-

Considerando ambas variables (potenciales hidráulicos y transmisividades verticales) se pueden establecer 3 grados de vulnerabilidad (alta, media y baja), determinados primariamente por el gradiente vertical de potenciales hidráulicos y secundariamente por la  $T'$ .

Resulta importante señalar que los potenciales hidráulicos pueden variar, tanto por causas naturales (periodos de exceso o déficit) como artificiales (extracción) y que ello pueden modificar el sentido del flujo vertical. Por lo tanto deben seguirse periódicamente (monitoreo) la evolución espacial y temporal de los mismos.

**TABLA**  
**Vulnerabilidad de un acuífero semiconfinado en**  
**Relación al potencial hidráulico respecto al del libre asociado**

$H_2 > H_1$	Vulnerabilidad baja
$H_2 = H_1$	Vulnerabilidad media
$H_2 < H_1$	Vulnerabilidad alta

A esto se le puede adicionar la resistencia hidráulica que ofrece el sellante al pasaje vertical, utilizando la siguiente tabla.

**TABLA**  
**Vulnerabilidad de un acuífero semiconfinado en relación a**  
**Transmisividad vertical del acuífero sobrepuesto**

$T' < 10^{-5}$ 1/día	Vulnerabilidad baja
$10^{-5} < T' < 10^{-3}$ 1/día	Vulnerabilidad media
$T' > 10^{-3}$ 1/día	Vulnerabilidad alta



### 3.3.3.- Vulnerabilidad del Acuífero Superficial Bajo Planta Río Loa de Enaex S.A.

Se evalúan los métodos más apropiados a este caso :

#### A.- DRASTIC

- Factores de profundidad (D) con NF = 16 m, implica  $D_r = 3$ , mientras  $D_w = 5$ , tanto para el caso pesticida como no pesticida.
- Factores de Recarga Neta (R) con pluviometría inferior a 50 mm por evento, se tiene  $R_r = 1$  y  $R_w = 4$  casos con o sin pesticida.
- Acuífero en calizas Karsticas (A) implica  $A_r = 10$  y valores  $A_w = 3$  para casos de pesticidas y no pesticidas.
- Acuíferos con calizas con limos (S) implica  $S_r = 4$  y factores de  $S_w = 5$  casos pesticidas y  $S_w = 2$  para no pesticidas.
- Topografía del lugar (T) con pendiente media inferior al 2% implica  $T_r = 10$  y  $T_w = 1$  caso no pesticida y  $T_w = 3$  pesticidas
- Factor de la zona no saturada (I), conformada aquí por caliza Karstica, luego  $I_r = 10$  y con  $I_w = 4$  pesticida o  $I_w = 5$  en el caso de no pesticida.
- La conductividad hidráulica del acuífero (C) con promedio máximo de  $4 \times 10^{-4}$  (cm/seg) implica  $C_r = 6$ , acompañado de  $C_w = 2$  caso pesticida y  $C_w = 3$  no pesticida.

Evaluando la ecuación de contaminación potencial (CP) dada por :

$$CP = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

CP = 123 para el caso de no pesticida (rango 101 – 135) y

CP = 151 para el caso pesticida (rango 121 – 160)

En consecuencia, para ambos casos se tiene vulnerabilidad "media" del acuífero.

#### B.- GOD

- Condiciones de confinamiento del acuífero (G) = 0,9 pues se trata de un reservorio de aguas subterráneas calizoso no confinado.
- Litología y consolidación del subsuelo (o) = 0,95 pues se trata de limos aluvionales (Formación del Río Loa) inmersos en una matriz de calizas blandas, duras y caliche.
- Ubicación de NF (D) = 0,7 pues la napa a 16 m esta en el rango entre 5 y 20 de hondura.

Luego el índice de vulnerabilidad (IV) =  $6 \times 0 \times D$ , resultando  $IV = 0,5985 \approx 0,6$  ubicable en el rango 0,5 a 0,7 asociado con una vulnerabilidad "alta".

### C.- EPIK

Considerando que se trata de un método válido en acuíferos kársticos, resulta también apropiado al acuífero calameño (superficial), ubicado bajo Planta Río Loa. En este caso si, debe observarse que se evalúa con esta metodología la vulnerabilidad intrínseca ( $v_i$ ).

Para el caso del acuífero bajo Planta Río Loa, los parámetros o coeficientes del método, tendrían las siguientes asignaciones o valores :

$I$  = considerando que el terreno del sector en estudio tiene una pendiente comprendida en el rango 0 a 25 %, se adopta  $I = 2$ .

$K$  = tratándose de un acuífero con fracturación, manifestada – por ejemplo – en Vertiente Ojos de Opache, este coeficiente se asume  $K = 3$ .

$E$  = Este lugar de la Comuna de Calama corresponde evidentemente a un valle seco porque está fuera (aguas abajo) del territorio agrícola de Calama y puede asumirse  $E = 2$ .

$P$  = siendo este factor dependiente de la posición del NF y estando esta variable sujeta (a futuro) a descensos por explotación del pozo CMG-1, se prefiere sensibilizar el análisis en torno a esta variable, evaluando la ecuación de  $V_i$  para sus valores extremos, con lo cual se tiene :

$P = 1$  implica  $V_i = 19$  y  $P = 4$  implica  $V_i = 22$ , con lo cual es posible y racional trabajar con un valor promedio y en consecuencia  $v_i = 20$ , asociado a una vulnerabilidad media.

### D.- Ekv

Ya que Planta Río Loa se ubica sobre un acuífero libre, este método es adecuado, aún cuando la metodología depende de la profundidad del NF (factor  $E$ ) y de la permeabilidad vertical (factor  $K_v$ ).

De los antecedentes expuestos anteriormente, en especial respecto del pozo CMG-1, puede decirse que  $NF = 16$  m, factible de ubicar en el rango 10 a 30 m y luego  $E = 2$ .

Para determinar el factor de permeabilidad vertical ( $k_v$ ) se realizaron pruebas de campo, similares a las que exige el Servicio Nacional de Salud para determinar el índice de adsorción de terrenos y a partir de ellos, se obtuvo una permeabilidad vertical media y representativa de Planta Río Loa, de 10 m/día asociable con un factor  $K_v = 4$ .

En consecuencia el factor  $E + K_v = 6$  que se corresponde con una vulnerabilidad media, para este acuífero.



## CAPITULO IV : CONCLUSIONES

### 4.1. – Ubicación Relativa del Acuífero en la Cuenca

El acuífero que sub-yace bajo Planta Río Loa, corresponde al Acuífero Superficial del Valle de Calama y está hidrogeológicamente ubicado aguas debajo de otros sectores anteriores que podrían provocar o han provocado contaminaciones en esta reservorio de aguas subterráneas (que da origen entre otras, a Vertiente Ojos de Opache), por diversas causas o accidentes. Al respecto, debe destacarse entre estos sectores, a los denominados Salar de Talabre y Rudolph Brinkerkoiff (frente a Angostura), donde se acumula y acumularán, respectivamente, grandes cantidades o volúmenes de efluentes o relaves, posiblemente clasificables como riles. Más cerca, también debe ponerse atención al sector donde opera el actual relleno sanitario o vertedero municipal de la ciudad, pues ahí también podrían provocarse precolaciones profundas de líquidos indeseables para esta napa.

Igualmente esta acuífero de Planta Río Loa, está ubicado debajo de sectores de explotación de aguas subterránea (pozos de Leonor y Lomas Bayas) y al mismo tiempo, lamentablemente, lejos de sectores de recargas subterráneas.

### 4.2.- Profundidad del Acuífero y Monitoreo

La zona no saturada del acuífero existente bajo Planta Río Loa, estimada en un promedio no inferior a los 15 metros, ha permitido disipar efectos nocivos en las descargas de efluentes, gracias a su composición calcárea y estratificación casi horizontal, pues ofrece una resistencia física (permeabilidad) al escurrimiento vertical y además impone una resistencia química, pues la cal o caliza actúa neutralizando en forma natural, posibles percolaciones de fluidos (no riles) contaminantes en dirección a la napa.

Sin perjuicio de lo anterior, a modo de monitorear el movimiento y vulnerabilidad de la napa que está bajo Planta Río Loa, Enaex S.A. debería evaluar la posibilidad de perforar un pozo en el cual se pueda medir, bajo un Plan de Monitoreo directamente relacionado con sus procesos y la emisión de efluentes, la posición y variación del NF (por ejemplo previniendo efectos producto de la explotación del pozo CMG-1) y en el cual cada cierto tiempo, además, se pueda verificar la calidad físico – química de estas aguas. Este pozo de monitoreo debería ubicarse en el sector de menor cota superficial de los predios de Enaex, aguas abajo de todos los puntos de descarga actuales y futuros de efluentes, y sin descartar o renunciar a la posibilidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas en éste, por ejemplo acogiendo a uso doméstico privado (lavado de baños, control de emisiones, riego de áreas verdes, etc.) que por estar en sus tierras, le correspondería por el sólo Ministerio de la Ley (no se solicitarían a la Dirección General de Aguas).

### 4.3.- Magnitud de las Descargas de Enaex



Tratándose de 13 puntos de descarga que en total implica un caudal inferior a 4 l/seg en forma discontinua y en la mayoría de ellos bajo medio l/seg (también eventuales, no siempre), puede señalarse que en términos medios las descargas se ubican bajo los 30 m<sup>3</sup>/día, con lo cual a su vez se puede decir que las descargas son bajas, por ejemplo en comparación con el riego del valle de Calama (78,6 m<sup>3</sup>/Ha/día, más del doble), este último aplicado a una superficie mucho mayor y no en puntos específicos.



#### 4.4.- Vulnerabilidad Intrínseca de la Napa

De acuerdo con el Art.4 N°14 del Decreto 46-2002, corresponde a la Dirección General de Aguas determinar la vulnerabilidad de un acuífero, a partir de la determinación del contenido natural de determinados elementos ubicados en la zona saturada de ese cuerpo de aguas subterráneas (N° 5 del mismo Art.4). Sin embargo a esta fecha (Mayo 2004) el Organismo Estatal aludido no ha realizado ni lo uno ni lo otro, de manera que incumpliendo la autoridad esta normativa, en opinión de este consultor, al menos dicha Institución no está en condiciones ni cuenta con pie jurídico, para exigir el cumplimiento de tales o cuales normativas a los usuarios, en este caso a las empresas catalogadas como fuentes emisoras, según el Decreto 46-2002. Además y como si fuese poco, consecuencia de lo anterior, tampoco hoy existe un método o metodología oficial específica que los usuarios deban respetar o seguir, para evaluar la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero continental en Chile.

Sin perjuicio de lo señalado y conforme las metodologías actualmente en práctica y los cálculos realizados, la vulnerabilidad intrínseca del acuífero que sub-yace bajo Planta Río Loa se clasifica como media, aún cuando su estado actual pudo ser deteriorado por terceros ubicados aguas arriba, tiempo atrás, como se indicó en el cuerpo principal de este informe, sin necesariamente tener responsabilidad exclusiva Enaex S.A..

#### 4.5.- Consecuencias según Decreto 46-2002

Interpretando el fondo del Art.13 del Decreto aludido, Planta Río Loa de Enaex S.A., como fuente emisora de efluentes hacia un acuífero de vulnerabilidad media, cuenta con plazo de 3 años, desde el día 8 de Marzo del año 2002, para procurar cumplir con las tolerancias o límites máximos permitidos para sus descargas, según la Tabla N° 1 identificada en el Art.10 del citado cuerpo legal.

Lo anterior, sin perjuicio de que finalmente los efluentes de Planta Río Loa, sean catalogados como efluentes no riles y entonces, su sometimiento a esta normativa, sería voluntario.

#### 4.6.- Aprovechamiento de Efluentes o Riles

Actualmente existen procesos mineros que gustan de utilizar las aguas libres (previa evaporación) que resulten de cosechar este tipo de efluentes de procesos, razón por la que podría ser atractivo a Planta Río Loa, en un futuro no muy lejano, asociar un valor agregado a estas descargas de sus procesos, vendiéndolas a terceros, previo tratamiento.

En efecto, la cosecha que generalmente se proyecta para este tipo de situaciones, se logra gracias a un sistema de circulación gravitacional al interior de piscinas de tierras recubiertas interiormente con geomembranas impermeables que eviten infiltración al suelo o aseguren sólo evaporación de líquidos, donde se provoque mediante circulación interna a baja velocidad del flujo, tanto la cosecha como la evaporación. Los resultados del procesos, en un caso (cosecha) se acumulan en un estanque acumulador y los líquidos para procesos de terceros, se transportan a distintas faenas mineras o industriales, mediante camiones pertinentes.

Antofagasta, Junio del 2.004.-



## ANEXO

### Parámetros Físico Químicos del Acuífero Superficial

ESPECIFICACIONES				MUESTRA NUMERO Y LUGAR (DE OBTENCION)									
PARAMETRO	EXPRESADO COMO / EN		CONSIDERADO EN NORMA A. P.										
			SI NO	Nº LR-3	Nº LR-6	Nº LR-7	Nº LR-8	Nº LR-9	Nº LR-18	Nº LR-20	Nº LR-21	Nº LR-23	
			LIM. MAI. NORMA AGUA POTABLE	Sond. LE-1	Sond. LE-3	Sond. LE-4	Sond. LE-5	Compósito LR-3,6,7,8	Sond. PPR-5	Sond. PPR-5	Sond. PPR-3	Sond. PPR-4	
<b>I. FISICOS</b>													
TURBIDEAD	A	NTU	5					1,7	0,85		0,34	0,45	
COLOR APARENTE	B	Pl-Co	20					10	5		5	10	
OLOR			Inodoro					inodoro	inodoro		Inodoro	Inodoro	
SAPOR			Insíp.					insípida	lev.sal.		Salobre	Salobre	
ALCALINIDAD	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	I										
DUREZA TOTAL	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	I						990		981	1167	
<b>II. QUIMICOS</b>													
pH			6.0-8.5	7,6	7,63	7,52	7,94	7,53(17,58)	7,14		7,50	7,22	
T.S.O.	IDEM	g/l	11						3,99		4,02	4,90	
COND. ELECTRICA	IDEM	uS/m	I					5,95	634		622	729	
AMONIACO	N c/NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,25						0,30		0,30	0,3	
NITRATOS	N c/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	101					13,6	8,2		8,5	9,8	
NITRITOS	N c/NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1					0,02	0,004		0,004	0,35	
MATERIA ORGANICA	IDEM	mg/l							657		567	685	
BICARBONATO	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	I						446		385	480	
CARBONATO	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	I					0	0		0	0	
SULFATOS	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	2501					432	300		294	399	
CLORUROS	Cl <sup>-</sup>	g/l	0,25					1,836	1,77		1,79	2,06	
SODIO	Na	mg/l	I						1020		1039	1219	
POTASIO	K	mg/l	I						72		70	74	
CALCIO	Ca	mg/l	I					272	240		233	283	
MAGNESIO	Mg	mg/l	125					90	95		97	112	
ARSENICO	As	mg/l	0,05					1,8	1,8		1,61	1,65	
CADONIO	Cd	mg/l	0,01					0,01	0,02		0,02	0,02	
COBRE	Cu	mg/l	11					0,01	0,05		0,05	0,05	
CROMO	Cr	mg/l	0,05					0,01	0,05		0,05	0,05	
HIERRO TOTAL	Fe	mg/l	0,3					0,22	0,10		0,05	0,06	
HIERRO SOLUBLE	Fe+2	mg/l	I						0,05		0,05	0,05	
MANGANESO	Mn	mg/l	0,101					0,01	0,05		0,05	0,16	
PLOMO	Pb	mg/l	0,05					0,01	0,05		0,05	0,05	
ZINC	Zn	mg/l	51					0,01	0,04		0,04	0,04	
MOLIBDENO	Mo	mg/l	I					0,064	0,4		0,4	0,4	
ANTIMONIO	Sb	mg/l	I					0,65	0,5		0,5	0,5	
BORO	B	mg/l	I						61		48	42	
MERCURIO	Hg	mg/l	0,001						0,001		0,001	0,001	
SELENIO	Se	mg/l	0,01						0,01		0,001	0,005	
CIANURO	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,25						0,1		0,1	0,1	
FLUOR	F <sup>-</sup>	mg/l	1,5						0,3		0,6	0,6	
COMP. FENOLICOS	fenoles	mg/l	0,002						0,002		0,02	0,002	
DETERGENTE	SAAM	mg/l	0,5						0,2		0,2	0,3	

<b>III. BACTERIOLOGICOS</b>													
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml			2400	2,0	23	2,0	170	0		0	0	
COLIFORMES FECALIS	UFC/100 ml			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0		0	0	
HETEROTROFOS	UFC/100 ml			150000	80000	1000000	51000	150000	800		500	800	

ABREVIACIONES Y SIMBOLOGIA :

A : Unidades nefelométricas (formazina), FTU  
 B : Unino-cobalto (Co-Pt)  
 II : Conductividad eléctrica  
 c/ : "como"  
 † : El Ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de estas sustancias



ESPECIFICACIONES												
PARAMETRO	EXPRESADO COMO / EN		Nº LR-24	Nº LR-25	Nº LR-26	Nº LR-27	Nº LR-28	Nº LR-29	Nº LR-30	Nº LR-31	Nº LR-32	Nº LR-33
			Sond. PPR-1	Vertte. sitio B	Vertte. Sn.Lorenzo	Sond. FPR-1	Sond. PPR-2	Rio San Salvador	Vertte. Ojo Opache	Sond. PPR-5	Rio Los	Vertte. Ojo Opache
I. FISICOS												
TURBIEDAD	A	NTU	0,39				0,27					
COLOR APARENTE	B	Pt-Co	<5				5					
OLOR			Inodoro				Inodoro					
SABOR			Salobre				Salobre					
ALCALINIDAD	CaCO3	mg/l										
DUREZA TOTAL	CaCO3	mg/l	1246				1151					
II. QUIMICOS												
pH			7,07	7,1			7,18	7,95			7,21	6,87
T.S.D.	IDEM	g/l	5,36	5,45	2,95		4,67	6,54			3,99	4,98
COND. ELECTRICA	Idem	µS/cm	783	772	479		740	974			646	763
AMONIACO	M c/NH4+	mg/l	0,3				<0,30					
NITRATOS	M c/NO3-	mg/l	15,3				3,5					
NITRITOS	M c/NO2-	mg/l	<0,004				<0,004					
MATERIA ORGANICA	Idem	mg/l	851									
BICARBONATO	HCO3-	mg/l	489	468	394		437	266			378	435
CARBONATO	CO3=	mg/l	0	0	0		0	50			0	0
SULFATOS	SO4=	mg/l	470	390	491		283	1,37			205	339
CLORUROS	Cl-	g/l	2,14	2,11	1,02		2,14	2,13			1,79	2,16
SODIO	Na	mg/l	1288	1200	750		1188	1400			950	1094
POTASIO	K	mg/l	84	79	65		78	115			60	87
CALCIO	Ca	mg/l	294	273	166		263	350			200	260
MAGNESIO	Mg	mg/l	127	120	58		120	170			90	120
ARSENICO	As	mg/l	1,96	1,89	2,42		1,68	1,60			1,05	2,15
CADMIO	Cd	mg/l	<0,02				<0,02					
COBRE	Cu	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	0,99			<0,05	<0,05
CROMO	Cr	mg/l	<0,05				<0,05					
HIERRO TOTAL	Fe	mg/l	0,56				0,11					
HIERRO SOLUBLE	Fe+2	mg/l	<0,05				<0,05					
MANGANESO	Mn	mg/l	<0,05				<0,05					
PLOMO	Pb	mg/l	<0,05				<0,05					
ZINC	Zn	mg/l	<0,04				<0,04					
MOLIBDENO	Mo	mg/l	<0,4	<0,4	<0,4		<0,4	0,50			<0,4	<0,4
ANTIMONIO	Sb	mg/l	<0,5				<0,5					
BORO	B	mg/l	52	55	54		54	37			32	42
MERCURIO	Hg	mg/l	<0,001				<0,001					
SELENIO	Se	mg/l	<0,005				<0,005					
CIANURO	CN-	mg/l	<0,1				<0,1					
FLUOR	F-	mg/l	0,4				0,4					
COMP. FENOLICOS	fenoles	mg/l	<0,002				<0,002					
DETERGENTE	SAAM	mg/l	<0,2				<0,2					
III. BACTERIOLOGICOS												
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml		0				0					
COLIFORMES FECALIS	UFC/100 ml		0				0					
HETEROTROFOS	UFC/100 ml		1200				16833					

## ANEXO

### Correspondencia electrónica con Dirección Regional de Aguas



victorinoaraya

De: "victorinoaraya" <iccvam@chilesat.net>  
Para: "Marco Soto" <marco.soto@moplt.gov.cl>  
Enviado: Viernes 16 de Abril de 2004 11:46 AM  
Asunto: Decreto 46-2002 Ministerio Secretaría Gral.de la Presidencia

Sr.Marco Soto  
DGA II región

El Decreto N° 46 del año 2002 evacuado por el Ministerio Secretaría Gral.de la Presidencia establece normas para las emisiones de residuos líquidos que se viertan en sectores donde existan aguas subterráneas y en su Art.4 N° 5 se menciona que a la DGA le corresponde establecer el contenido natural del acuífero.

La pregunta a este respecto dice relación con que si en los acuíferos de la II región ya se han establecidos los contenidos naturales que esta norma rige.

Si esta información existiese, le agradecería me informe acerca de cómo obtenerla y/o revisarla.

Atte., Victorino

De: "Arturo Beltran" <arturo.beltran@moplt.gov.cl>  
Para: <iccvam@chilesat.net>  
Enviado: Viernes 23 de Abril de 2004 11:38 AM  
Asunto: DECRETO 46/2002 DE MINSEGPRES

SR. VICTORINO ARAYA

DE ACUERDO A LO SOLICITADO, INFORMO A UD., QUE A LA FECHA, NO SE HA DETERMINADO CONTENIDO NATURAL A QUE HACE REFERENCIA EL DECRETO 46/2002 DE MINSEGPRES, PARA ALGUN ACUIFERO DE LA REGION DE ANTOFAGASTA.

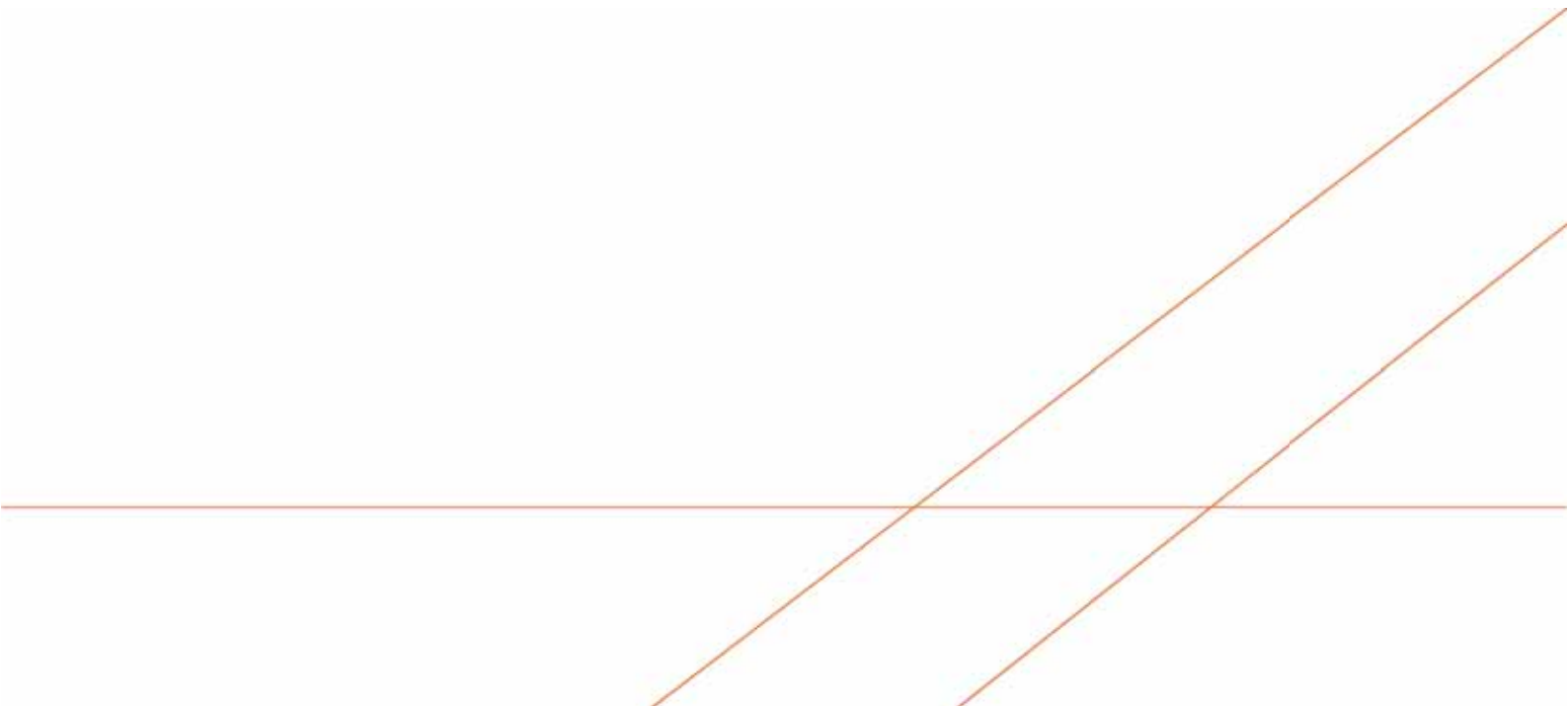
ATTE

ARTURO BELTRAN  
DIRECTOR (S) DGA II REGION

## Arcadis

Av. Antonio Varas 621  
Providencia, Santiago  
T: +56 2 2381 6000

[arcadis.com](http://arcadis.com)







Tipo Norma	:Resolución 529
Fecha Publicación	:26-11-2003
Fecha Promulgación	:08-10-2003
Organismo	:MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
Título	:MODIFICA RESOLUCION N° 909, DE 1996, EN EL SENTIDO DE ACTUALIZAR IDENTIFICACION Y DELIMITACION DE ACUIFEROS QUE ALIMENTAN VEGAS Y BOFEDALES DE LA II REGION DE ANTOFAGASTA
Tipo Versión	:Última Versión De : 01-06-2006
Inicio Vigencia	:01-06-2006
Id Norma	:217787
Ultima Modificación	:01-JUN-2006 Resolucion 87
URL	: <a href="https://www.leychile.cl/N?i=217787&amp;f=2006-06-01&amp;p=">https://www.leychile.cl/N?i=217787&amp;f=2006-06-01&amp;p=</a>

MODIFICA RESOLUCION N° 909, DE 1996, EN EL SENTIDO DE ACTUALIZAR IDENTIFICACION Y DELIMITACION DE ACUIFEROS QUE ALIMENTAN VEGAS Y BOFEDALES DE LA II REGION DE ANTOFAGASTA

Santiago, 8 de octubre de 2003.- Con esta fecha el Director General de Aguas ha resuelto lo que sigue:

Núm. 529.- Vistos: Las resoluciones DGA N° 909, de 28 de noviembre de 1996, y N° 91, de 13 de febrero de 1997; el artículo 34 de la ley N° 19.253; el estudio "Actualización Delimitación de Acuíferos que alimentan Vegas y Bofedales, Región de Antofagasta", S.I.T. N° 76, de diciembre de 2001; el Ord. DARH N° 457 del 23 de junio de 2003; lo dispuesto en los artículos 58, 63 y 300, letra c) del Código de Aguas; y

Considerando:

Que, mediante resolución DGA N° 909, de 1996, la Dirección General de Aguas identificó y delimitó las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, la que fue rectificada por la resolución DGA N° 91 de 1997 en el sentido de precisar y aclarar que las coordenadas UTM Este y Norte de cada punto representativo a que se refiere ella, es en metros (Mts) y no en kilómetros (Kms);

Que, en el N° 3 de la citada resolución DGA N° 909, se estableció que dicha identificación y delimitación era sin perjuicio de que en el futuro pudieran incorporarse nuevas zonas alimentadoras de vegas y bofedales ubicadas en dichas regiones;

Que, este servicio suscribió un convenio con Conadi según resolución exenta DGA N° 4.537 del 28 de diciembre de 2000 para la realización del proyecto "Actualización de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, Región de Antofagasta" ;

Que sobre la base del estudio referido y de las consultas realizadas, se procedió a actualizar la identificación y delimitación vigente.

R e s u e l v o:

1.- Modifícase la resolución DGA N° 909, de 28 de noviembre de 1996, en el sentido de actualizar la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan vegas y los llamados bofedales de la Región de Antofagasta.

NOTA



2.- Las vegas y bofedales alimentados por las zonas acuíferas identificadas y delimitadas a que se refiere el número precedente, se individualizan a continuación por su nombre y ubicación en coordenadas UTM de un punto representativo, Datum 1956, Huso 19.

## II REGION DE ANTOFAGASTA

Nº	Nombre de vega	Coordenadas UTM (m)		
		Ubicada Este	Norte	en mapa
1	Acamarachi Chica	643800	7429400	7
2	Acamarachi Grande	645300	7428400	7
3	Agua Amarga	635241	7451330	6 y 7
4	Agua Delgada 2	676700	7422300	7 y 9
5	Agua Delgada 2	612844	7325067	10
6	Agua Dulce	587169	7532402	3
7	Aguadita	564150	7668250	1
8	Aguas Calientes	603398	7534220	3
9	Aguas Calientes	663500	7445500	7
10	Aguas Calientes	537786	7236272	12
11	Aguas Calientes 4	636365	7353860	8 y 10
12	Aguas Calientes 5	642924	7398500	9
13	Aguas Calientes 6	666300	7446800	7
14	Alconcha	550510	7673237	1
15	Alitar 1	640000	7436000	7
16	Alitar 2	643000	7434000	7
17	Allana	608500	7415000	6
18	Amincha	566800	7658000	1
19	Ayquina	570280	7536342	3
20	Baltinache	579000	7454000	6
21	Cabana	597356	7559998	3
22	Cablor	589908	7523448	3
23	Caichape	562800	7641600	1
24	Calachi	640500	7431700	7
25	Calama	506300	7513150	4
26	Calar	584155	7471037	5
27	Calixto o Carcote	559300	7636000	1
28	Camar	606640	7411471	6
29	Capur	624000	7347200	10
30	Carcanal	564302	7562925	3
31	Carvajal	591350	7418500	6
32	Cas	603532	7401696	8
33	Casca	565200	7665300	1
34	Casicsa	546600	7649000	1
35	Caspana	582000	7529400	3
36	Catarape	625000	7423100	6
37	Caucochar	563719	7560017	3
38	Causisa	562700	7674800	1
39	Cebollar	567300	7620000	2
40	Cebollar Viejo	564800	7612500	2
41	Cejas	580500	7450100	6
42	Cerro Plomo	604035	7535960	3
43	Chaco	568700	7655955	1
44	Chaihuiri	548000	7644400	1
45	Chamaca	653500	7404000	9
46	Chaquisienaga	565773	7667176	1
47	Chela	541800	7639650	1
48	Chica	581500	7530600	3
49	Chicaliri	681795	7472374	7
50	Chilcar	577500	7531300	3
51	Chita	603500	7505650	5
52	Chita	585200	7521400	3
53	Chita 1	596600	7501600	5
54	Chita 2	596050	7501700	5
55	Chita 3	595249	7501283	5
56	Chiu-Chiu	536550	7529890	3 y 4
57	Chojfias	695373	7457824	7
58	Chuculaque	541500	7280800	11
59	Chucurate	594224	7505302	5





60	Churchicha	557000	7674300	1
61	Ciénaga Grande	695814	7455470	7
62	Ciénaga Redonda	564200	7674600	1
63	Coasa	562909	7670669	1
64	Cocha	579500	7488800	5
65	Colorada	695855	7461186	7
66	Conapujyo	597193	7498447	5
67	Coyahuasito	533700	7659700	1
68	Coyapujo	597050	7512200	5
69	Cuchicha	570300	7646500	1
70	Cueva Negra (Río S.P.)	564450	7571250	3
71	Cueva Pintada	679500	7451000	7
72	Culamar	620000	7350800	10
73	Curte	579686	7533995	3
74	Cuta	577700	7502300	5
75	De Loyone	679900	7432500	7
76	De Loyoques	681200	7431000	7
77	De Pili	649500	7416500	9
78	De Río Negro	649900	7413500	9
79	De Suculto	649500	7410000	9
80	De Toro Blanco	641430	7404900	9
81	El Salto	535145	7294742	11
82	El Tatio	599500	7525500	3
83	Envidias	590550	7499350	5
84	Escalera	578611	7535082	3
85	Géyser del Tatio	602600	7530500	3
86	Guaillar	592750	7500000	5
87	Guallatani	558300	7672600	1
88	Guanaqueros	547622	7289750	11
89	Guaytiquina	593558	7503948	5
90	Hecar	631865	7424059	6
91	Hornar	624909	7442525	6
92	Hoyitos	694800	7452500	7
93	Huailitas	670600	7453000	7
94	Huiculunche	564600	7535900	3
95	Imilac	522977	7326580	11
96	Inacalari	594500	7563100	3
97	Incahuasi	602500	7507300	5
98	Incahuasi	643900	7333800	10
99	Incahuasi	579261	7522997	3
100	Jauna	596360	7511700	5
101	Jones	579218	7499413	5
102	Jorquencal	602867	7492743	5
103	La Azufrera	637291	7439336	6 y 7
104	La Pacana	655825	7444921	7
105	La Punta	582100	7377556	8
106	Laguna Blanca	695169	7423495	7 y 9
107	Laguna Celeste	674200	7421974	7 y 9
108	Laguna Ciénaga	686803	7401073	9
109	Laguna del León	561100	7638900	1
110	Laguna Hedionda	642824	7431600	7
111	Laguna Helada	691300	7445000	7
112	Laguna Lejía	633200	7401800	8
113	Lagunita	592892	7506351	5
114	Lari	669950	7378100	9
115	Las Zorras	535230	7285582	11
116	Las Zorritas	537500	7280500	11
117	Lasana	539400	7540000	3 y 4
118	Lever	693705	7420486	7 y 9
119	Lican	579070	7495767	5
120	Llullaillaco	530226	7270361	12
121	Los Pantanos	593100	7446100	6
122	Macho Sallana	693000	7416500	9
123	Machuca	596500	7500050	5
124	Matancilla	579085	7497767	5
125	Mino 1	535000	7656650	1
126	Mino 2	535600	7654000	1
127	Miscanti	625677	7378359	8
128	Mucar Chica	692500	7415500	9
129	Mucar Grande	693000	7414000	9



130	Ojo Caliente	569100	7645200	1
131	Ojo de San Pedro	571027	7569225	3
132	Ojo Talicuna	594965	7526403	3
133	Ojos de Putana	607200	7510400	5
134	Ojos del Río Salado	666738	7416600	9
135	Olar	591600	7439600	6
136	Oyape	574700	7457524	6
137	Paco Paco	534500	7654000	1
138	Paicato	572130	7550428	3
139	Paila	588600	7496200	5
140	Palao	591800	7379300	8
141	Palpana	562569	7624032	2
142	Palpana	567000	7660000	1
143	Pampa Amarilla	685838	7459743	7
144	Pampa Quisquiro	670544	7422423	7 y 9
145	Paniri	575300	7550700	3
146	Pantano	540000	7652500	1
147	Peñablanca	646000	7447650	7
148	Peñablanca	647300	7446300	7
149	Peñaliri	590500	7498000	5
150	Perdiz	676800	7382500	9
151	Piedra Delfín	693350	7456400	7
152	Polapi	565700	7610500	2
153	Poquis	691197	7457249	7
154	Poruchare	625722	7334114	10
155	Potor	632024	7430564	6
156	Puente del Diablo	553924	7532990	3 y 4
157	Pujsa Norponiente	648900	7434500	7
158	Pujsa Sur	652000	7429800	7
159	Pular	605731	7318322	10
160	Puquios	564100	7678100	1
161	Purifica	677300	7423270	7 y 9
162	Purifica	596300	7482300	5
163	Puritama	597486	7486923	5
164	Putana	599000	7508000	5
165	Queb. Blanca	698991	7459973	7
166	Quebrada Angostura	689456	7463545	7
167	Quebrada de Guanten	595485	7482765	5
168	Quebrada del Inca	570500	7658350	1
169	Quebrada Delgada	690700	7469800	7
170	Quebrada Sapunta	523900	7645500	1
171	Quebrada Tres Vertientes	689000	7467200	7
172	Quebrada Yacimiento	624000	7389000	8
173	Quelana	593500	7412500	6
174	Quepe	616000	7393200	8
175	Quepiaco	644000	7446700	7
176	Quilapana	673200	7435000	7
177	Quival	574492	7526843	3
178	Río Grande	585500	7495300	5
179	Río Quebrada	597300	7501600	5
180	Río Salado	576566	7536870	3
181	Sailao	574739	7529631	3
182	Salar de Alconcha	553500	7672500	1
183	Salar de Talar 1	684300	7447000	7
184	Salar de Talar 2	682500	7447000	7
185	Salar de Talar 3	681500	7445300	7
186	Salar de Tara 4	675828	7451400	7
187	Salar de Tara 5	676000	7455000	7
188	Saltar	629200	7421000	6
189	San Bartolo	580300	7487000	5
190	Sapunta	568914	7640865	1
191	Silolao	589900	7376400	8
192	Soncor	607250	7420100	6
193	Sta. Bárbara	540350	7572900	3
194	Sucultur	654500	7398500	9
195	T Chita	596200	7500900	5
196	Taira (Río Loa)	542000	7584600	2
197	Talao	629806	7343976	10
198	Tambillo	593500	7443300	6





199	Tapar	591000	7433000	6
200	Tapur	624400	7354200	8 y 10
201	Tara	673861	7456867	7
202	Tara Oriente	683917	7447414	7
203	Tarajne	594050	7368300	8
204	Tebinquinche	577730	7441450	6
205	Tilocalar	585400	7377800	8
206	Tilopozo	578000	7370500	8
207	Tocomar	531649	7259457	12
208	Toconce	588200	7518800	3 y 5
209	Tocorpuri	603558	7511692	5
210	Topain	560000	7532900	3
211	Topain	569800	7549900	3
212	Toro Muerto	687500	7469700	7
213	Tujlirea	592172	7445093	6
214	Tulan	596000	7367000	8
215	Tumbe	623886	7420313	6
216	Turi	570400	7539600	3
217	Turipaco	578983	7504261	5
218	Turipite	597111	7488070	5
219	Tuyajto 1	644950	7351400	10
220	Tuyajto 2	644600	7353500	10
221	Vega Grande	596800	7499500	5
222	Veladera	534997	7295992	11
223	Vizcachas	638000	7443500	7
224	Yalquincha	512300	7517700	4
225	Yerba Buena	579248	7493740	5
226	Yona Grande	583650	7447000	6
227	Yuto	594800	7504000	5
228	Zapaleri	689700	7471150	7

3.- Las ubicaciones y las delimitaciones precisas de los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales antes individualizados están contenidas en la cartografía temática adjunta a esta resolución, denominada " Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la Región de Antofagasta" , S.I.T. N° 86 de julio de 2003.

4.- La cartografía y el listado de coordenadas individualizados en los Nos 2 y 3 precedentes se entiende forman parte integrante de esta resolución para todos los efectos legales.

5.- Déjase constancia que la actualización de la identificación y delimitación efectuada es sin perjuicio de que se puedan incorporar en el futuro algunos sectores de las regiones I y II del país.

6.- Publíquese la presente resolución en el Diario Oficial de la República, acorde lo prevenido en el artículo 63 inciso 1° del Código de Aguas.

7.- Comuníquese copia íntegra de la presente resolución a todos los Departamentos, Direcciones Regionales I y II Región, Oficina Provincial DGA Iquique, Conadi Oficina Calama y Conadi Central y demás oficinas que corresponda.

NOTA:

La RES 87, Obras Públicas, publicada el 01.06.2006, modifica la presente norma, en el sentido de actualizar la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la Región de Antofagasta.

Anótese, tómese razón y publíquese.- Humberto Peña Torrealba, Director General de Aguas.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento y fines pertinentes.- Carlos Alvarez Arenas, Jefe Depto.



Administración y Secretaría General (S).





Tipo Norma	:Resolución 87
Fecha Publicación	:01-06-2006
Fecha Promulgación	:24-03-2006
Organismo	:MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
Título	:MODIFICA RESOLUCION DGA N° 529 DE 2003 EN EL SENTIDO DE ACTUALIZAR IDENTIFICACION Y DELIMITACION DE ACUIFEROS QUE ALIMENTAN VEGAS Y BOFEDALES DE LA II REGION DE ANTOFAGASTA
Tipo Versión	:Única De : 01-06-2006
Inicio Vigencia	:01-06-2006
Id Norma	:250048
URL	: <a href="https://www.leychile.cl/N?i=250048&amp;f=2006-06-01&amp;p=">https://www.leychile.cl/N?i=250048&amp;f=2006-06-01&amp;p=</a>

MODIFICA RESOLUCION DGA N° 529 DE 2003 EN EL SENTIDO DE ACTUALIZAR IDENTIFICACION Y DELIMITACION DE ACUIFEROS QUE ALIMENTAN VEGAS Y BOFEDALES DE LA II REGION DE ANTOFAGASTA

Santiago, 24 de marzo de 2006.- Con esta fecha el Director General de Aguas ha resuelto lo que sigue:

Núm. 87.- Vistos: La Resolución DGA N° 529, del 8 de octubre de 2003; el estudio "Actualización Delimitación de Acuíferos Alimentadores de Vegas y Bofedales, II Región", S.I.T N° 98, de diciembre de 2004; la Cartografía Temática "Actualización Delimitación de Acuíferos que alimentan Vegas y Bofedales de la Región de Antofagasta, año 2006", S.I.T. N°111, de enero de 2006, lo dispuesto en los artículos 58,63y300, letra c), del Código de Aguas, y

Considerando:

Que, mediante Resolución DGA N° 529 de 2003, la Dirección General de Aguas actualizó la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan áreas de vegas y bofedales en la Región de Antofagasta;

Que, en el N° 5 de la citada Resolución DGA N° 529, se estableció que la actualización de la identificación y delimitación efectuada, es sin perjuicio de que se puedan incorporar en el futuro algunos sectores de las Regiones I y II;

Que, este servicio suscribió un convenio con CONADI según Resolución CONADI N° 106 de 2003 y prorrogado para el año 2004 mediante Resolución CONADI N° 119 del 30 de diciembre de 2003, considerando como una de las actividades a desarrollar el estudio de "Actualización Delimitación de Acuíferos que alimentan Vegas y Bofedales en la II Región";

Que, sobre la base del estudio referido según S.I.T N° 98 de diciembre de 2004, se procedió a actualizar la identificación y delimitación vigente,

Resuelvo:

1.- Modifícase, la Resolución DGA N° 529 del 8 de octubre de 2003, en el sentido de actualizar la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la Región de Antofagasta.

2.- Las vegas y bofedales alimentados por las zonas acuíferas identificadas y delimitadas a que se refiere el número precedente, se individualizan a continuación por su nombre y ubicación en coordenadas UTM de un punto representativo, Datum 1956, Huso 19.

N°	NOMBRE	COORDENADAS UTM (m)		
		ESTE	NORTE	MAPA
1	Puquios	564100	7678100	1
2	Causisa	562700	7674800	1
3	Ciénaga Redonda 1	564200	7674600	1
4	Churchicha	557000	7674300	1
5	Alconcha	550510	7673237	1
6	Guallatani	558300	7672600	1



7	Salar de Alconcha	553500	7672500	1
8	Mal Paso (Alto)	536732	7671330	1
9	Coasa	562909	7670669	1
10	Mal Paso (Bajo)	537405	7669638	1
11	Aquadita	564150	7668250	1
12	Chaquisienaga	565773	7667176	1
13	Casca	565200	7665300	1
14	Vicuñería	565755	7664577	1
15	Ciénaga Redonda 2	535351	7664400	1
16	Palpana 1	567000	7660000	1
17	Coyahuasito	533700	7659700	1
18	Quebrada del Inca	570500	7658350	1
19	Amincha	566800	7658000	1
20	Miño 1	535000	7656650	1
21	Chaco	568700	7655955	1
22	Paco Paco	534500	7654000	1
23	Miño 2	535600	7654000	1
24	Pantano	540000	7652500	1
25	Casicsa	546600	7649000	1
26	Cuchicha	570300	7646500	1
27	Queñuales	547000	7646000	1
28	Quebrada Sapunta	523900	7645500	1
29	Ojo Caliente	569100	7645200	1
30	Vega Chaihuiri	548000	7644400	1
31	Caichape	562800	7641600	1
32	Sapunta	568914	7640865	1
33	Chela	541800	7639650	1
34	Laguna del León	561100	7638900	1
35	Calixto o Carcote	559300	7636000	1
36	Palpana 2	562569	7624032	2
37	Cebollar	567300	7620000	2
38	Cebollar Viejo	564800	7612500	2
39	Polapi	565700	7610500	2
40	Borde Sureste			
	Ascotán	581002	7601385	2
41	La Turbera	557109	7596876	2
42	Taira (Río Loa)	542000	7584600	2
43	Colana	586081	7574186	2 y 3
44	Sta. Bárbara	540350	7572900	3
45	Cueva Negra			
	(río S. P)	564450	7571250	3
46	Ojo de San Pedro	571027	7569225	3
47	Cayohueico	563021	7566110	3
48	Siloli - Río Siloli	600292	7565674	3
49	Aycina	562884	7564242	3
50	Quebrada Negra	600262	7563659	3
51	Carcanal	564707	7563183	3
52	Inacaliri	594500	7563100	3
53	Cabana	597356	7559998	3
54	Caucochar	563395	7559790	3
55	Torre Bajo	571297	7556587	3
56	Paniri	575300	7550700	3
57	Paicato	572130	7550428	3
58	Topain 1	569800	7549900	3
59	Linzor (Alto)	603865	7543500	3
60	Chillahuita	601300	7542900	3
61	Linzor 2 (Bajo)	601804	7542621	3
62	Lasana	539400	7540000	3 y 4
63	Turi	570400	7539600	3
64	Media Quebrada	591443	7537082	3
65	Río Salado	576566	7536870	3
66	Ayquina	570280	7536342	3
67	Cerro Plomo	604035	7535960	3
68	Huiculunche	564600	7535900	3
69	Escalera	578611	7535082	3
70	Aguas Calientes 1	603398	7534220	3
71	Curte	579698	7533906	3
72	Puente del Diablo	553924	7532990	3 y 4
73	Topain 2	560000	7532900	3
74	Agua Dulce 1	587169	7532402	3
75	Chilcar	577500	7531300	3





76	Chica	581500	7530600	3
77	Géyser del Tatio	602600	7530500	3
78	Chiu-Chiu	536550	7529890	3 y 4
79	Caspana	582000	7529400	3
80	Sailao	572110	7528529	3
81	Quival	572522	7526946	3
82	Ojo Talicuna	594965	7526403	3
83	El Tatio	599500	7525500	3
84	Incahuasi 1	577203	7524410	3
85	Cablor	589823	7523588	3
86	Chita 1	585200	7521400	3
87	Toconce	588200	7518800	3 y 5
88	Yalquincha	512300	7517700	4
89	Río Loa - Salar de Rudolf	528145	7516898	4
90	Calama	506300	7513150	4
91	Purifican	589550	7512675	5
92	Coyapujo	597050	7512200	5
93	Jauna	596360	7511700	5
94	Tocorpuri	604295	7511240	5
95	Ojos de Putana	607200	7510400	5
96	Putana	599000	7508000	5
97	Incahuasi 2	602500	7507300	5
98	Lagunita	592647	7506123	5
99	Chita 2	603500	7505650	5
100	Chucurate	594138	7505225	5
101	Guaytiquina	593810	7504791	5
102	Turipaco	578983	7504261	5
103	Yuto	594596	7503881	5
104	Cuta	577700	7502300	5
105	Chita 3	596050	7501700	5
106	Chita 4	596600	7501600	5
107	Río Quebrada	597300	7501600	5
108	Chita 5	595249	7501283	5
109	T Chita	596200	7500900	5
110	Machuca	596500	7500050	5
111	Guaillar	592750	7500000	5
112	Vega Grande	596800	7499500	5
113	Jones	579218	7499413	5
114	Envidias	590550	7499350	5
115	Coñapujyo	597193	7498447	5
116	Peñaliri	590500	7498000	5
117	Matancilla	579085	7497767	5
118	Paila	588600	7496200	5
119	Lican	579070	7495767	5
120	Río Grande	585500	7495300	5
121	Jorquencal	604450	7493950	5
122	Yerba Buena	579248	7493740	5
123	Cocha	579500	7488800	5
124	Turipite	597111	7488070	5
125	San Bartolo	580300	7487000	5
126	Puritama	597486	7486923	5
127	Quebrada de Guanten	595485	7482765	5
128	Purifica 1	596300	7482300	5
129	Chicaliri	681795	7472374	7
130	Zapaleri	689700	7471150	7
131	Calar	584155	7471037	5
132	Quebrada Delgada 1	690700	7469800	7
133	Toro Muerto	687500	7469700	7
134	Quebrada Tres Vertientes	689000	7467200	7
135	Quebrada Angostura	689456	7463545	7
136	Quebrada Cajchimayo	691405	7462341	7
137	Colorada	695832	7460518	7
138	Pampa Amarilla	685838	7459743	7
139	Laguna Colorada	695697	7459717	7
140	Quebrada Blanca	698194	7459465	7
141	Chojfias	695898	7457743	7
142	Oyape	574700	7457524	6
143	Poquis	691197	7457249	7



144	Tara	673800	7456800	7
145	Taruna	703440	7456450	7
146	Piedra Delfín	693350	7456400	7
147	Ciénaga Grande	695814	7455470	7
148	Salar de Tara 1	676000	7455000	7
149	Baltinache	579000	7454000	6
150	Huailitas	670600	7453000	7
151	Joyita - Hoyitos	694900	7452520	7
152	Salar de Tara 2	675828	7451400	7
153	Agua Amarga	635041	7451330	6 y 7
154	Cueva Pintada	679500	7451000	7
155	Cejas	580500	7450100	6
156	Quebrada Delgada 2	695500	7449500	7
157	Laguna Helada	692390	7448045	7
158	Tara Oriente	683917	7447414	7
159	Yona Grande	583650	7447000	6
160	Salar de Talar 1	682500	7447000	7
161	Salar de Talar 2	684300	7447000	7
162	Aguas Calientes 2	666300	7446800	7
163	Quepiaco	644000	7446700	7
164	3 Aguas	654428	7446480	7
165	Los Pantanos	593100	7446100	6
166	Peñablanca	647525	7446090	7
167	Peñablanca	646739	7445860	7
168	Aguas Calientes 3	663500	7445500	7
169	Salar de Talar 3	681500	7445300	7
170	Tujlirea	592172	7445093	6
171	La Pacana	655825	7444921	7
172	Guachalajte	697500	7444500	7
173	Quebrada de Zapar	610235	7444335	6
174	Vizcachas	638000	7443500	7
175	Tambillo	593500	7443300	6
176	Hornar	624909	7442525	6
177	Tebinquinche	577730	7441450	6
178	Cerro Yalquis	635000	7440000	6 y 7
179	Olar	591600	7439600	6
180	La Azufrera	637291	7439336	6 y 7
181	Quebrada Silapeti	608028	7439256	6
182	Alitar 1	640000	7436000	7
183	Quilapana	673200	7435000	7
184	Pujsa Norponiente	648900	7434500	7
185	Alitar 2	643000	7434000	7
186	Tapar	591000	7433000	6
187	Loyone	679900	7432500	7
188	Calachi	640500	7431700	7
189	Laguna Hedionda	642824	7431600	7
190	Mari	623552	7431569	6
191	Vilaco	620949	7431380	6
192	Loyoques	681200	7431000	7
193	Potor	632024	7430564	6
194	Pujsa Sur	652000	7429800	7
195	Acamarachi Chica	643800	7429400	7
196	Acamarachi Grande	645300	7428400	7
197	Quemala	618863	7427465	6
198	Lampasar	627340	7426798	6
199	Volcancito	628312	7426277	6
200	Estancia Vieja	629751	7425409	6
201	Pena Colorada	630078	7425327	6
202	Hecar	632000	7425000	6
203	Purifica 2	677300	7423270	7 y 9
204	Catarape	625000	7423100	6
205	Pampa Quisquiro	670544	7422423	7 y 9
206	Laguna Blanca	694115	7422420	7 y 9
207	Agua Delgada 1	676700	7422300	7 y 9
208	Laguna Celeste	674200	7421974	7 y 9
209	Salta	629200	7421000	6
210	Tumbe	623886	7420313	6
211	Lever	693986	7420240	7 y 9
212	Soncor	607250	7420100	6
213	Carvajal	591350	7418500	6
214	Ojos del			





	Río Salado	666738	7416600	9
215	Pili	649500	7416500	9
216	Macho Sallana	693000	7416500	9
217	Mucar Chica	692500	7415500	9
218	Allana	608500	7415000	6
219	Mucar Grande	693000	7414000	9
220	Querico	616738	7413970	6
221	Río Negro	649900	7413500	9
222	Quelana	593500	7412500	6
223	Camar	606640	7411471	6
224	Suculto	649500	7410000	9
225	Toro Blanco	641430	7404900	9
226	Chamaca	653500	7404000	9
227	Laguna Lejia	633200	7401800	8
228	Cas	603532	7401696	8
229	Laguna Ciénaga	685807	7401394	9
230	Aguas Calientes 4	642924	7398500	9
231	Sucultur	654500	7398500	9
232	Quepe	616000	7393200	8
233	Quiusuna	609705	7392373	8
234	Quebrada			
	Yacimiento	624000	7389000	8
235	Perdiz	676800	7382500	9
236	Palao	591800	7379300	8
237	Miscanti	625677	7378359	8
238	Lari	669950	7378100	9
239	Tilocalar	585400	7377800	8
240	La Punta	582100	7377556	8
241	Silolao	589900	7376400	8
242	Tilopozo	578000	7370500	8
243	Puriselte	594500	7369500	8
244	Tarajne	594500	7368300	8
245	Tulan	596000	7367000	8
246	Tapur	624400	7354200	8 y 10
247	Aguas Calientes 5	636365	7353860	8 y 10
248	Tuyajto 2	644600	7353500	10
249	Tuyajto 1	644950	7351400	10
250	Culamar	620000	7350800	10
251	Capur	624000	7347200	10
252	Talao - Talar	629614	7343347	10
253	Purichare	625722	7334114	10
254	Incahuasi 3	643900	7333800	10
255	Agua Delgada 2	613752	7331267	10
256	Imilac	522977	7326580	11
257	Pular	605595	7319800	10
258	Veladera	534997	7295992	11
259	El Salto	535145	7294742	11
260	Guanauqueros	547622	7289750	11
261	Agua Dulce 2	536400	7282350	11
262	Chuculaque	541500	7280800	11
263	Vega de La Zorra	542696	7279725	11
264	Quebrada Zorritas	541632	7277838	11 y 12
265	Llullaillaco	532570	7272500	12
266	Tocomar	531649	7259457	12
267	Aguas Calientes 6	537786	7236272	12

3.- Las ubicaciones y las delimitaciones precisas de los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales antes individualizados están contenidas en la cartografía temática adjunta a esta Resolución, denominada "Actualización Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales de la Región de Antofagasta, año 2006", S.I.T N° 111, de enero de 2006.

4.- La cartografía y el listado de coordenadas individualizados en los N°s 2 y 3 precedentes, se entiende forman parte integrante de esta Resolución para todos los efectos legales.

5.- Dejase constancia que la actualización de la identificación y delimitación efectuada, es sin perjuicio de que se puedan incorporar en el futuro algunos sectores de las Regiones I y II del país.



6.- Publíquese la presente Resolución en el Diario Oficial de la República, acorde lo prevenido en el artículo 63 inciso 1° del Código de Aguas.

7.- Comuníquese copia íntegra de la presente Resolución a todos los Departamentos, Direcciones Regionales I y II Región, Oficina Provincial DGA Iquique, CONADI Oficina Calama y CONADI Central y demás oficinas que corresponda.

Anótese, tómese razón, publíquese y transcríbese.- Carlos Brito Castro, Director General (S).

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento y fines pertinentes.- Carlos Alvarez Arenas, Jefe Depto. Administración y Secretaría General (S).