

2014

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO ENTRE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA ESVAL S.A. MEDIANTE LA MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ZONA ACUÍFERA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO ACONCAGUA

VIERA VILLEGAS, OSCAR EDUARDO

Universidad Técnica Federico Santa María

<http://hdl.handle.net/11673/3921>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO ENTRE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA PARA ESVAL S.A., MEDIANTE LA MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
DE LA ZONA ACUÍFERA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO ACONCAGUA.

OSCAR EDUARDO VIERA VILLEGAS

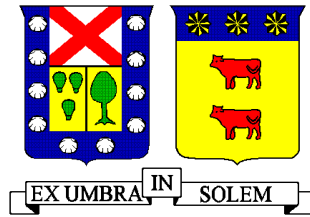
Memoria para optar al Título de:
Ingeniero Civil

Profesor Guía ESVAL S.A.
Rodrigo Osorio Ribalta

Profesor Correferente UTFSM.
Ludwig Stowhas Borghetti

Septiembre de 2014

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO ENTRE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA PARA ESVAL S.A., MEDIANTE LA MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
DE LA ZONA ACUÍFERA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO ACONCAGUA.

Memoria de titulación presentada por:

OSCAR EDUARDO VIERA VILLEGAS

Como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Rodrigo Osorio Ribalta
Ludwig Stowhas Borghetti

Octubre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Sergio y Ángela, por su esfuerzo y entrega incondicional.

A mis profesores guías, Rodrigo y Ludwig, por su acompañamiento y excelente disposición.

A mis amigos, Los Cabros. Sin su apoyo, mi vida universitaria no podría haber sido compatible.

RESUMEN EJECUTIVO

Abastecer ininterrumpidamente de agua potable a la población, es un gran desafío, el cual presenta serias problemáticas, sobre todo por la variabilidad de la capacidad de las fuentes donde se obtiene el recurso, lo que obliga a generar estrategias de captación de agua, que permitan cumplir de buena manera con la demanda poblacional (hasta 1700 l/s en algunos períodos estivales) y de la forma más conveniente desde el punto de vista técnico y económico.

Para la planta de tratamiento de aguas de ESVAL S.A. de Concón, ubicada en la desembocadura del río Aconcagua, la principal fuente de abastecimiento de agua en épocas de déficit en sus captaciones (primavera – verano), es la conexión existente a través del estero Limache con el embalse Los Aromos, a quien se le compra el agua a un precio fijo, en cantidad suficiente para cumplir con la demanda de la población.

La cantidad de agua que se compra al embalse es variable, llegando a ser igual a cero en algunos períodos y cercana a los 1700 l/s en otros.

En la zona de la desembocadura del río Aconcagua, ESVAL posee una gran cantidad de derechos sobre aguas subterráneas que no se encuentran actualmente en explotación (700 l/s no explotados app.) y que podrían ser una buena solución a la problemática del abastecimiento, en desmedro de la alternativa de seguir comprando agua al embalse Los Aromos. De lo anterior se desprende la necesidad de generar un modelo del comportamiento de la zona acuífera de la desembocadura del río Aconcagua, que considere todos los factores que lo afectan (límites físicos, estratigrafías, condiciones de borde, descargas, recargas, explotaciones, etc.) y que permita establecer distintos escenarios de explotación, para determinar la factibilidad técnica de explotar mayor cantidad de agua subterránea de ella.

Actualmente existen una serie de estudios sobre los acuíferos de la zona de interés, los que permitirán generar un modelo computacional más exacto y con mejores resultados. La herramienta que se utilizará para desarrollar el modelo de la zona acuífera será el programa Visual MODFLOW, desarrollado por Schulmberger Water Services, el cual, permite una buena interacción con el usuario, entregando una gran cantidad de información sobre la respuesta de los acuíferos ante diferentes escenarios, en base a características indicadas inicialmente en el modelo (permeabilidades, parámetros de almacenamiento, condiciones de borde, geometría de las capas, etc.).

Por último, la implementación del modelo Visual MODFLOW permitirá indicar el escenario de explotación más confiable, determinando cuánta agua es efectivamente extraíble de los acuíferos a través de nuevos pozos, sin llegar a alterar su estabilidad en el tiempo, para luego ejecutar una comparación económica entre la alternativa de construir nuevos pozo de extracción en la zona versus la alternativa de seguir comprando el agua al embalse Los Aromos.

INDICE

1.1. ASPECTOS GENERALES.	1-1
1.2. OBJETIVOS GENERALES.	1-2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	1-2
2. MARCO TEÓRICO.	2-1
2.1. CONCEPTOS DE HIDROGEOLOGÍA.	2-1
2.1.1. Porosidad del suelo.	2-1
2.1.2. Superficie Freática.	2-2
2.1.3. Acuífero.	2-2
2.1.4. Superficie Piezométrica.	2-4
2.1.5. Coeficiente de almacenamiento.	2-4
2.1.6. Permeabilidad.	2-5
2.1.7. Transmisibilidad.	2-6
2.1.8. Ley de Darcy.	2-6
2.1.9. Potencial Hidráulico.	2-7
2.1.10. Régimen Permanente y Régimen Variable.	2-7
2.1.11. Ecuación de Esguerrimiento en Medios Permeables.	2-8
2.2. CONCEPTOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS.	2-10
2.2.1. Análisis VAN/TIR.	2-10
3. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA.	3-1
3.1. LÍMITES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	3-1
3.2. GEOLOGÍA, GEOFÍSICA, CLIMA Y VEGETACION.	3-2
3.2.1. Clima y Vegetación.	3-3
3.2.2. Geología.	3-4
3.2.2.1. Formaciones Geológicas.	3-4
3.2.2.2. Características Acuíferas de las Formaciones Geológicas.	3-4
3.2.2.3. Relación Mar-Acuífero.	3-7
3.2.3. Geofísica.	3-8
3.2.3.1. Formaciones Acuíferas.	3-8
3.2.3.2. Sectorización Hidrogeológica.	3-9
3.3. TOPOGRAFÍA.	3-15
3.4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.	3-16
3.5. PIEZOMETRÍA Y CURVAS ISOFREÁTICAS.	3-19
3.5.1. Limnigramas.	3-20
3.6. PARÁMETROS ELÁSTICOS.	3-25
3.6.1. Obtención de permeabilidades en base a planos de construcción.	3-25
3.6.2. Parámetros de Almacenamiento.	3-27
3.7. MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA.	3-27
3.7.1. Recarga.	3-27
3.7.2. Descargas.	3-28

4.	DESCRIPCIÓN MODELO VISUAL MODFLOW.	4-1
4.1.	RESOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES.	4-1
4.1.1.	Modelo Matemático.	4-2
4.1.2.	Estructura Global Visual MODFLOW.	4-6
5.	MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO.	5-1
5.1.	ASPECTOS GENERALES DE LA MODELACIÓN.	5-1
5.1.1.	Límites de la Zona Modelada.	5-1
5.1.2.	Funcionamiento general del sistema.	5-1
5.1.3.	Discretización Espacial y Temporal.	5-2
5.1.3.1.	Discretización en planta.	5-2
5.1.3.2.	Discretización en vertical.	5-3
5.1.3.3.	Discretización Temporal.	5-5
5.2.	MODELACIÓN MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA.	5-6
5.2.1.	Recargas.	5-6
5.2.2.	Descargas.	5-6
5.3.	CONDICIONES DE BORDE.	5-13
5.3.1.	Condición de borde de nivel constante.	5-13
5.3.2.	Enlace mar – acuífero confinado y zona acuífera confinada inferior.	5-14
5.3.3.	Representación del río Aconcagua.	5-15
5.3.4.	Análisis de la variación de las precipitaciones y evapotranspiración.	5-19
5.3.5.	Parámetros elásticos.	5-22
5.3.6.	Estimación de extracciones históricas en régimen impermanente.	5-24
6.	ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO.	6-30
6.1.	ESCENARIOS DE OPERACIÓN.	6-30
6.1.1.	Escenario 1: Operación en escenario de explotación actual.	6-32
6.1.1.1.	Modelación en escenario 1.	6-32
6.1.1.2.	Resultados de modelación en escenario 1.	6-1
6.1.2.	Escenario 2: Operación según derechos constituidos.	6-2
6.1.2.1.	Modelación en escenario 2.	6-2
6.1.2.2.	Resultados de modelación en escenario 2.	6-2
6.1.3.	Escenario 3: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados.	6-2
6.1.3.1.	Modelación en escenario 3	6-2
6.1.3.2.	Resultados de modelación en escenario 3	6-5
6.1.4.	Escenario 4: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción.	6-6
6.1.4.1.	Modelación en escenario 4.	6-7
6.1.4.2.	Resultados de modelación en escenario 4.	6-7
6.1.5.	Escenario 5: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL.	6-10
6.1.5.1.	Modelación en escenario 5.	6-10
6.1.5.2.	Resultados de modelación en escenario 5.	6-11

6.2.	REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN EN CADA ESCENARIO DE EXPLOTACIÓN.	6-14
6.3.	ESCENARIO DE EXPLOTACIÓN ELEGIDO PARA ANÁLISIS ECONÓMICO.	6-19
6.4.	INTRUSIÓN MARINA.	6-20
7.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA: CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS POZOS.	7-1
7.1.	ALTERNATIVAS ECONÓMICAS.	7-2
7.1.1.	Alternativa 1 (con proyecto): Abastecimiento total subterráneo.	7-2
7.1.1.1.	Costos de inversión.	7-5
7.1.1.3.	Gasto de tratamiento.	7-7
7.1.1.4.	Ingresos por venta de agua.	7-8
7.1.1.5.	Análisis VAN.	7-8
7.1.2.	Alternativa 2 (sin proyecto): Abastecimiento total desde embalse Los Aromos.	7-10
7.1.2.1.	Gasto por volumen de agua extraído.	7-10
7.1.2.2.	Gasto de tratamiento.	7-10
7.1.2.3.	Análisis VAN.	7-11
7.1.3.	Alternativa 3 (sin proyecto): Abastecimiento mixto.	7-12
7.1.3.1.	Análisis VAN.	7-12
7.2.	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ECONÓMICAS.	7-13
8.	CONCLUSIONES.	8-1

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ASPECTOS GENERALES.

La Empresa Sanitaria ESVAL S.A., es la encargada de producir y distribuir el agua potable, y a la vez, recolectar, tratar y disponer las aguas servidas en la región de Valparaíso. Para ello, necesita de fuentes de abastecimiento de manera constante, durante todo el año.

Esta memoria se focalizará en el agua distribuida por la planta de tratamiento de ESVAL ubicada en la comuna de Concón, la cual abastece a las comunas de Concón, Reñaca y Viña del Mar, además del litoral norte, con una cantidad variable de agua, llegando a un máximo de 1700 l/s en algunos períodos estivales.

La principal fuente de abastecimiento de agua en la zona de estudio, es el río Aconcagua, cuyo caudal permite satisfacer la demanda ciudadana durante gran parte del año. Sin embargo, existen épocas donde la disminución del caudal del río, por causas naturales y artificiales, obliga a identificar y utilizar otras alternativas.

En el sector, ESVAL posee una gran cantidad de derechos sobre aguas subterráneas (1300 l/s aproximadamente), las cuales son aprovechadas gracias al funcionamiento de 3 pozos y un Dren; sin embargo, en conjunto no alcanzan a extraer más de 400 l/s.

Cuando la acción conjunta de la extracción de aguas subterráneas y superficiales es insuficiente, se opta por comprar el déficit de agua al embalse Los Aromos, el cual entrega el agua a la planta de Concón a través del Estero Limache, que interconecta el embalse con la planta.

En base a lo anteriormente planteado, en este estudio se busca analizar el comportamiento de los acuíferos de la zona de la desembocadura del río Aconcagua en Concón, a modo de generar nuevas estrategias de captación, que permitan satisfacer las demandas hídricas en épocas de necesidad, al menor costo posible para la empresa y asegurando la sustentabilidad de la zona acuífera.

MODFLOW es el software preponderante para el análisis del comportamiento de las aguas subterráneas. Funciona como un modelador de flujo, en base a diferencias finitas, que resuelve la ecuación de flujo de aguas subterráneas.

En el desarrollo de esta memoria se utilizará el programa Visual MODFLOW, el cuál fue creado por Schlumberger Water Services en base al código MODFLOW descrito anteriormente.

Cabe destacar, que se tomará como base para el desarrollo del modelo Visual MODFLOW, la mayor cantidad de información útil contenida en trabajos anteriores, sobre todo el desarrollado por INGENDESA, con la asesoría de AC Ingenieros Consultores Ltda., denominado “Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico, Zona de Desembocadura del Río Aconcagua, 1997”.

Por último, se ejecutará una comparación económica entre la estrategia más confiable de extracción de agua en la zona, versus la alternativa de seguir comprando el agua al embalse Los Aromos. Lo anterior en base a un análisis de tipo VAN/TIR, para poder determinar qué situación es la más conveniente para la empresa.

1.2. OBJETIVOS GENERALES.

El objetivo general de esta memoria es obtener un modelo del comportamiento de los acuíferos de la zona de la desembocadura del río Aconcagua, en base al programa Visual MODFLOW. Luego, utilizar el modelo para generar nuevas estrategias de captación de agua, considerando todas las extracciones vigentes en la zona y verificar si es posible aprovechar en mayor medida los derechos sobre aguas subterráneas que posee ESVAL, mediante la generación de nuevos pozos.

En la misma línea, si los resultados anteriores son favorables y es posible generar una extracción mayor de la zona acuífera, se procederá a comparar económicamente, la alternativa de construir nuevos pozos o seguir comprando el agua al embalse Los Aromos en épocas de necesidad.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Los objetivos específicos que se pretende alcanzar, se señalan a continuación:

- Obtener información de las características físicas y de comportamiento de los acuíferos de la zona de la desembocadura del río Aconcagua, basándose en estudios anteriores.
- Actualizar la información sobre la explotación y comportamiento de los acuíferos hasta el año 2013.

- Generar un modelo Visual MODFLOW que pueda ser utilizado para describir el comportamiento hidrogeológico de la zona en estudio.
- Establecer diversos escenarios de explotación de los acuíferos, en base al modelo Visual MODFLOW, de modo de verificar si es posible extraer mayor cantidad de agua por parte de ESVAL.
- Comparar económicamente la alternativa de construir nuevos pozos para extraer mayor cantidad de agua en los acuíferos, versus la alternativa de seguir comprando el agua al Embalse Los Aromos en épocas de necesidad, o finalmente, definir una operación mixta en caso de que la fuente subterránea no sea capaz de abastecer completamente el déficit.

2. MARCO TEÓRICO.

Con el objeto de establecer una base teórica que respalde la modelación que se realizará más adelante, así como algunos cálculos y suposiciones, se presenta a continuación una serie de conceptos y relaciones matemáticas, desprendidos de problemas del flujo subterráneo de aguas.

Posteriormente se incluirá una breve descripción de un método comúnmente utilizado para el análisis de proyectos, necesaria para el desarrollo de éste trabajo.

2.1. CONCEPTOS DE HIDROGEOLOGÍA.

2.1.1. Porosidad del suelo.

Se refiere a la cantidad de vacío que existe en un determinado material. Para el análisis, se puede considerar la porosidad de dos maneras. La primera es la porosidad total, la cual es considerada como el total de espacios vacíos o huecos en un volumen unitario de material. La segunda es la porosidad efectiva, la cuál es considerada como el volumen de huecos disponibles para el flujo respecto de un volumen unitario de material. Ambas pueden representarse como porcentajes y su diferencia entrega un valor de la capacidad de retención del material.

Luego se puede definir el almacenamiento específico como el volumen de agua que no se ha “vaciado” es decir, la diferencia entre porosidad total y eficaz.

$$\text{-----} \quad (\text{Ec. 2 - 1})$$

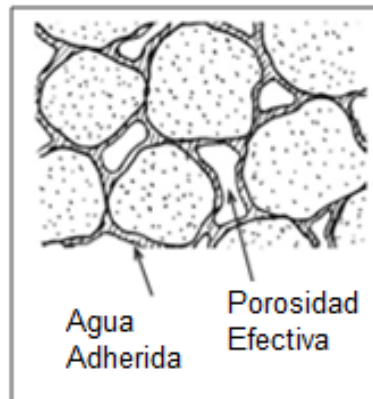
$$\text{-----} \quad (\text{Ec. 2 - 2})$$

$$\quad (\text{Ec. 2 - 3})$$

La FIGURA 2.1 ilustra de buena manera los conceptos de porosidad total y efectiva.

El agua adherida a los granos no puede ser extraída y tampoco forma parte de la sección disponible para flujo.

FIGURA 2.1: Porosidad.



Fuente: "Conceptos fundamentales de hidrogeología", Apuntes digitales, Prof. F. Javier Sánchez San Román, Depto. Geología, U. de Salamanca (España).

2.1.2. Superficie Freática.

Siempre que exista infiltración procedente de precipitaciones, los poros del terreno estarán llenos de agua hasta un determinado nivel denominado superficie freática. Cuando esta superficie es cortada por un pozo se habla de nivel freático en ese punto.

La superficie freática es continua y suele presentar una forma similar a la topografía, pero suavizada. En ella los puntos que la forman poseen una presión igual a la atmosférica.

2.1.3. Acuífero.

Almacén geológico a mayor profundidad que la zona radicular (capa de suelo que contiene raíces), en el que se deposita el agua, llegando a un estado muy cercano a la saturación, que puede ser bombeada posteriormente.

Si no existe una capa impermeable entre el acuífero y la superficie del suelo, el acuífero se llama no confinado, libre o freático; la superficie libre del agua o nivel freático, en este tipo de acuíferos está en equilibrio con la presión atmosférica. Si se realiza un sondeo y la presión alcanza la superficie freática, el nivel de agua permanece en el mismo

nivel. El espesor del acuífero libre es variable y se le conoce como espesor saturado, el cual depende si sube o baja la superficie freática.

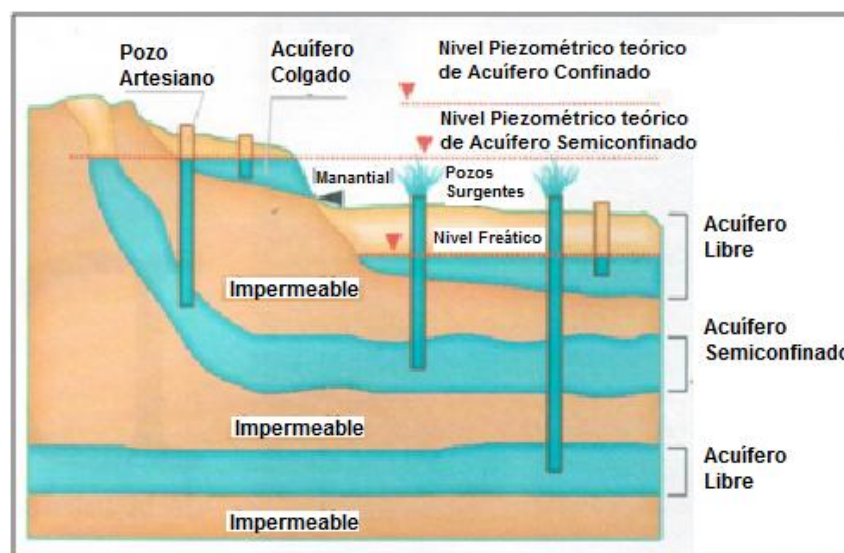
Un acuífero entre estratos de suelo de baja permeabilidad o totalmente impermeable, se conoce como acuífero confinado, artesiano o brotante, y comúnmente la presión del agua entre ambos estratos es superior a la presión atmosférica. Si se realiza un sondeo y se llega a un acuífero de este tipo, el nivel del agua puede subir varios metros, generando en algunos casos salidas abruptas de agua a la superficie por efecto de la presión interna (sondeo surgente). En general los acuíferos de este tipo son de espesor fijo.

Más frecuente que los acuíferos confinados perfectos son los acuíferos semiconfinados. Son acuíferos a presión, pero que alguna de las capas que lo confinan es semipermeable, llegando a través de ella filtraciones.

Otro tipo de acuífero, con características similares a los acuíferos libres, es el acuífero colgado: Depósito que se encuentra sobre un estrato impermeable o semipermeable cercano a la superficie, siendo su reserva de agua de una menor magnitud.

El material presente en un acuífero puede estar compuesto de diversos depósitos como arenas, gravas, limos y arcillas; o también por formaciones geológicas tales como roca fracturada y/o fisuras provocadas por fallas, o material calcáreo (caliza) con grietas producto de disolución.

FIGURA 2.2: Tipos de Acuífero.

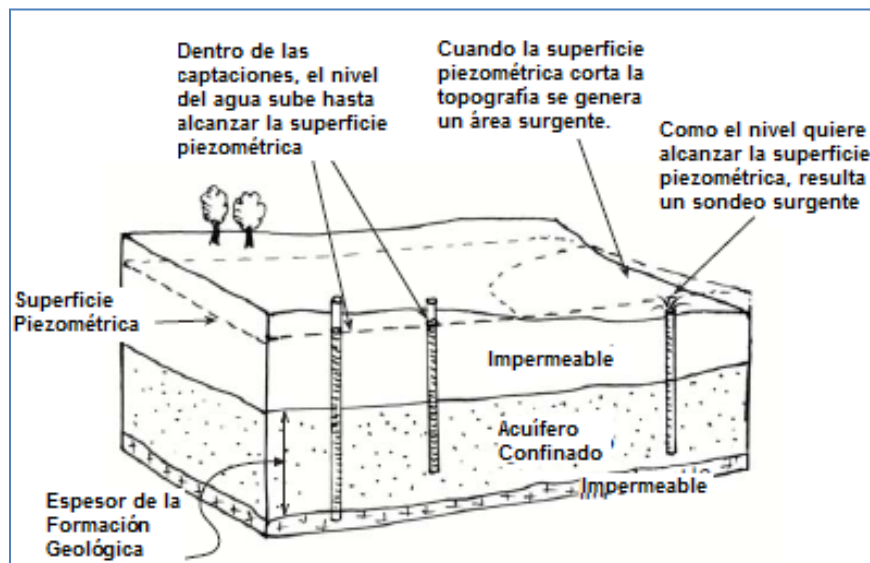


Fuente: Tipos de acuíferos, Geología, Ed. Laberinto.

2.1.4. Superficie Piezométrica.

La superficie virtual formada por los puntos que alcanzaría el agua si se hicieran infinitas perforaciones del acuífero se denomina de esta manera, y en un punto en concreto, en un pozo, se habla de nivel piezométrico. Cuando el nivel piezométrico se encuentra sobre el nivel topográfico se producen sondeos surgentes.

FIGURA 2.3: Superficie Piezométrica.



Fuente: "Conceptos fundamentales de hidrogeología", Apuntes digitales, Prof. F. Javier Sánchez San Román, Depto. Geología, U. de Salamanca (España).

2.1.5. Coeficiente de almacenamiento.

El volumen de agua que proporciona un acuífero libre se puede determinar mediante la porosidad eficaz, sin embargo, en acuíferos confinados no resulta útil, ya que al extraer agua de este tipo de acuíferos los poros continúan saturados, sólo disminuye la presión. Se necesita por lo tanto un parámetro que indique el agua liberada al disminuir la presión en el acuífero y será llamado coeficiente de almacenamiento (S) y su valor se determinará de acuerdo a la siguiente relación:

$$(Ec. 2 - 4)$$

La definición de acuerdo a lo que señala la (Ec. 2 – 4) se refiere a la variación del almacenamiento de agua en un prisma de área unitaria y altura m , por el descenso en una unidad de cota piezométrica.

El coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados se encuentra normalmente en rangos de $10^{-6} \leq S \leq 10^{-2}$. El mismo parámetro, pero esta vez en acuíferos no confinados o libres, está controlado por la altura piezométrica, que en este caso está determinada por el nivel que alcance la napa freática. El coeficiente de almacenamiento en acuíferos no confinados se conoce, comúnmente, como rendimiento específico y sus valores se encuentran normalmente en rangos de $0.2 \leq S \leq 0.3$

Tabla 2.1: Rendimiento específico S en distintos materiales.

Tipo de material	S	Tipo de material	S
Grava gruesa	0.23	Arenisca fina	0.21
Grava media	0.24	Arenisca media	0.27
Grava fina	0.25	Arena de duna	0.38
Arena gruesa	0.27	Loes	0.18
Arena media	0.28	Turba	0.44
Arena fina	0.23	Esquisto	0.26
Limo	0.08	Toba	0.21
Arcilla	0.03		

Fuente: "Pozos Profundos", DGA, Agosto de 2000.

2.1.6. Permeabilidad.

También denominada conductividad hidráulica (K). Se define como el volumen de agua que circula a través de una sección unitaria de suelo, en un tiempo unitario, bajo un gradiente hidráulico también unitario. En palabras mas simple podría definirse como la facilidad que ofrece un cuerpo a ser atravesado por un fluido. La permeabilidad se mide en unidades de longitud por tiempo ($m/día$, cm/h). Este parámetro es afectado directamente por la textura del suelo y por la densidad y viscosidad del agua subterránea. El tipo de partículas, su arreglo y en último término la porosidad que generan, influye directamente en el movimiento del agua en el suelo, es decir, en los valores de K .

Tabla 2.2: Valores de conductividad hidráulica K en distintos materiales.

Tipo de material	K, m/día	Tipo de material	K, m/día
Grava gruesa	150	Dolomita	0.001
Grava media	270	Arena de duna	20
Grava fina	450	Loes	0.08
Arena gruesa	45	Turba	5.7
Arena media	12	Esquisto	0.2
Arena fina	2.5	Pizarra	0.00008
Limo	0.08	Toba	0.2
Arcilla	0.0002	Basalto	0.01
Arenisca fina	0.2	Arena y mezcla de gravas	5-100
Arenisca media	3.1	Arcilla, arena y mezcla de gravas	0.001-0.1

Fuente: "Pozos Profundos", DGA, Agosto de 2000.

2.1.7. Transmisibilidad.

Puede definirse como la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica. Es una combinación entre conductividad hidráulica (K) y espesor de acuífero (H), en acuíferos confinados el espesor se designa con la letra "m". En consecuencia, la transmisibilidad corresponde al caudal que circula por una sección de área unitaria, bajo un gradiente hidráulico unitario y en un espesor de acuífero unitario. Las dimensiones en este caso son de (longitud²/tiempo) (m²/día). Se designa con la letra "T". Para acuíferos confinados se utiliza la siguiente relación:

(Ec. 2 - 5)

2.1.8. Ley de Darcy.

Henry Darcy fue encargado en 1856 del estudio de la red de abastecimiento de agua de la ciudad de Dijon, Francia. Para ello se interesó en los factores que influían en el flujo del agua a través de los materiales arenosos, presentando el resultado de su trabajo como un apéndice de su informe de la red de distribución, el cual, terminó siendo la base de todos los estudios físico-matemáticos posteriores sobre el flujo del agua subterránea.

Darcy encontró que el caudal que atravesaba un aparato poroso que denominó permeámetro, era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico. Obteniendo luego de algunos ajustes la siguiente relación:

— (Ec. 2 - 6)

Donde: $V = Q/\text{sección}$ (caudal que circula por m^2 de sección)
 K = Conductividad Hidráulica
 dh/dl = gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales

Si se tiene un medio isotrópico y homogéneo se puede escribir que:

Si se establece un sistema de coordenadas ortogonal, de ejes de referencia x, y, z , las componentes de v según la dirección serían:

— — —

El signo negativo indica que el vector velocidad es en el sentido contrario del gradiente hidráulico.

2.1.9. Potencial Hidráulico.

El agua se mueve de los puntos desde donde tiene más energía hacia aquellos en los que tiene menos. Esa energía se denomina potencial hidráulico y queda reflejada por la altura de agua existente en ese punto.

Por ser un cuerpo en movimiento y poseer velocidad, el agua también tiene energía cinética; también posee energía debido a la presión. Las dos anteriores sumadas a la energía potencial debido a su posición en el espacio, nos entregan la energía mecánica total del sistema.

2.1.10. Régimen Permanente y Régimen Variable.

Cuando el sistema de flujo no varía con el tiempo se dice que se encuentra en un régimen permanente, estacionario o en equilibrio. Cuando el flujo varía con el tiempo este se encuentra en un régimen variable, pudiendo ser que transcurrido un tiempo alcance un régimen permanente (como se verá más adelante en pruebas de bombeo).

2.1.11. Ecuación de Esgurrimiento en Medios Permeables.

2.1.11.1. Condiciones de Equilibrio:

A modo de introducir ciertos conceptos del esgurrimiento, se utilizará un prisma elemental esquemático, en un plano cartesiano (FIGURA 2.4) que considere el desplazamiento en las tres dimensiones posibles.

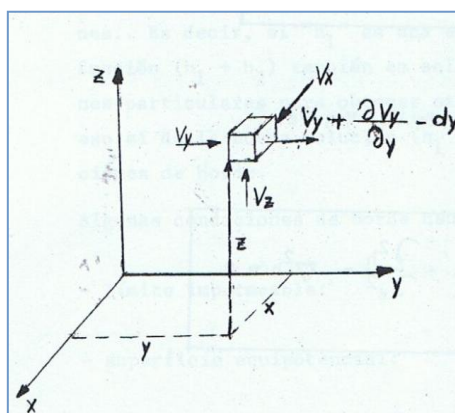
Sea un prisma de lados dx , dy , dz dentro de un medio homogéneo, uniforme, de permeabilidad K y en que se cumpla la Ley de Darcy.

Sea h la cota piezométrica en el punto de coordenadas (x, y, z) , de acuerdo a la ley de Darcy se tiene:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

(Ec. 2 - 7)

FIGURA 2.4: Prisma elemental esquemático.



Fuente: *Esgurrimientos en medios permeables, parte 1*, Prof. Ing. Hernán Baeza, 1973.

Suponiendo régimen permanente, en que no varía el volumen del líquido dentro del prisma considerado, se obtiene por continuidad:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Simplificando se llega a:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

(Ec. 2 - 8)

Finalmente reemplazando los valores V_x , V_y , V_z :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

(Ec. 2 - 9)

Ecuación de Laplace en coordenadas cartesianas en régimen de equilibrio.

Cualquier función h que satisfaga la ecuación de la Laplace es una solución del problema de escurrimiento, considerando además que debe cumplir con las condiciones de borde definidas para cada problema.

Al suponer condiciones de equilibrio sólo es válida para medios saturados.

2.1.11.2. Condiciones de Desequilibrio:

El concepto físico del coeficiente de almacenamiento " S " en acuíferos confinados es muy diferente al de acuíferos libres. Al deprimir por bombeo uno de los primeros la depresión representa una reducción en la presión hidrostática del agua contenida en los poros del material, produciendo dos efectos sobre las propiedades elásticas del acuífero y del agua:

1. Compresión del Acuífero
2. Ligera Expansión del agua.

Estos dos efectos combinados dejan libre agua proveniente del almacenamiento, lo que origina S .

Para el caso de acuíferos a presión y bajo condiciones de desequilibrio, la deducción de la ecuación de flujo subterráneo sería la siguiente.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{1}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Donde m = espesor del acuífero confinado.

Simplificando se llega a:

$$\frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (\text{Ec. 2 - 10})$$

Finalmente reemplazando los valores V_x , V_y , V_z :

$$\frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (\text{Ec. 2 - 11})$$

Donde $T = K * m$ = Coeficiente de transmisibilidad de la napa.

Si aparece un sumidero o recarga de agua "F", la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (\text{Ec. 2 - 12})$$

2.2. CONCEPTOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS.

2.2.1. Análisis VAN/TIR.

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de dinero futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La ecuación que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (\text{Ec. 7 - 1})$$

Donde,

Q_n : Representa los flujos de caja en el período n .

I : Es el valor del desembolso inicial de la inversión.

N : Es el número de períodos considerado.

r : Es la tasa de descuento.

Cuando el $VAN > 0$, la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r) y el proyecto podría aceptarse.

Cuando el $VAN < 0$, la inversión produciría pérdidas por encima de la rentabilidad exigida (r) y el proyecto debería rechazarse.

Cuando el $VAN = 0$, la inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas y r pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que proporcionará el proyecto.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA.

Como se mencionó con anterioridad, en este estudio se busca analizar el comportamiento de los acuíferos de la zona de la desembocadura del río Aconcagua en Concón, a modo de generar nuevas estrategias de captación, que permitan satisfacer las demandas hídricas en épocas de necesidad, al menor costo posible para ESVAL y asegurando la sustentabilidad de la zona acuífera.

Para poder realizar un correcto modelo del funcionamiento de los acuíferos presentes en la zona en estudio, es necesario recopilar una serie de antecedentes, que permitan formular un modelo físico y conceptual del funcionamiento hídrico del conjunto de la unidad hidrogeológica. Es evidente, que cuanto mayor sea el detalle de la información, se conseguirá una mejor representación de la realidad.

Los antecedentes a definir en el sector de estudio son los siguientes:

1. Límites del área de estudio.
2. Geología y Geofísica.
3. Inventario de Puntos de agua.
4. Piezometría y curvas Isofreáticas.
5. Parámetros Elásticos.
6. Mecanismos de Recarga y Descarga

3.1. LÍMITES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La zona que se analizará se encuentra ubicada en la hoya hidrográfica del valle del río Aconcagua, específicamente en la desembocadura del río, la que corresponde a la cuarta sección legal de éste, en la comuna de Concón en la Región de Valparaíso.

En la FIGURA 3.1 y 3.2 se muestra de buena forma la ubicación de la zona de estudio de manera general y más específica.

Para el desarrollo de ésta memoria sólo se analizará una parte de la cuarta sección legal del río Aconcagua, respetando los límites físicos de la zona acuífera, así como sus condiciones de borde, pero analizando hacia aguas arriba sólo hasta el sector de “La Reserva”. La razón de lo anterior es debido a que, la ubicación histórica de los pozos de ESVAL ha sido en ésta zona y es éste el sector para el cual se está buscando nuevas estrategias de explotación de agua.

FIGURA 3.1: Cuarta Sección Río Aconcagua (Desembocadura).



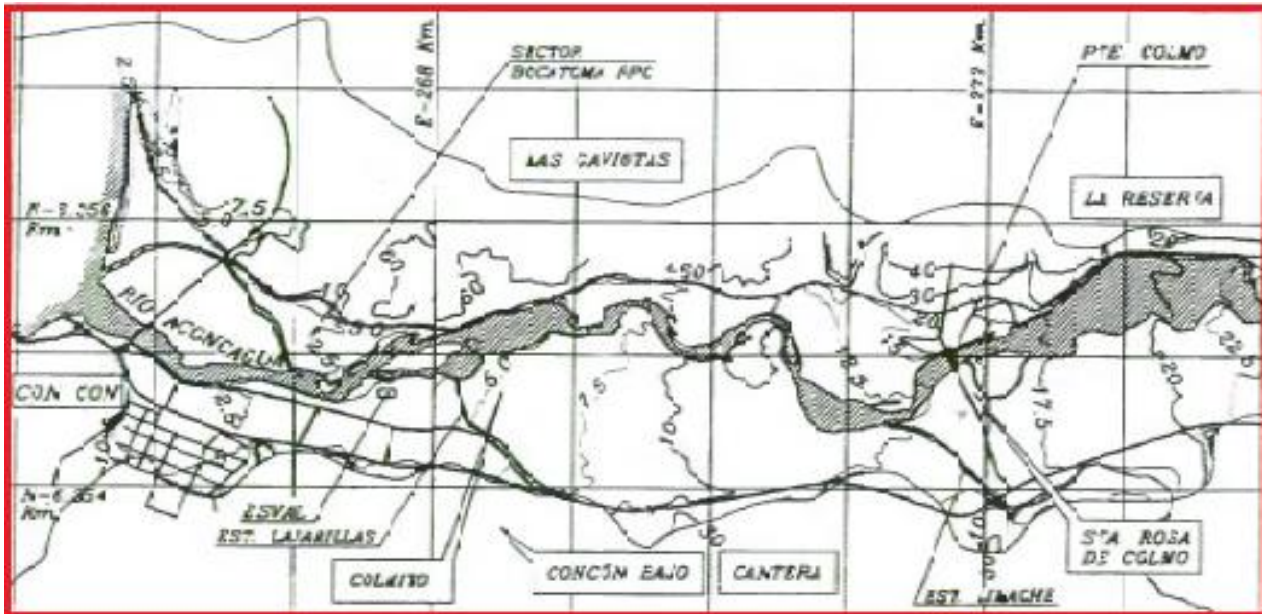
Fuente: Google Earth.

3.2. GEOLOGÍA, GEOFÍSICA, CLIMA Y VEGETACION.

Es relevante para la descripción del sistema en estudio, conocer adecuadamente los elementos que lo componen, así como su distribución y límites físicos. Para ello se recopiló información anterior del sector, desde diversos estudios, siendo el principal de estos el “Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona de desembocadura del Río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., Diciembre de 1997”.

Se considerará válida esta información y no se actualizará, ya que la variabilidad geológica se da en lapsos de tiempo mayores a los transcurridos entre los años 1997 y 2013. Lo anterior es también aplicable a la variabilidad geofísica y climática. Cabe destacar que la vegetación de la zona tampoco ha cambiado en el período mencionado.

FIGURA 3.2: Ubicación y sectores de referencia de la zona de estudio



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

3.2.1. Clima y Vegetación.

El sector se caracteriza por presentar una estación seca prolongada (7 a 8 meses secos). Las precipitaciones son de tipo mediterráneo, es decir, lluvias invernales con una estación seca prolongada.

En la Tabla 3.1 se entregan los promedios térmicos mensuales en el sector en estudio que reflejan de cierto modo los valores que se tiene en el área. La información fue obtenida desde la base de datos virtual de la Dirección General de Aguas (DGA) y contempla los últimos 34 años, es decir, 1980 – 2014 (Ver ANEXO 3.2)

La desembocadura del Aconcagua se encuentra dentro de la zona mesomórfica, siendo sus formaciones vegetales del tipo estepa costera de arbustos y hierbas mesófitas, las cuales poseen una cubierta herbácea primaveral. Algunas especies arbóreas de este tipo son canelos, aromos, pataguas, boldos y voquis.

También se encuentran en la zona matorrales arborescentes de la Cordillera de la Costa, presentando tres estratos de vegetación: Arbóreo, arbustivo y hierbas anuales y perennes.

Tabla 3.1: Promedios Térmicos Concón

Temperatura Media Concón (1980 - 2014), Grados Celsius					
Estación	Ubicación (PSAD 56)		Enero	Julio	Anual
LOS AROMOS	N [m]	E [m]	18.6	10.7	14.6
	6350896	280800			

Fuente: Base estadística, DGA al 2014

3.2.2. Geología.

Con la información geológica se busca conocer la composición y estructura interna del sector de estudio, además de cómo ha ido evolucionando a lo largo del tiempo.

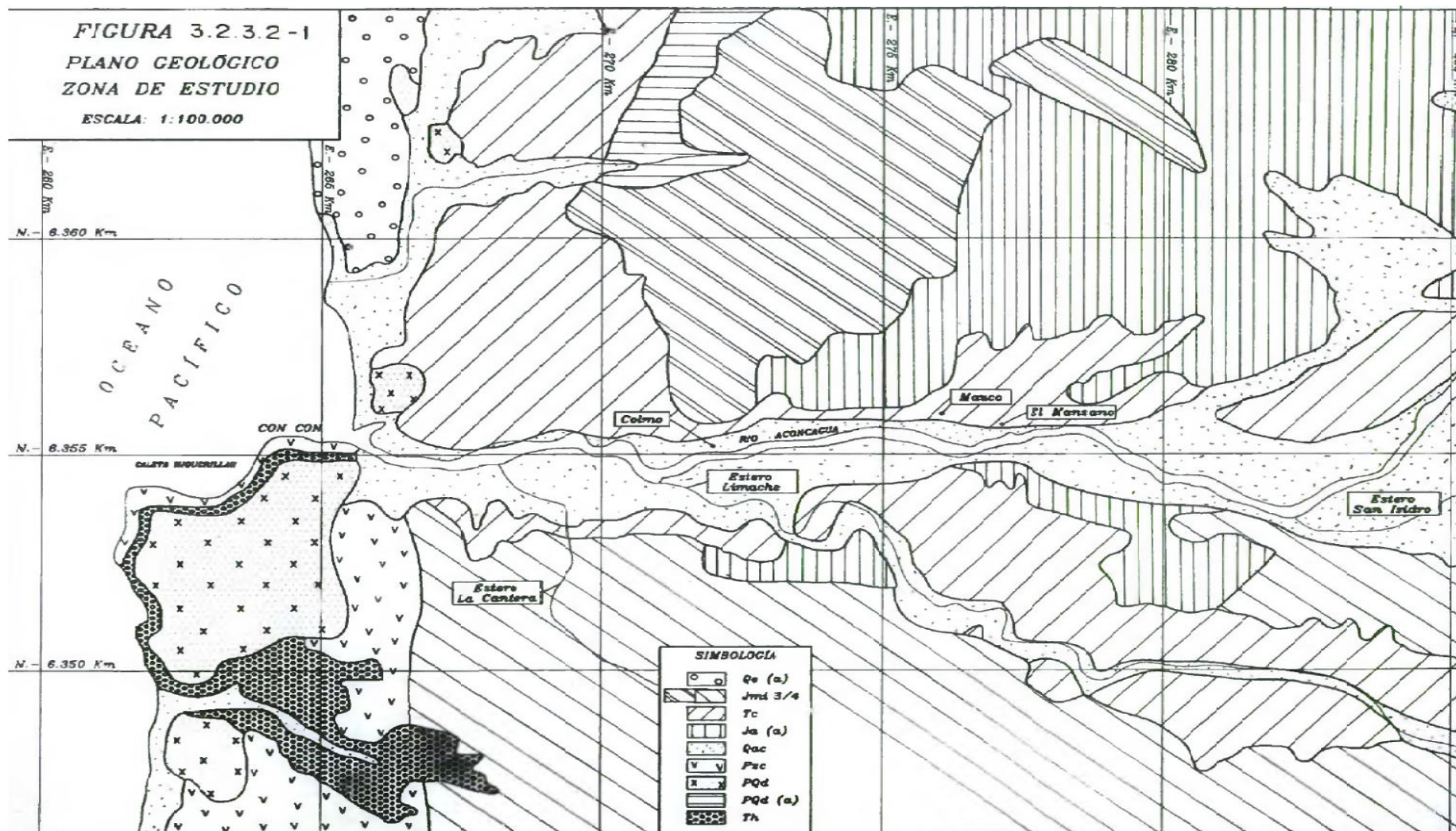
3.2.2.1. Formaciones Geológicas.

Del estudio mencionado anteriormente (AC Ingenieros Consultores Ltda.) se obtuvo la carta geológica del sector de interés realizada por SERNAGEOMIN el año 1993, donde se ha incluido las unidades, formaciones y sedimentos que caracterizan la geología de la zona. Además se muestra la simbología del plano junto al momento temporal correspondiente que indica su edad de formación.

3.2.2.2. Características Acuíferas de las Formaciones Geológicas.

Como se podrá observar más adelante, existen dos acuíferos de gran importancia en la zona de estudio. Existen además pequeñas formaciones de rocas fundamentales, sedimentos terciarios, depósitos de dunas antiguas, conos de deyección y depósitos de terrazas altas, que contienen pequeños depósitos de aguas, los cuáles, no se consideraran en este estudio.

FIGURA 3.3: Plano geológico de Zona de Estudio



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

Tabla 3.2: Simbología y Edad Geológica.

<p>CENOZOICO - Cuaternario</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qe(a): Sedimentos eólicos y litorales; depósitos de playa; dunas - Qa c: Sedimentos aluviales y coluviales, depósitos de relleno de valles. - Pqd: Sedimentos de depósitos marinos, en parte sin sedimentos. - Pqd (a): Gravas y arenas aluviales. - Th: Formación Caleta Horcón (marino-transicional), Areniscas, Arcillolitas, limolitas poco consolidadas con fósiles. - Tc: Formación confluencia (Continental), conglomerados, areniscas, brechas y limolitas poco consolidadas
<p>MEZOZOICO - Jurásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jmi4: Superunidad mincha, unidad cavilonen; granodioritas y tonalitas, grano fino a medio. - Jmi3: Superunidad mincha; unidad tranquila; principalmente sienogranitos, gris claro, de grano fino. Sienitas cuarcíferas mirtnequíticas, subordinadas. - Ja (a): Formación ajial (volcánica - continental), lavas y depósitos piroclásticos ácidos e intermedios (a), rocas metamórficas atribuidas a formación ajial (Jurásico Inferior - Medio)
<p>PALEOZOICO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pzc: Unidad Cochoa, de granito fino a medio, bandeados. Tonalitas, granodioritas y granitos subordinados, de grano medio a grueso, con textura orientada.

Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

a) Acuífero Freático de la Llanura Aluvial.

Es bastante conocido geológicamente, ya que la totalidad de los sondajes perforados en esta llanura lo han atravesado total o parcialmente.

En términos generales, la granulometría de este acuífero corresponda a fracciones gruesas del tipo grava y ripio con proporciones variables de arena y prácticamente ausencia de fracciones finas; este acuífero se extendía a todo lo ancho del valle siendo reemplazado parcialmente por materiales que corresponden al cauce actual del río (resulta razonable admitir la conexión acuífero-río).

En cuanto a su potencia, el acuífero se evidencia altamente variable, concentrándose los mayores espesores (80 m) en el área sur del río para luego decrecer a un mínimo de 10 m en el lado opuesto.

b) Unidad Arcillosa.

Bajo el acuífero superior se encuentra una capa de arcilla gris oscura con materia orgánica. Esta capa, junto con constituir la base del acuífero freático, constituye el manto confinante de la zona acuífera inferior. Para efectos prácticos la arcilla puede considerarse como uniforme y realmente como un manto que separa ambos acuíferos.

La potencia varía desde los 33 m (sondaje más cercano a la costa que lo ha atravesado) en el poniente, llegando a espesores muy pequeños en el sector de Puente Colmo, confundándose con medios más permeables. Hacia el oriente el estrato pierde su unidad, apareciendo irregularmente entre los estratos más gruesos.

c) Zona Acuífera Confinada Inferior.

No se denomina Acuífero Confinado, ya que se ha comprobado en diversos estudios su irregularidad granulométrica, tanto en sentido vertical como horizontal. Su potencia máxima varía entre 30 y 130 m, siendo en la zona costera cercana a los 80 m.

Se piensa que la zona inferior confinada puede no estar necesariamente constituida de materiales de buena permeabilidad uniforme, ya que es probable que sobre el basamento rocoso existan sedimentos terciarios de mala permeabilidad.

3.2.2.3. Relación Mar-Acuífero.

a) Acuífero Freático.

Se encuentra directamente conectado con el mar, estando sus aguas en contacto directo en la superficie llamada interfase. Planos estratigráficos de pozos ubicados a 100 m del mar, indican la existencia del acuífero hasta una profundidad entre 7 y 8.4 m. Compuesto por un 30% de arena y 70% de ripio, constituyendo un relleno muy permeable que permite la penetración de cuña salina bajo ciertas condiciones.

b) Zona Acuífera Confinada.

No se manejan antecedentes suficientes. Sin embargo (como se mostrará más adelante) el estrato de arcilla es del orden de 33 m de espesor en la zona costera, encontrándose su base a una profundidad promedio de 40 m bajo el nivel del mar.

Considerando además que las profundidades mayores del fondo marino frente a la desembocadura son un poco más de 40 m, de acuerdo al mapa Hidrográfico de la Armada de Chile. Es adecuado inferir una conexión sólo a través del estrato de arcilla.

El basamento rocoso se encuentra a una profundidad hasta 150 m en la desembocadura, por lo que es altamente probable, que el alto topográfico del fondo corresponda a sedimentos aportados por el río y no a roca fundamental.

En consideración a lo anterior, la eficiencia de la conexión entre el acuífero inferior y el mar sería baja ya que estaría acotada por la permeabilidad de la capa de arcilla.

3.2.3. Geofísica.

La Geofísica del sector, será descrita gracias a 2 estudios realizados el año 1996 (mediciones gravimétricas y geoeléctricas), con el fin de obtener una representación espacial del basamento rocoso y la configuración de estratos en el valle del río Aconcagua en la zona de estudio.

En esta memoria se incluirán sólo los resultados obtenidos, sin embargo, en el Anexo 3-2 del “Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua” se incluyen todos los antecedentes relacionados con los trabajos realizados como parte del estudio geofísico.

Para obtener buenos resultados, se midieron 316 estaciones de gravedad¹ y 15 sondajes eléctricos verticales² (SEV). Los anteriores se pueden apreciar en la FIGURA 3.4.

Las estaciones gravimétricas se distribuyeron cada 100 y 200 metros aproximadamente.

Gracias a la interpretación de datos gravimétricos se generaron las curvas de nivel del basamento rocoso (FIGURA 3.5).

Los sondajes eléctricos verticales permitieron determinar la forma de los estratos que representan la sectorización hidrogeológica.

3.2.3.1. Formaciones Acuíferas.

Gracias a la información obtenida de los estudios geofísicos, es posible definir la configuración acuífera de la zona. Los perfiles característicos obtenidos se ilustraran más adelante.

Como se hizo notar, en la zona de estudio existen dos acuíferos claramente diferenciados. En la capa superior se encuentra un acuífero libre, con profundidad variable

¹ **Método Gravimétrico:** determina la morfología del basamento subterráneo en base a medidas realizadas en superficie, de pequeñas variaciones de la componente vertical del campo de gravedad terrestre. Estas variaciones se deben a una distribución irregular en profundidad de masas de diferentes densidades.

² **Sondajes Eléctricos Verticales:** utilizan el método eléctrico de resistividad, el cual, permite determinar la estratigrafía con sus respectivas potencias en base a la resistencia que le ponen diferentes estructuras del suelo al paso de un flujo de corriente.

y constituido por materiales que forman un relleno bastante permeable y con buena capacidad de almacenamiento. Se encuentra en contacto directo con la recarga proveniente del río Aconcagua por el este y con el océano pacífico por el oeste. Su espesor varía entre los 10 m (Puente Colmo – Costa) y 60-100 m aguas arriba de Puente Colmo.

Bajo el acuífero libre se encuentra un acuífero confinado separado por una capa arcillosa de baja permeabilidad. Tiene buen rendimiento pero bajo almacenamiento.

El espesor máximo del acuífero inferior varía entre los 30 y 130 m; en la zona costera su espesor llega hasta 80 m, siendo su relleno efectivamente aportante bastante menor.

Ambos acuíferos presentan un ancho promedio de 1500 m. Como se mencionó anteriormente, aguas arriba de la angostura de Mauco, la capa arcillosa se va indefiniendo, generando la unión entre ambos acuíferos obteniéndose uno sólo con características de un acuífero libre.

3.2.3.2. Sectorización Hidrogeológica.

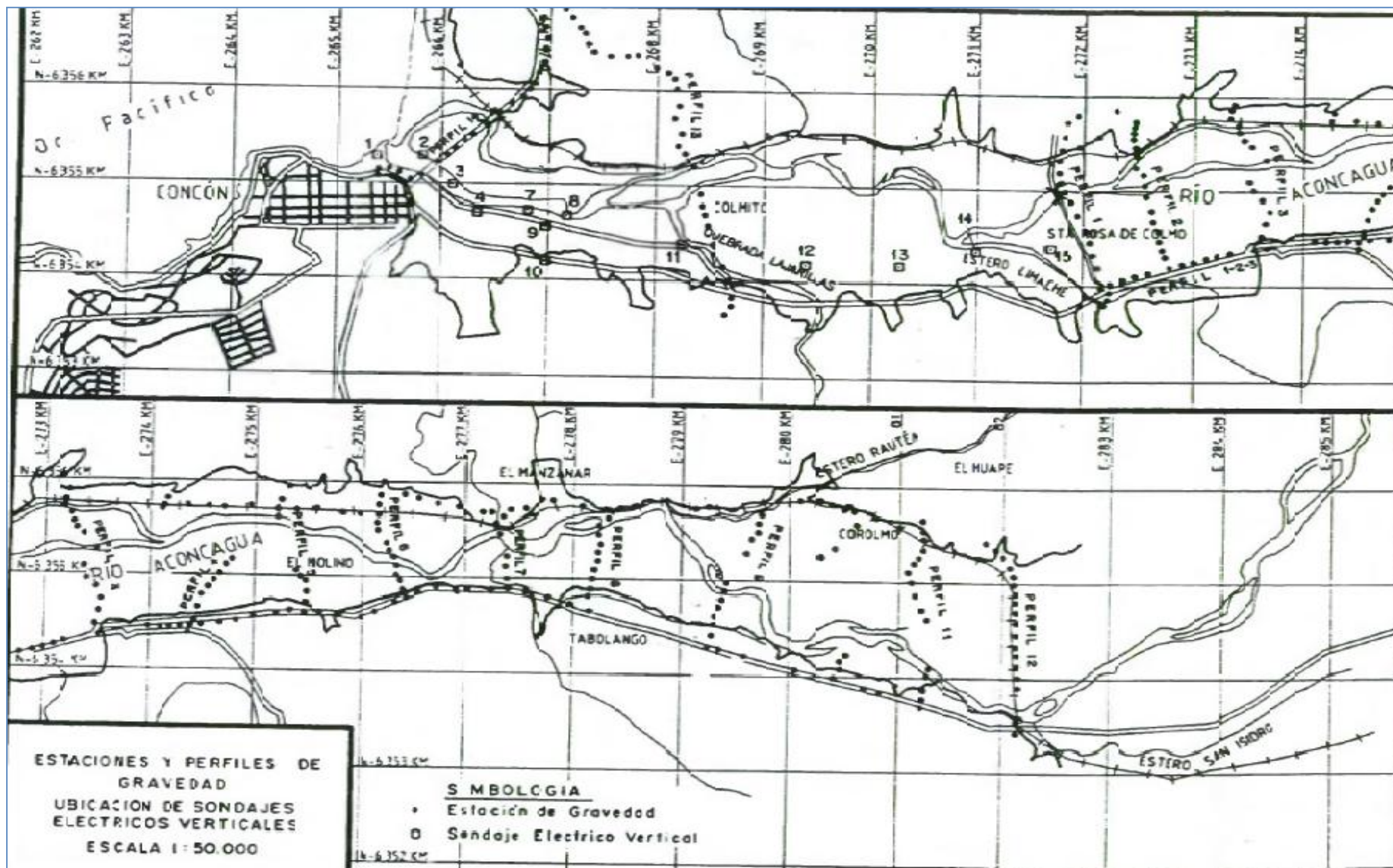
Para modelar adecuadamente el flujo subterráneo, es necesario representar el sistema con un grado de detalle adecuado. Para ello cada estrato se considerará como una unidad con características definidas:

- Unidad 1: Estrato superficial, Napa libre con una distribución de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.
- Unidad 2: Estrato arcilloso bajo la capa superficial.
- Unidad 3: Zona permeable bajo la capa arcillosa que han alcanzado las perforaciones.
- Unidad 4: Zona de características desconocidas, se describirá como una distribución de permeabilidades equivalente.

En la FIGURA 3.6 se muestra la distribución de unidades como un corte transversal del valle. Cabe destacar que aguas arriba de Santa Rosa de Colmo la unidad 2 desaparece, fusionándose las unidades 1 y 3.

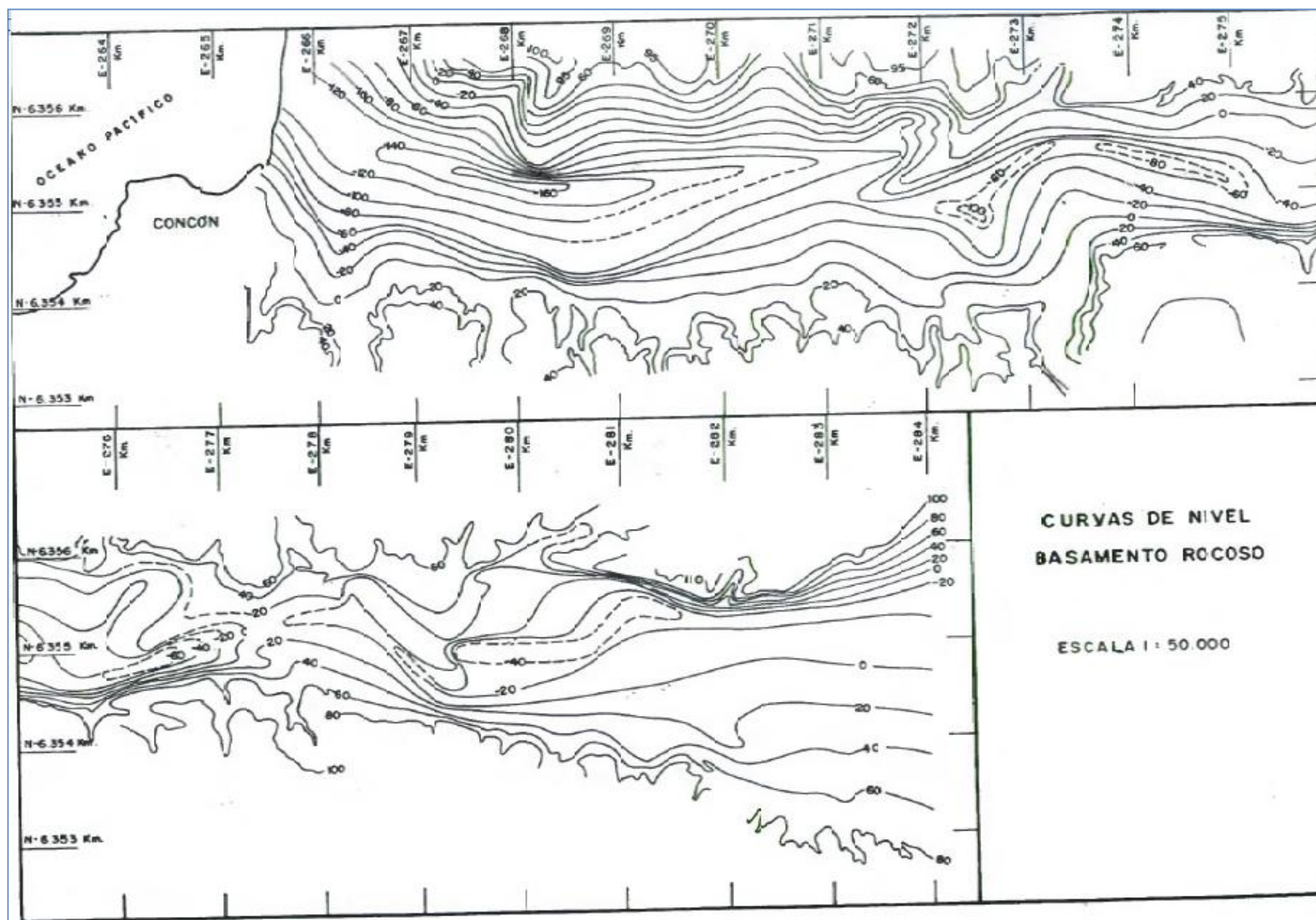
En la FIGURA 3.7 se muestra la ubicación en planta del perfil longitudinal y de tres perfiles transversales (FIGURA 3.9 a 3.11) obtenidos del estudio geofísico.

FIGURA 3.4: Estaciones de Mediciones Geofísicas.



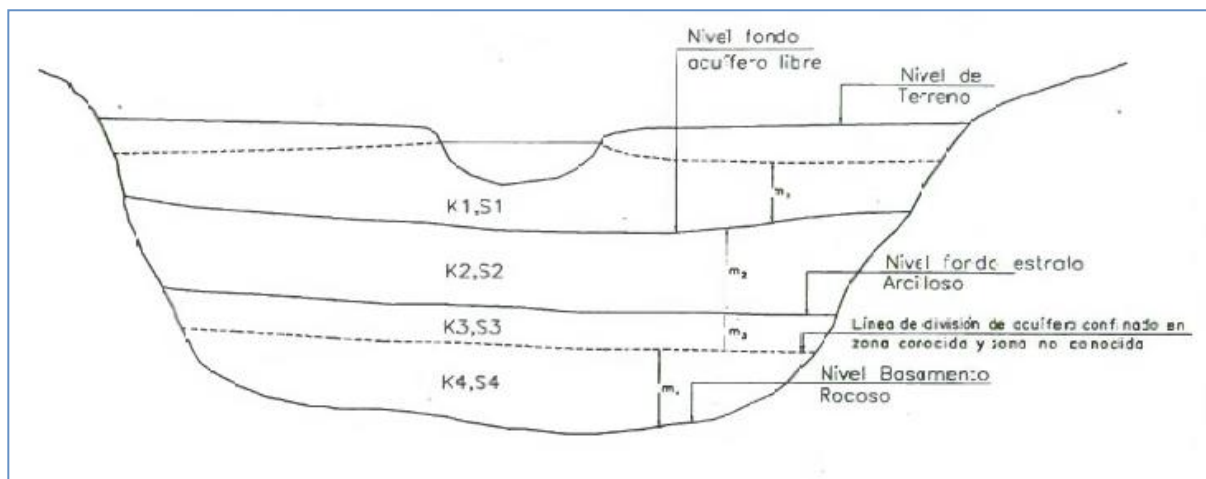
Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.5: Curvas de Nivel de Basamento Rocoso.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológica Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.6: Sectorización Hidrogeológica.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

Donde:

K1 = Distribución de permeabilidad de acuífero superficial.

K2 = Distribución de permeabilidad del estrato arcilloso.

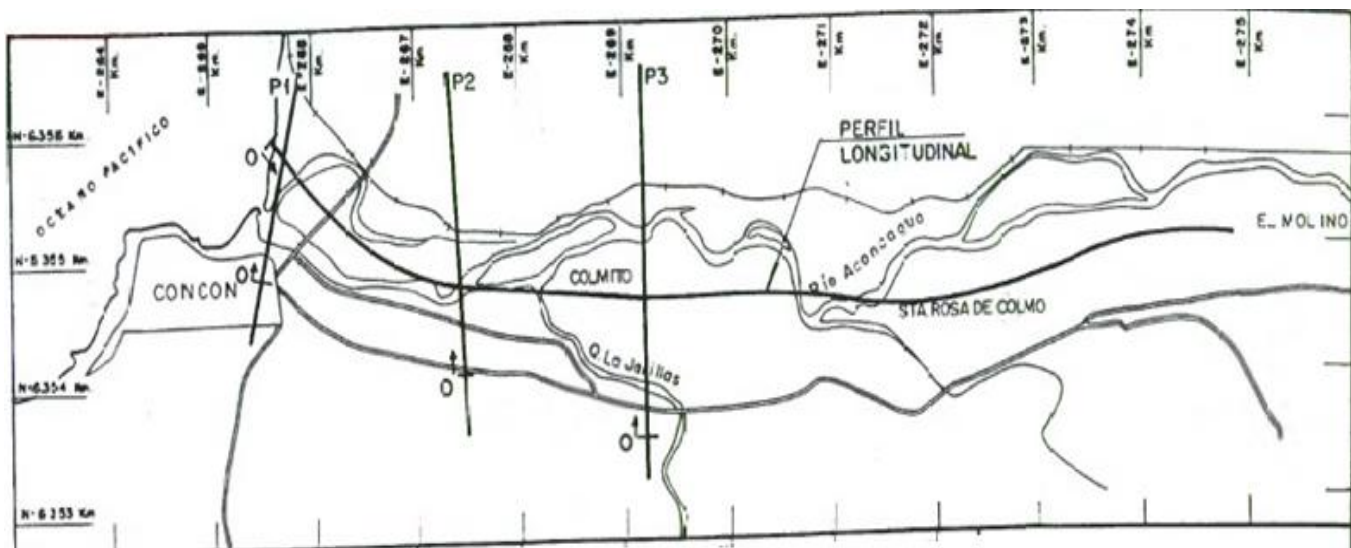
K3 = Distribución de permeabilidad de la zona del acuífero confinado.

K4 = Distribución de permeabilidad de la zona no explorada confinada.

S_i = Coeficiente de almacenamiento asociado a la zona de permeabilidad K_i.

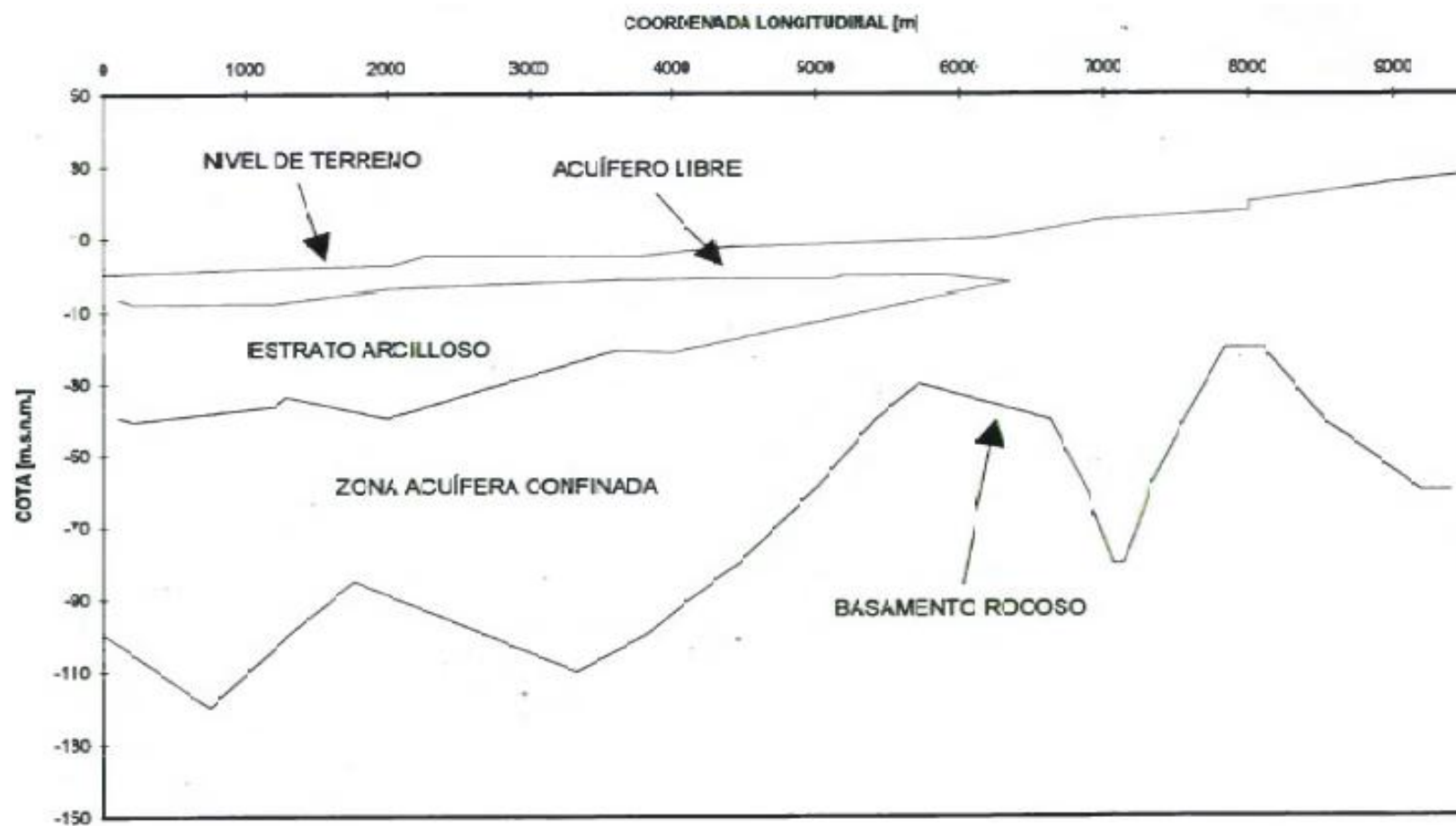
m_i = Espesor de estrato asociado al sector de permeabilidad K_i.

FIGURA 3.7: Ubicación de Perfiles.



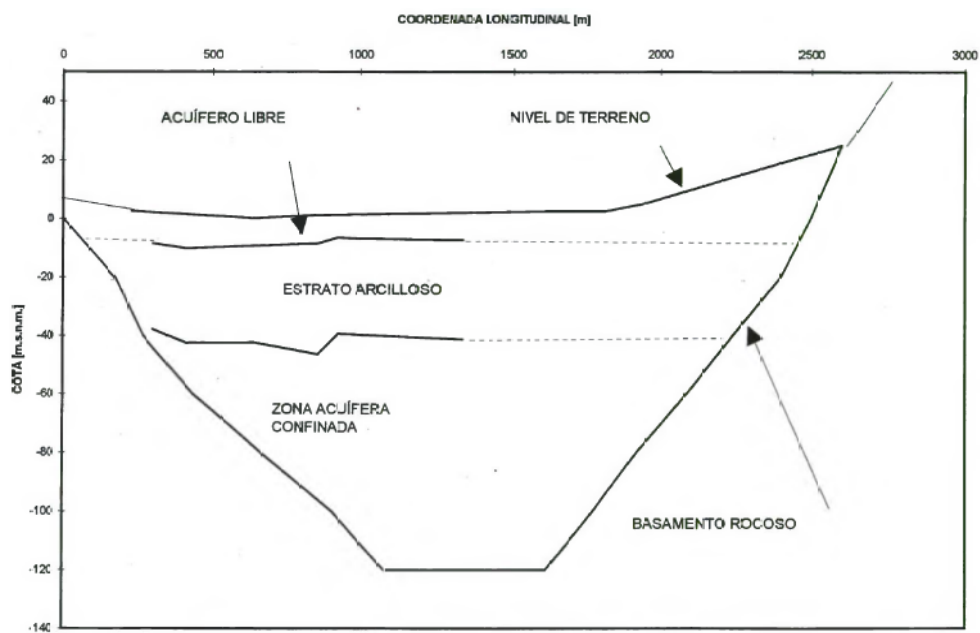
Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.8: Perfil Longitudinal Sectorización Hidrogeológica y Basamento Rocoso.



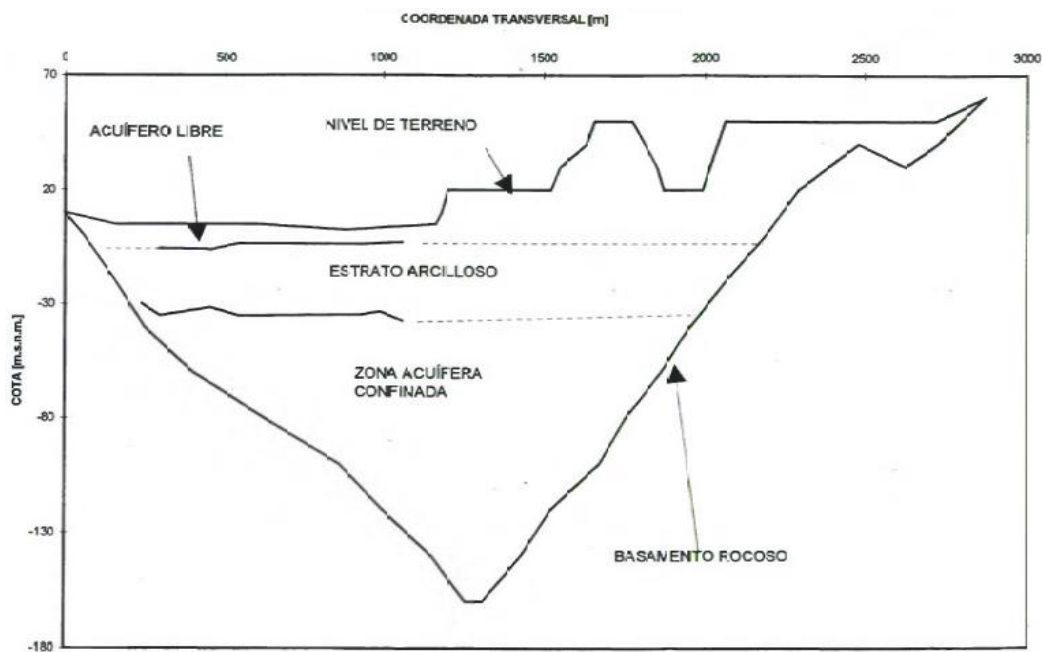
Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológica Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.9: Perfil Transversal N°1.



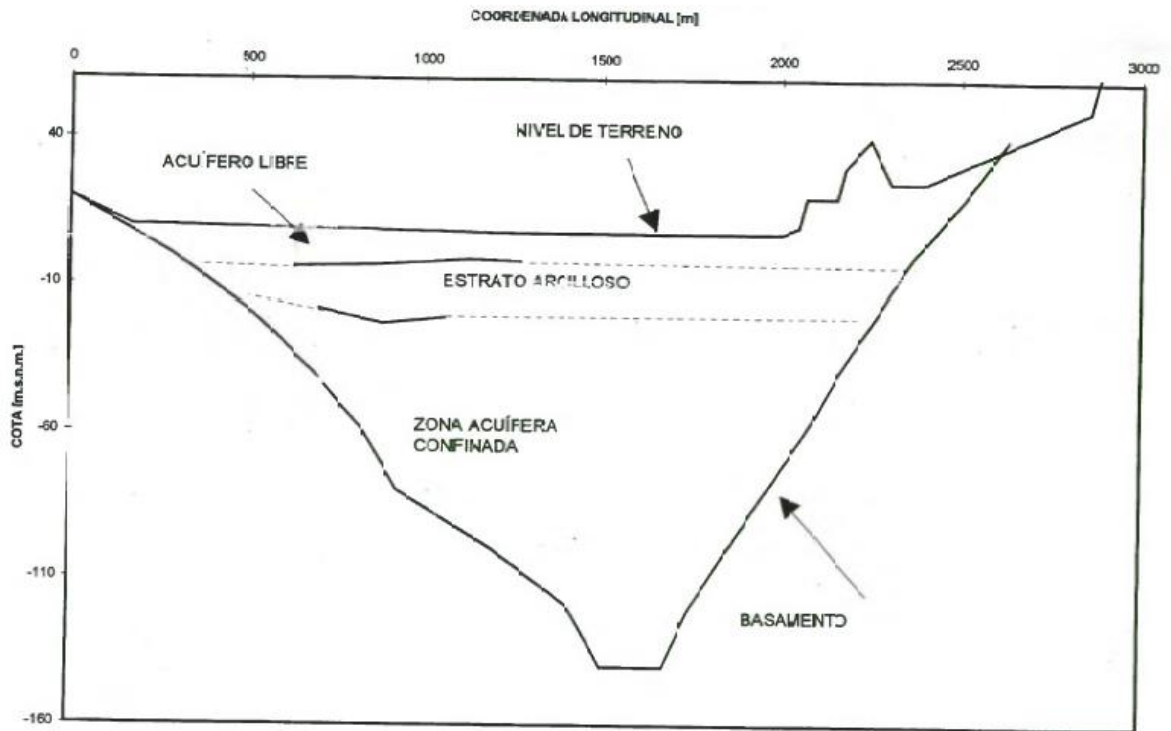
Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.10: Perfil Transversal N°2.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.11: Perfil Transversal N°3.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

3.3. TOPOGRAFÍA.

Más allá de no ser del todo relevante para la modelación del flujo de aguas subterráneas, se consideró importante tener alguna aproximación topográfica del sector, sobre todo al momento de ubicar el río en el futuro modelo, ya que existe la posibilidad de provocarse mecanismos de recarga o descarga de los acuíferos a través del río, condicionados a la diferencia en la altura existente entre la base del río y el nivel piezométrico de las napas subterráneas.

También se consideró que con ayuda de la topografía se tendría una idea más clara de la profundidad de los sondeos (información que no se tiene de todos ellos), así como de sus respectivas cotas. Lo anterior es de gran utilidad a la hora de planificar nuevas excavaciones en el sector, debido a los costos que deben ser considerados.

La topografía se obtuvo con la ayuda del Software "Global Mapper", desarrollado por Blue Marble Geographics. Que entrega información bastante acertada sobre la altimetría de algunos sectores del planeta tierra. Los resultados fueron contrastados con

lo que pudo observarse gracias a Google Earth y se determinó que eran aceptables y aplicables para el objetivo de esta memoria.

3.4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.

Se cuenta con un catastro de los sondeos y captaciones en la zona analizada (ANEXO 3.4.1). De esta recopilación, con información hasta el año 1996, se considerarán sólo los pozos que no figuran como abandonados. Cabe destacar que anterior al año 1996 existieron peticiones a la DGA de nuevos derechos sobre aguas subterráneas, los cuales, se considerarán dentro de un escenario de explotación posible más adelante.

Del año 1996 en adelante se analizó la información sobre petición y asignación de derechos de aguas subterráneas en la desembocadura del río Aconcagua hasta el año 2013, existente en la página web de la DGA (ANEXO 3.4.2.) Con ello se pudo incorporar a la modelación, el funcionamiento de una serie de pozos a partir del año en que fue entregada la autorización para ello. Existen además derechos de agua solicitados con resolución pendiente, los cuales también se incluirán en un escenario de explotación posible.

A continuación se adjunta el listado con la información relevante sobre todas las extracciones que fueron consideradas para la ejecución del modelo.

Tabla 3.3: Pozos con derechos de aguas cedidos y en funcionamiento.

UTM	PSAD 56	UTM	Modelo	H hab.	Napa	Dueño	Q der	Usos	Presencia Modelo(*)
6355115	273130	1115	7463	21***	NL**	AGR Y COM LAS DICHAS LTDA.	60	I	15-11-1996
6355125	273720	1125	8053	21***	NL**	AGR Y COM LAS DICHAS LTDA.	80	I	29-10-1998
6355310	273720	1310	8053	21***	NL**	AGR Y COM LAS DICHAS LTDA.	80	I	28-12-1998
6355250	273945	1250	8278	21***	NL**	AGR Y COM LAS DICHAS LTDA.	70	I	29-10-1998
6355770	267020	1770	1353	80***	NC**	BASF CHILE S.A.	4.2	I	20-04-1999
6354699	273968	699	8301	50***	NL**	COMITE APR LA VICTORIA - INDEPENDENCIA	7	P	27-04-2012
6354440	269848	750	7383	18.7	NL	CORA	50		29-10-1998
6355250	273945	1250	8278	50	VN	POZO Nº1 CURAUMA	70.0	P	24-10-2000
6355115	273130	1115	7463	41.6	VN	POZO Nº5 CURAUMA	60.0	P	06-04-1999
6355975	267526	1975	1859	85***	VN**	DANIEL SUNICO LEWIN	0.6	I	25-10-1999
6355865	267569	1865	1902	85***	VN**	DANIEL SUNICO LEWIN	0.6	I	16-05-2012
6355990	267600	1990	1933	85***	VN**	DANIEL SUNICO LEWIN	0.6	I	01-06-2012
6356000	267650	2000	1983	85***	VN**	DANIEL SUNICO LEWIN	1	I	01-06-2012
6355853	267661	1853	1994	85***	VN**	DANIEL SUNICO LEWIN	1	I	16-05-2012
6354800	270450	800	4783	16	NL	DOS 958	30	P	10-07-1973
6354790	270260	790	4593	15	NL	DOS 959	31	P	10-07-1973
6354550	269400	550	3733	35	VN	DOS 960 - Maggi - Granja Educativa	18	I - R	10-07-1973
6354800	269620	800	3953	13.5	NL	DOS 961 - Maggi	32	I	10-07-1973
6354600	269000	600	3333	35	NL	DOS 962	16	P - I	10-07-1973
6354790	268790	790	3123	10	NL	DOS 963	25	P - I	10-07-1973
6354550	273440	480	5609	7	NL	Dren Colmo	415	P	01-01-1998
6354090	269380	90	3713	13***	NL**	EMBOTELLADORA WILLIAMSON	9	I	08-03-2000
6354200	269470	200	3803	15.2	NL**	EMBOTELLADORA WILLIAMSON	15	I	08-03-2000
6354900	271025	900	5358	60	VN	ENAMI - P7	9	I	29-10-1998
6355120	270740	1120	5073	93.3	VN	ENAMI - P1	30	I	10-07-1973
6355020	270870	1020	5203	42	VN	ENAMI - P2	30	I	10-07-1973
6355250	270580	1250	4913	56.5	VN	ENAMI - P3	30	I	10-07-1973
6354940	271160	940	5493	48	VN	ENAMI - P4	20	I	10-07-1973
6354890	271050	890	5383	35	VN	ENAMI - P5	20	I	10-07-1973
6354890	270900	890	5233	36	VN	ENAMI - P6	20	I	10-07-1973
6354720	267910	720	2243	66	VN	ESVAL - p1	140	P	10-07-1973
6354780	268120	780	2453	38.6	VN	ESVAL - p2	60	P	10-07-1973
6354770	268400	770	2733	43.5	VN	ESVAL - p3	33.2	P	10-07-1973
6354670	268062	670	2395	47	VN	ESVAL - p4	50	P	10-07-1973
6354514	268532	514	2865	45***	NL**	GAS LICUADO LIPIGAS	30	I	11-07-1997
6355975	267526	1975	1859	70***	NL**	LUIS ANTONIO FERNANDEZ DIAZ	0.96	I	20-09-1999
6355645	269300	1645	3633	21***	NL**	LUIS GATICA ALDUNATE	4	I	15-03-1999
6354550	273440	550	7773	15***	NL**	MEGARIDOS LTDA.	10	I	31-01-1997
6355910	267526	1910	1859	75***	VN**	MENAHEN ASSAEL COHEN	3.2	I	29-10-1998
6355119	267425	1119	1758	49	NC	RPC - Bocatoma	80	I	10-07-1973
6355042	267365	1042	1698	54.2	NC	RPC - Bocatoma	70	I	10-07-1973
6354920	267370	920	1703	51.8	NC	RPC - Bocatoma	50	I	10-07-1973
6354488	267450	510	1783	51.5	NC	RPC - Bocatoma	50	I	10-07-1973
6354090	269380	440	4181	12.9	NL	RPC - Lajarillas	50	I	10-07-1973
6354460	269660	460	3993	12***	NL**	RPC - Lajarillas	70	I	10-07-1973
6354435	269350	170	3683	14.7	NL	RPC - Lajarillas	30	I	10-07-1973
6355010	266660	1010	993	45	NC	SGM	6	I	10-07-1973
6355125	273720	1125	8053	15***	NL**	VICTOR ELEAZAR SAAVEDRA MUÑOZ	2	I	29-03-1999
6355310	273720	1310	8053	15***	NL**	YAROSLAV LUDWING KUBAT MILOVIC	6.5	I	18-03-1999
6354689	269052	689	3385.41	45	VN**	TERMOELÉCTRICA COLMITO	7.5	I	01-01-2008
6354890	267350	890	1683	49.3	NC	DGA-C6	-	O	10-07-1973
6354272	269340	300	3403	36.8	NC	DGA-C38	-	O	10-07-1973
6355196	269224	1196	3557	6	NL	DGA-C39	-	O	10-07-1973
6355026	269852	1026	4185	15	NL	DGA-C67	-	O	10-07-1973
6355391	270935	1391	5268	14.8	NL	DGA-C69	-	O	10-07-1973
6354899	272350	899	6683	20	NL	DGA-C71	-	O	10-07-1973
6355113	273593	1113	7926	18	NL	DGA-C73	-	O	10-07-1973

(*) El inicio de la acción del bombeo de cada pozo en el modelo MODFLOW se encuentra directamente relacionada con los antecedentes recopilados en cuanto al funcionamiento de ellos o, en el caso de no manejar antecedentes, a la fecha en donde fueron otorgados los derechos de explotación subterránea por parte de la DGA.

(**) La napa captante se determinó de acuerdo a la tendencia de captación de los pozos ubicados en el sector con anterioridad.

(***) La profundidad de excavación fue determinada de acuerdo a la profundidad en el sector de la napa que se debería captar.

Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua,

AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

Tabla 3.4: Pozos con derechos de aguas en espera de resolución.

UTM PSAD 56		UTM Modelo		Solicitante	Q solicitado	Año de solicitud
6354488	271359	488	5692	AGUAS DE CHILE	81	25-04-1994
6354435	271116	435	5449	AGUAS DE CHILE	70	25-04-1994
6354090	269380	90	3713	EMBOTELLADORA WILLIAMSON	17	10-03-1999
6354200	269470	200	3803	EMBOTELLADORA WILLIAMSON	16	10-03-1999
6354160	269550	160	3883	EMBOTELLADORA WILLIAMSON	4	10-03-1999
6354887	270540	887	4873	EUGENIO CELEDON CARIOLA	90	09-01-1995
6354496	270712	496	5045	EUGENIO CELEDON CARIOLA	90	09-01-1995
6354798	271345	798	5678	EUGENIO CELEDON CARIOLA	90	09-01-1995
6354822	271723	822	6056	EUGENIO CELEDON CARIOLA	90	09-01-1995
6354330	270280	330	4613	INV SAN RAFAEL	4.5	03-05-1999
6354020	270540	20	4873	JULIO BERMUDEZ Y OTRO	40	02-05-1998
6355484	269185	1484	3518	LUCIO CARRASCO	3	02-12-1999
6354540	268856	540	3189	MAGGI S.A.	1.90	29-11-2005
6354894	269076	894	3409	MAGGI S.A.	0.80	29-11-2005
6354955	269106	955	3439	MAGGI S.A.	0.70	29-11-2005
6354813	269154	813	3487	MAGGI S.A.	1.10	29-11-2005
6354066	269183	66	3516	MAGGI S.A.	2.00	29-11-2005
6354870	269221	870	3554	MAGGI S.A.	0.80	29-11-2005
6354821	269571	821	3904	MAGGI S.A.	1.70	29-11-2005
6354658	269928	658	4261	MAGGI S.A.	2.00	29-11-2005
6354505	272229	505	6562	SOC AGROFORESTAL MAUCO LTDA.	20	14-09-2001
6354610	272340	610	6673	SOC AGROFORESTAL MAUCO LTDA.	20	14-09-2001

Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web)

Notas:

- Coordenadas PSAD 56.

Sistema de referencia geodésico muy utilizado en Chile que considera el posicionamiento en una zona específica de la tierra con 2 coordenadas (Sur, Este). Todas las coordenadas de los sondeos se encontraban en este sistema UTM. Por simplicidad, se transformaron las unidades de la ubicación de los sondeos a unidades del modelo MODFLOW, siendo el vértice (0,0) la coordenada (6354000, 265667) en PSAD 56.

- Napa:

NL: Napa Libre, NC: Napa Confinada, VN: Varias Napas

- Usos.

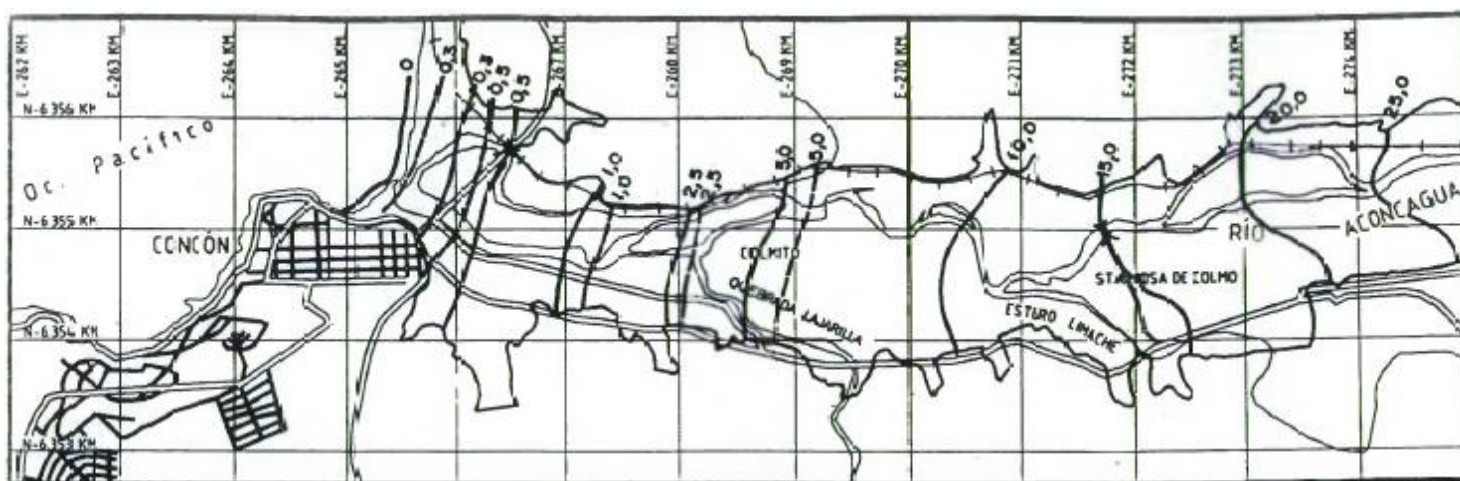
I: Industrial, P: Agua Potable, R: Riego, O: Observación.

3.5. PIEZOMETRÍA Y CURVAS ISOFREÁTICAS.

Es importante tener claridad respecto a la piezometría de los acuíferos estudiados por dos razones. La primera es entender de buena forma la manera en que se produce el movimiento del agua contenida en ellos (de sectores de mayor a sectores de menor presión). La segunda es tener condiciones iniciales adecuadas a la hora de realizar una modelación computacional y de esa manera hacer más acertadas las interpolaciones iniciales y “ayudar” al procesador a encontrar soluciones en menos tiempo.

Durante el año 1996 se realizaron mediciones de niveles estáticos en diferentes pozos del sector. Éstas se realizaron en pozos que estaban en desuso o momentáneamente fuera de operación. En el último caso se verificó que estuviesen al menos 12 horas detenidos para entregarle validez a la medición. Con los datos registrados y la cota de terreno se determinó las cotas del nivel estático. Con lo anterior se confeccionó las curvas isofreáticas interpolando los valores intermedios considerando la condición de borde impermeable del límite rocoso de los acuíferos (flujo paralelo al borde rocoso y equipotenciales perpendiculares). Los antecedentes recopilados respecto al comportamiento de los acuíferos muestran que la situación no ha cambiado en gran medida con el transcurso de los años. Por lo que resulta bastante acertado utilizar la información con la que se cuenta, situación que se muestra en FIGURA 3.12.

FIGURA 3.12: ISOYETAS Acuífero Libre y Acuífero Freático, Desembocadura del Río Aconcagua.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológica Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

3.5.1. Limnigramas.

En la zona de estudio existen una serie de pozos pertenecientes a la red de monitoreo de agua subterránea de la DGA. En la Tabla 3.5 se muestra su ubicación, cota y años de los cuales existe información del nivel piezométrico los cuales se indican con una letra “x”. Las mediciones se efectúan bimensualmente y existen períodos en que se interrumpe el monitoreo en algunos pozos. Actualmente sólo 7 pozos de control en el sector de interés cuentan con información actualizada.

Los pozos C6 y C38 monitorean el comportamiento del acuífero confinado (NC). Los pozos C39, C67, C69, C71 y C73 monitorean al acuífero libre (NL).

FIGURA 3.13: Ubicación Pozos de Observación.



Fuente: Google Earth.

Tabla 3.5: Registro de niveles históricos de pozos zona de estudio.

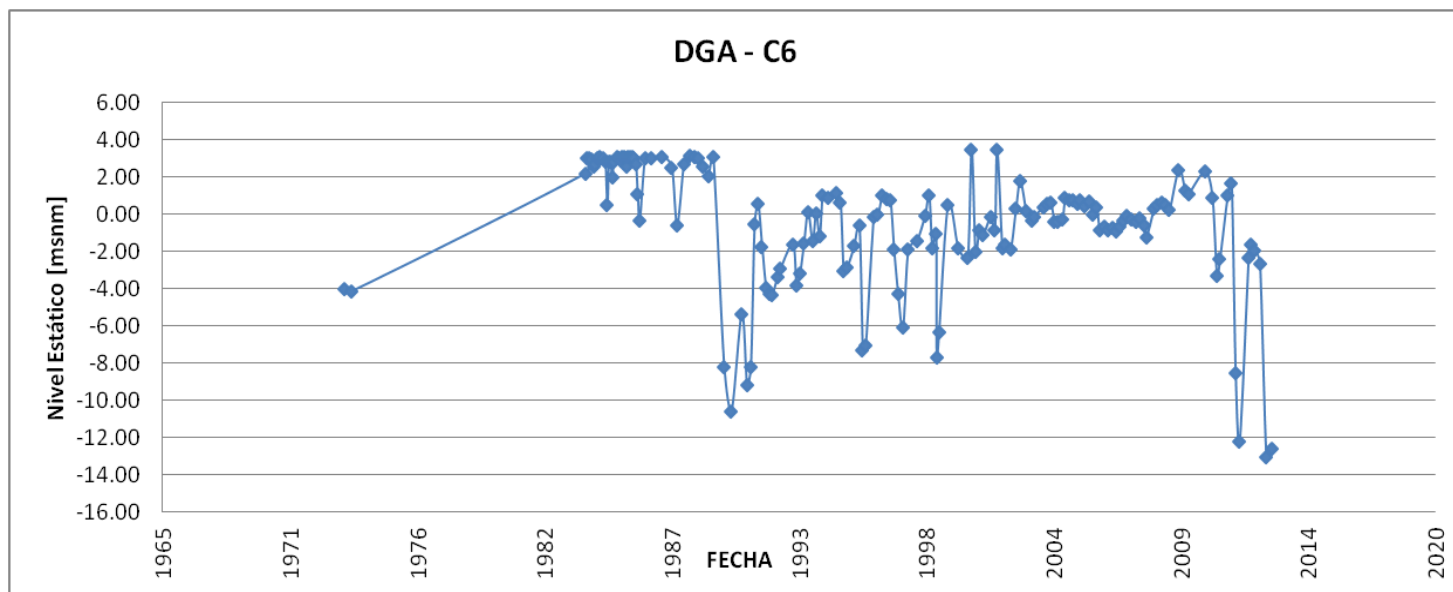
UTM PSAD 56	Cota	Napa	Dueño	Predio	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
6354890	267350	3.5	NC	DGA-C6	CONCON		x	x	x	x	x	x	x	x											
6354272	269340	8.0	NC	DGA-C38	CONCON								x	x											
6355196	269224	8.1	NL	DGA-C39	CONCON								x	x											
6355026	269852	10.8	NL	DGA-C67	LAJARILLAS								x	x										x	
6355391	270935	18.0	NL	DGA-C69	LA VICTORIA								x	x											
6354899	272350	20.5	NL	DGA-C71	LA VICTORIA	x							x	x											
6355113	273593	14.0	NL	DGA-C73	LAJARILLAS					x	x	x	x	x	x									x	x

UTM PSAD 56	Cota	Napa	Dueño	Predio	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
6354890	267350	3.5	NC	DGA-C6	CONCON																			
6354272	269340	8.0	NC	DGA-C38	CONCON																			
6355196	269224	8.1	NL	DGA-C39	CONCON																	x	x	x
6355026	269852	10.8	NL	DGA-C67	LAJARILLAS	x	x	x	x	x	x													
6355391	270935	18.0	NL	DGA-C69	LA VICTORIA						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
6354899	272350	20.5	NL	DGA-C71	LA VICTORIA																	x	x	x
6355113	273593	14.0	NL	DGA-C73	LAJARILLAS	x	x	x	x	x	x	x												

Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

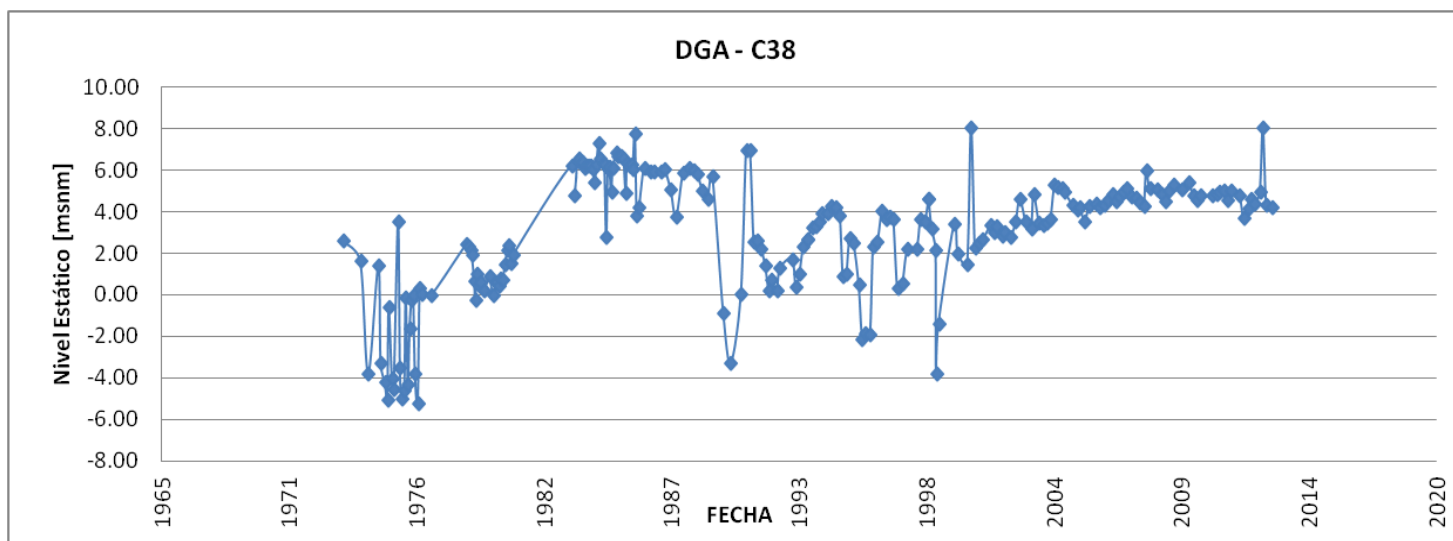
En base a la información obtenida desde la DGA se generan los diferentes Limnigramas, las respectivas tablas de datos se incluyen en el ANEXO 3.3 (niveles estáticos referidos al nivel del mar).

FIGURA 3.14: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C6 (Acuífero Confinado).



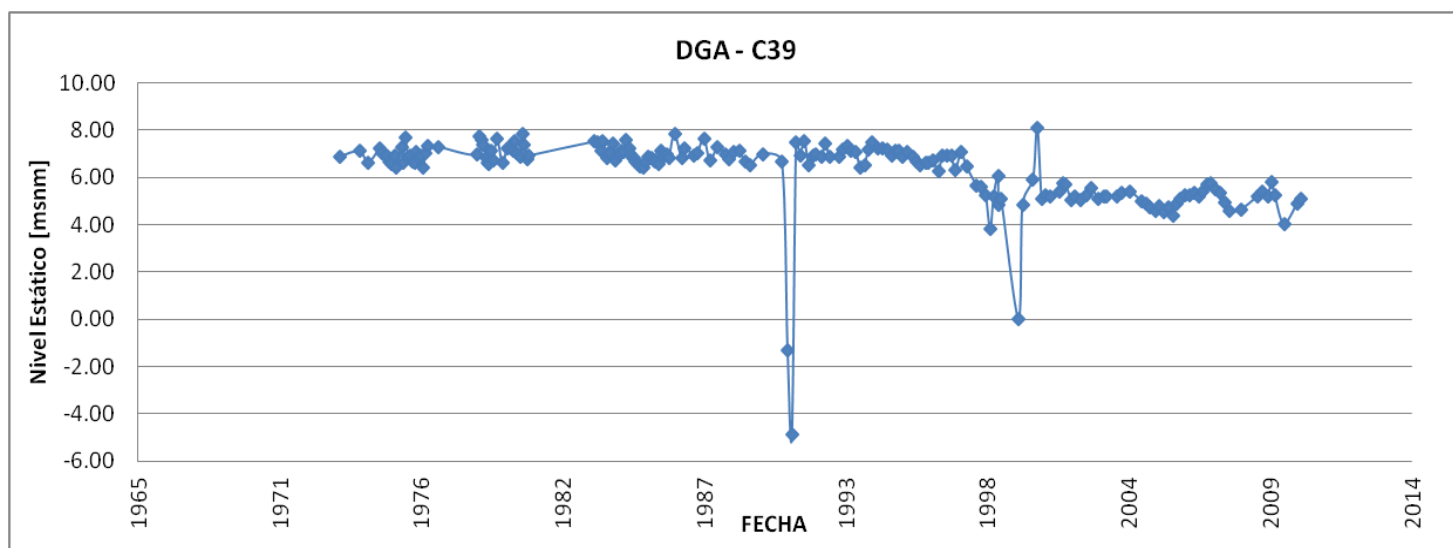
Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.15: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C38 (Acuífero Confinado).



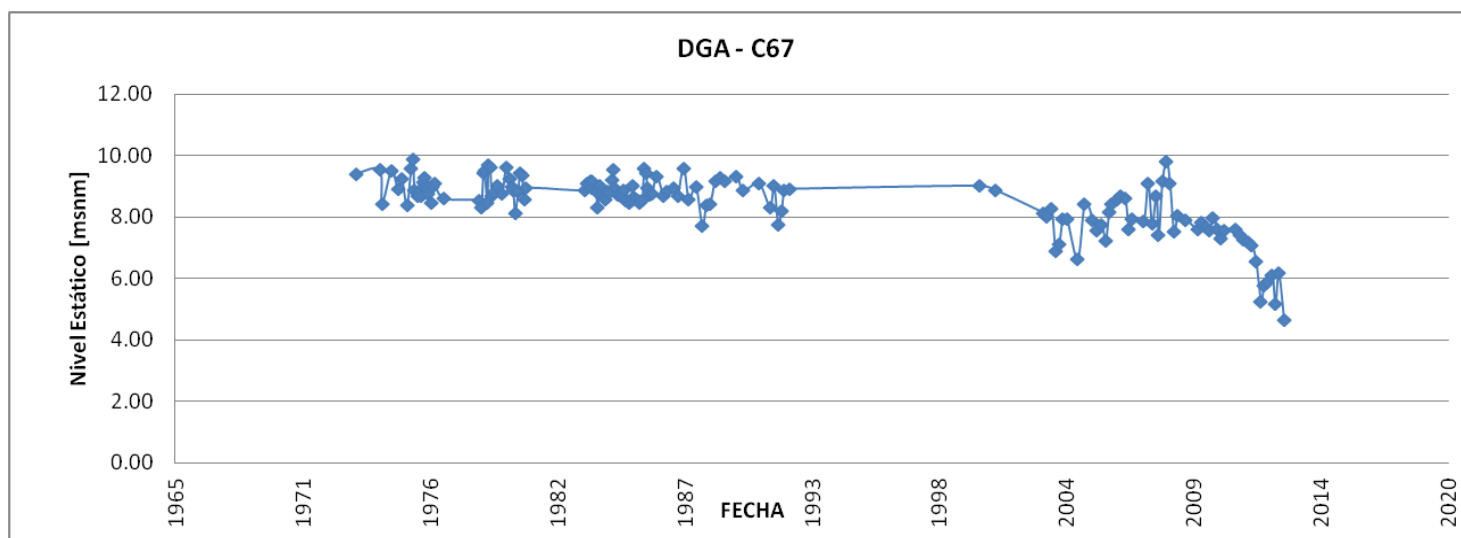
Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.16: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C39 (Acuífero Libre).



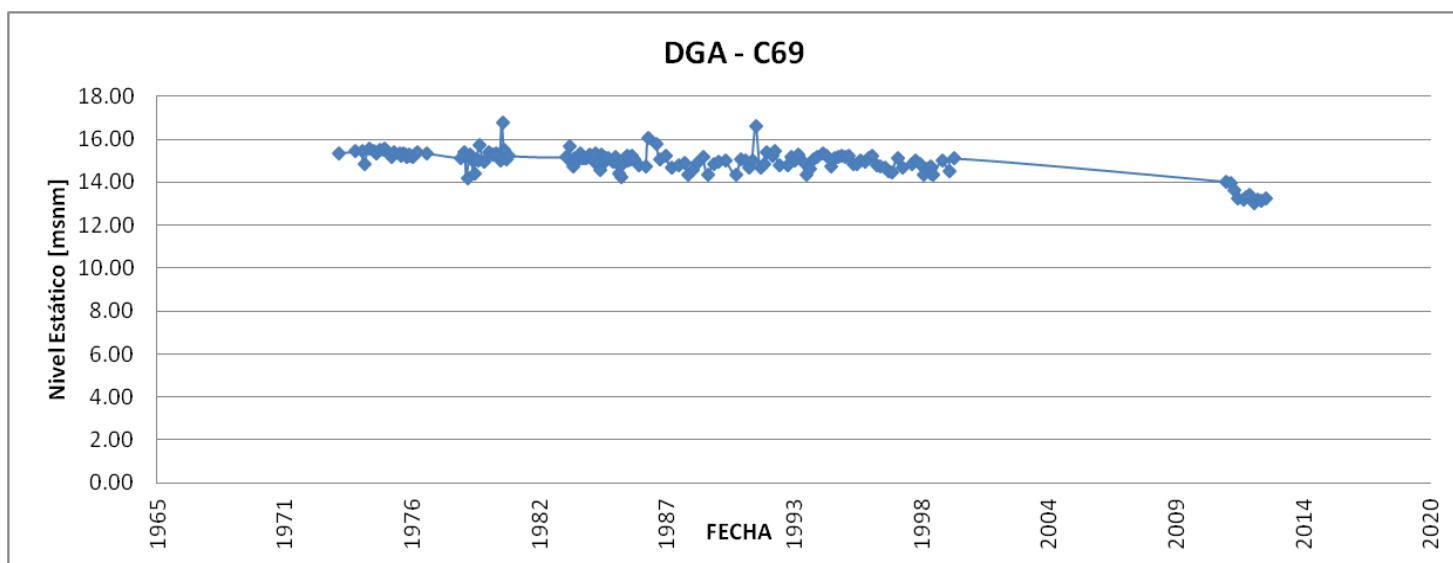
Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.17: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C67 (Acuífero Libre).



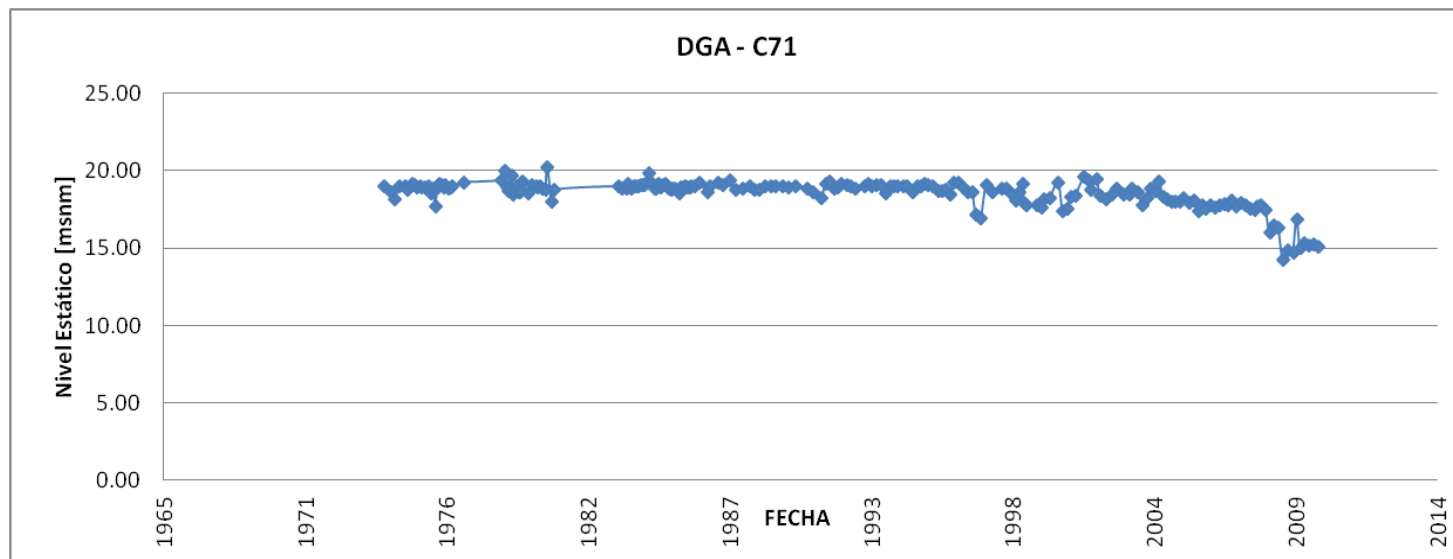
Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.18: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C69 (Acuífero Libre).

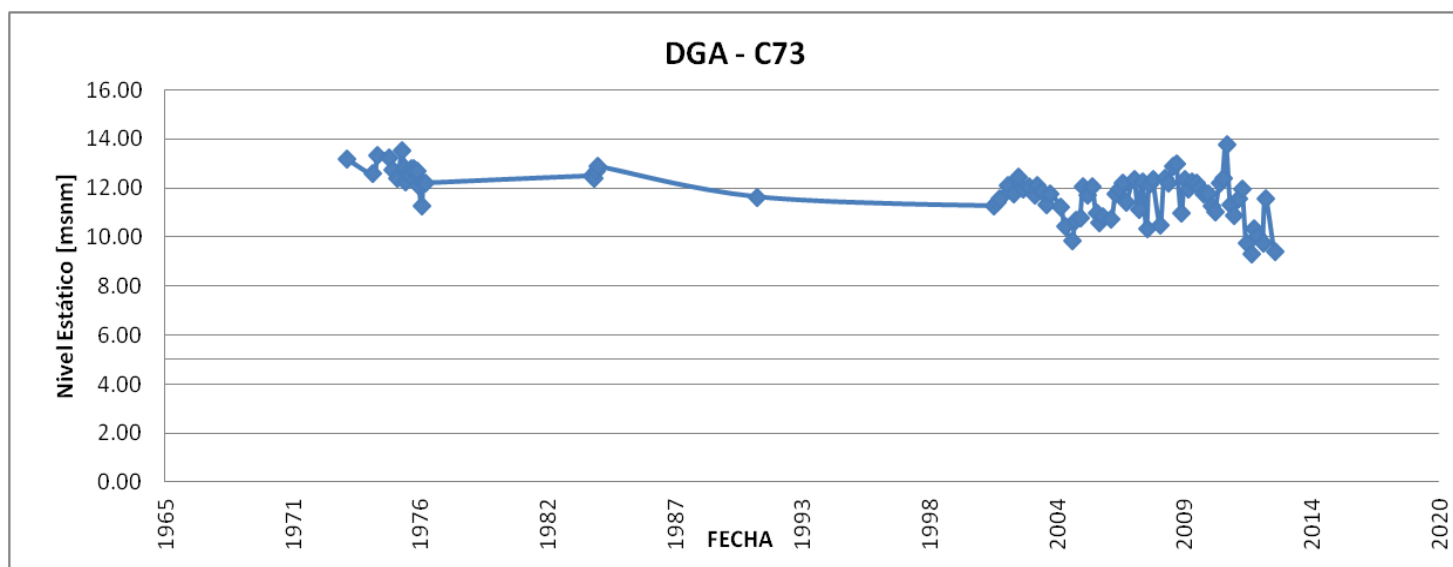


Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.19: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C71 (Acuífero Libre).



Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

FIGURA 3.20: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C73 (Acuífero Libre).

Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web).

Al analizar en el acuífero libre la variación de niveles observados, puede notarse que aguas arriba los pozos C71, C73 y C69 son bastante estables y prácticamente no sufren cambios de nivel piezométrico salvo llegando a los últimos años donde el efecto de la existencia de años secos se ve reflejado también en ellos (disminución de nivel piezométrico principalmente luego del año 2008).

Enfocándonos en los pozos C39 y C67 en la napa libre, puede notarse también un descenso en los últimos años. Para éste caso en particular puede observarse que a partir del año 1998 se refleja una disminución del nivel medio de ambos pozos (aproximadamente 1 metro) que por su estabilidad pudiera ser atribuible a años secos o a un aumento de demanda con una estrategia de captación constante. Específicamente en el caso del pozo C67, a partir del año 2008, se puede notar un descenso considerablemente mayor, atribuible a aumentos repentinos y constantes en las demandas del agua en el sector.

En el acuífero confinado, tomando en consideración lo observado en el comportamiento de los pozos C38 y C6, se notan variaciones anuales bien establecidas, que pueden ser producto principalmente de los cambios en la estrategia de explotación de pozos en el sector la cual ha sido variable con los años.

Finalmente se hace evidente que existe mayor variabilidad en el comportamiento del acuífero confinado que en el acuífero libre, principalmente debido a las estrategias de captación de los sondajes que extraen agua de él.

3.6. PARÁMETROS ELÁSTICOS.

Las constantes Elásticas se obtuvieron de manera directa del estudio realizado anteriormente por AC Ingenieros. Esto debido a que para la obtención de ellos se realizaron diversos procesos que avalan su veracidad. A continuación se describirán algunos de ellos.

El cálculo de las contantes elásticas se realizó en base a los siguientes antecedentes:

- Pruebas de bombeo de caudal variable al momento de construirse diferentes pozos, obtenidas de los respectivos planos de construcción.
- Pruebas de bombeo efectuadas en julio de 1996 por AC Ingenieros.
- Transmisibilidades estimadas en un estudio anterior realizado por la CORFO (1971) en el sector.

3.6.1. Obtención de permeabilidades en base a planos de construcción.

Para el cálculo de la permeabilidad se utilizó la ecuación de Dupuit, en función de los caudales y las depresiones registradas, efectuando la corrección de Jacob cuando correspondía a napa libre.

El acuífero superficial está bien caracterizado por la estratigrafía de los numerosos pozos de la zona, excepto en las zonas costeras donde no existe explotación de éste. Hubo que realizar estimaciones de los valores costeros considerando los existentes para zonas aguas arriba, situación que es aceptable por la poca variación de la permeabilidad que se presenta en ese sector.

Una situación similar se efectuó para el acuífero confinado en los sectores más alejados de la costa, donde existe menor información del estrato.

La permeabilidad de los estratos más profundos fue la gran incógnita dado que la mayoría de los pozos no la penetran y la información es poca. Para determinarla se tomaron en cuenta los siguientes antecedentes:

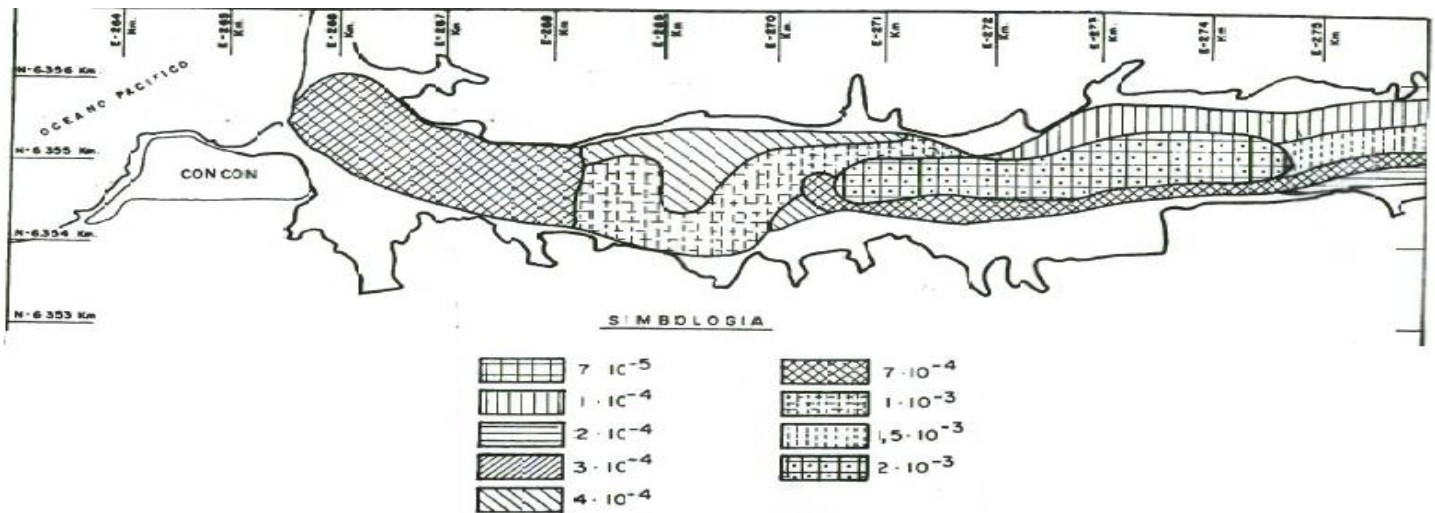
- Por la profundidad, es probable que presente un grado de consolidación mayor que los estratos superiores, lo que implicaría una menor permeabilidad.
- Procesos de sedimentación que han conformado el relleno más profundo según los resultados de los sondajes eléctricos verticales; hasta unos 100 m de profundidad no se detectan estratos arcillosos.

- Bajo los 100 m de profundidad pueden existir estratos con porcentaje de arcilla variable y con distintos grados de consolidación.

Otra incógnita fue la distribución de permeabilidades del estrato arcilloso. Los materiales arcillosos presentan generalmente permeabilidades que varían entre 10^{-6} y 10^{-10} m/s, por lo tanto los valores adoptados estarán dentro de este rango.

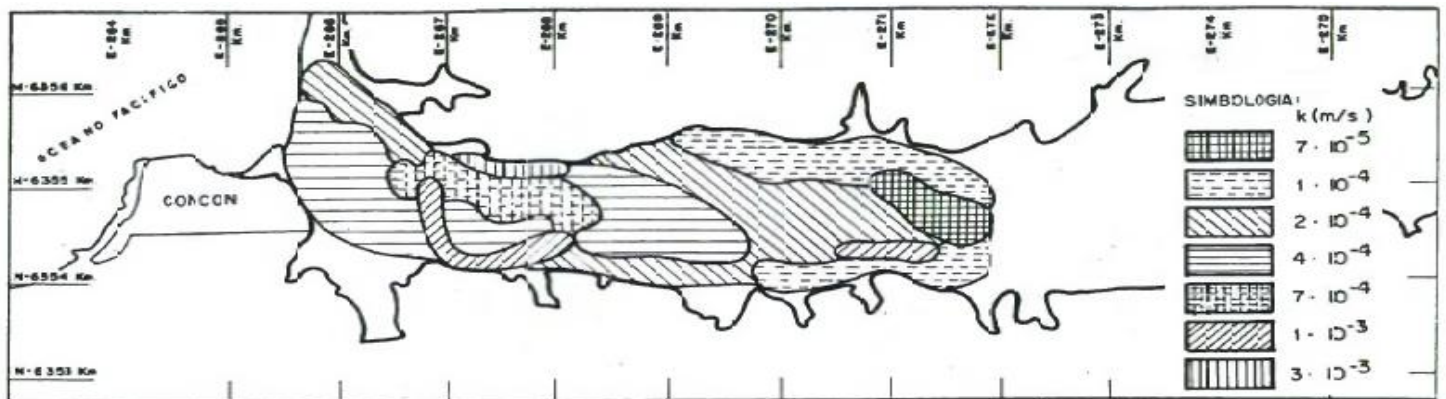
En la FIGURAS 3.21 y 3.22 se presentan las distribuciones de permeabilidad para el acuífero libre y para el confinado, situación que puede variar un poco de acuerdo al escenario de calibración que se adoptará más adelante.

FIGURA 3.21: Distribución de Permeabilidades Acuífero Libre.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC
Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

FIGURA 3.22: Distribución de Permeabilidades Acuífero Confinado.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC
Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

3.6.2. Parámetros de Almacenamiento.

Ante la falta de información se ha optado por asumir valores dentro de los rangos usuales para cada tipo de material, el valor finalmente adoptado por cada estrato se entregará en la etapa de modelación.

3.7. MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA.

3.7.1. Recarga.

La principal recarga externa al sistema subterráneo es el caudal de la napa que se incorpora desde el extremo oriente del área de estudio. El caudal pasante desde aguas arriba está directamente relacionado con el nivel de explotación de los pozos ubicados aguas abajo.

Otra fuente es la proveniente de las lluvias estacionales producidas en la zona, se presenta como un valor promedio uniforme para la zona y corresponde a 372.5 mm/año según la Dirección Meteorológica de Chile.

El río Aconcagua se encuentra en todo el sector y presenta flujo superficial permanente, incluso durante períodos secos, esto permite, condicionado además por la buena permeabilidad del acuífero libre, que se generen grandes recargas desde el río, sobre todo en escenarios de gran explotación.

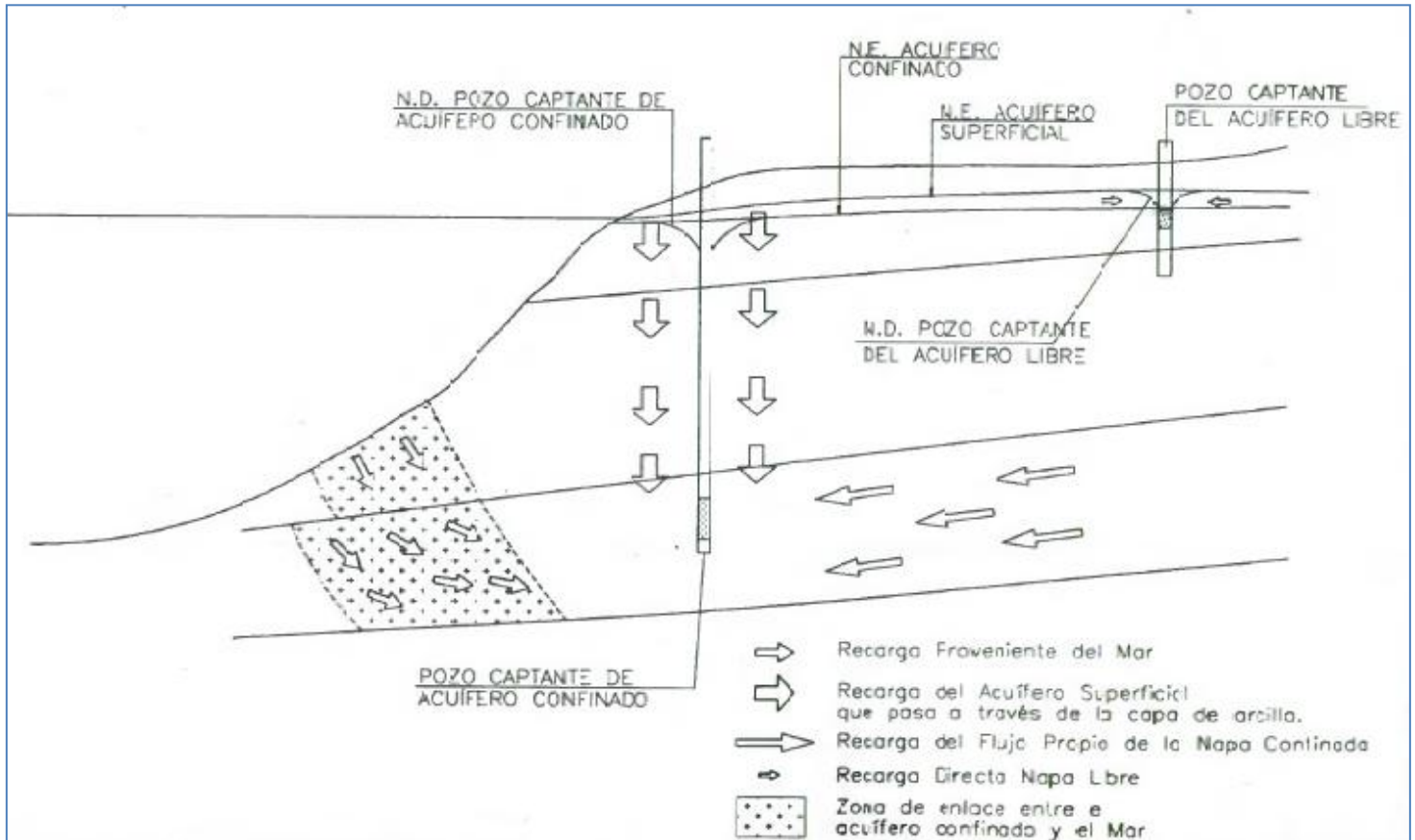
En la desembocadura, el acuífero superficial entra en contacto con el mar generando una recarga salina mezclada con agua dulce. Estudios de calidades de agua en el sector muestran que el efecto del agua proveniente del mar se hace notar hasta 500 m aguas arriba, situación que puede aumentar dependiendo de la explotación que se tenga del acuífero libre en sectores cercanos a la costa.

El principal elemento de recarga del acuífero confinado es el flujo proveniente de la napa desde aguas arriba. Si se generan explotaciones mayores puede producirse un flujo inverso, proveniente desde aguas abajo, producto de la entrada del agua proveniente del mar en el enlace con el acuífero o a través de estratos permeables. También hay una fuente de recarga proveniente de los estratos más profundos y de los estratos superiores, siendo esta última considerablemente menor y producto de explotaciones muy intensas.

Los efectos provenientes de excedentes de riego en el sector son despreciables en comparación con los otros tipos de recargas (lluvias, río, mar y flujo de estratos aguas arriba), del mismo modo también es despreciable el efecto que tiene el estero Limache.

En la FIGURA 3.23 se muestra un esquema del funcionamiento dinámico del flujo subterráneo.

FIGURA 3.23: Dinámica del Flujo Subterráneo.



Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

3.7.2. Descargas.

En forma natural, la descarga del flujo subterráneo se produce en el mar, siendo dependiente de los niveles piezométricos de los estratos, sus características elásticas y el nivel de la marea.

De forma artificial la descarga se realiza a través de sondajes y drenes, siendo explotado el acuífero confinado en las zonas cercanas al mar y el acuífero libre a una distancia a más de 2 km del mar.

4. DESCRIPCIÓN MODELO VISUAL MODFLOW.

Las ecuaciones diferenciales tridimensionales que rigen el movimiento de agua subterránea son complejas de resolver si se desea obtener una solución exacta. Para ello es que se recurre a métodos que realizan cálculos aproximados y/o aproximaciones sucesivas de rápida convergencia.

Los métodos basados en diferencias finitas son los más utilizados. En éstos, el medio continuo que se va a representar se discretiza de manera de obtener una serie de puntos en el espacio y en el tiempo. Luego las derivadas de la ecuación se reemplazan por las variaciones de las funciones evaluadas en aquellos puntos. De esta forma se obtiene un sistema simultáneo de ecuaciones lineales, cuya solución entrega valores aproximados como resultados en puntos y tiempo definidos.

MODFLOW, fue desarrollado por expertos del International Groundwater Modeling Center de Estados Unidos, siendo Visual una interfaz más cómoda para el usuario, desarrollada por el área de “Water Services” de la empresa Schlumberger Ltd. y que utiliza el código MODFLOW para resolver los problemas de comportamiento de aguas subterráneas.

4.1. RESOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES.

El modelo MODFLOW intenta resolver la ecuación que rige el movimiento de las aguas subterráneas en tres dimensiones.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial}{\partial z} \right) + \frac{\partial h}{\partial t} = F - S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Ec. 4 – 1})$$

Donde:

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} : Permeabilidad según x, y, z.

h: Nivel piezométrico.

F: Recargas o sumideros.

S_s : Almacenamiento específico del material poroso.

t: Tiempo.

Tanto el almacenamiento específico como las permeabilidades en cada uno de los ejes pueden ser funciones del espacio. Por otro lado F puede ser función del espacio y tiempo.

La ecuación antes definida, combinada con condiciones iniciales y de borde, es una expresión matemática del sistema de flujo de aguas subterráneas. La solución a esta ecuación puede ser obtenida de manera analítica, pero sólo para sistemas de poca complejidad. Para los otros casos, MODFLOW resuelve el problema utilizando la técnica de las diferencias finitas, para lo cual realiza una discretización temporal y espacial que resuelve la ecuación de flujo tridimensional.

Geométricamente el sistema acuífero es dividido en una malla de puntos llamados nodos, determinando un número de filas y columnas en sentido horizontal y capas o estratos en sentido vertical. Los nodos representan prismas de material poroso y se denominan celdas, dentro de las cuales las propiedades hidráulicas permanecen invariantes.

El tiempo es dividido en períodos de recarga durante la simulación, en ellos la acción de las fuentes externas es constante. Los períodos de recarga a su vez son divididos en intervalos de tiempo, dentro de los cuales se producen las iteraciones para resolver el sistema de ecuaciones. La duración de cada período de recarga es especificada por el usuario.

Cada uno de los estratos puede modelarse como confinado, libre o combinación de ambos. Pueden simularse también flujos asociados a fuentes externas (pozos, recargas, drenes, etc.). Para cada una de estas fuentes externas es planteada la ecuación de flujo, luego el sistema de ecuaciones obtenido, es resuelto para determinar la altura piezométrica de cada celda al final de cada intervalo.

El programa además realiza un balance de masas, siendo un contador volumétrico de todas las ganancias y pérdidas además del volumen acumulado, para cada intervalo de tiempo, en todo el modelo o en sectores específicos. Éste balance puede utilizarse para verificar el sistema acuífero mediante la revisión de la exactitud numérica de la solución y para asignar caudales en porciones discretas del acuífero.

4.1.1. Modelo Matemático.

La suma de todos los flujos que entran y salen de un volumen de control determinado debe ser igual a la tasa de cambio del almacenamiento en dicho volumen. Lo

anterior es lo que pretende describir la ecuación de continuidad aplicada al problema del flujo subterráneo.

Suponiendo que la densidad del agua subterránea es constante, se puede expresar la ecuación de continuidad, la que representa el volumen de agua almacenado en un intervalo de tiempo, debido a un incremento en la altura piezométrica, de la siguiente forma:

$$\text{---} \quad \text{(Ec. 4 - 2)}$$

Donde:

q_i : Caudal que ingresa a la celda.

S_s : Coeficiente de almacenamiento específico, correspondiente a la razón entre el volumen de agua que se puede introducir a una unidad del volumen de material acuífero y la variación en la altura piezométrica que origina.

Δh : Cambio en la altura piezométrica en un intervalo de tiempo Δt .

Δt : Intervalo de tiempo.

ΔV : Volumen de la celda.

En el modelo matemático cada celda es identificada a través de las coordenadas (i, j, k), es decir, fila, columna y estrato.

En la FIGURA 4.1 se indica la celda (i, j, k) y las seis celdas adyacentes que intercambian flujo con ella. En la FIGURA 4.2 se muestra el flujo que ocurre entre las celdas (i, j-1, k) e (i, j, k).

Las celdas que intercambian flujo con la celda (i, j, k) son: (i-1, j, k); (i+1, j, k); (i, j-1, k); (i, j+1, k); (i, j, k-1); (i, j, k+1). El flujo paralelo a las filas, desde la celda (i, j-1, k) hacia la celda (i, j, k) en el tiempo m, se expresa de la siguiente forma:

$$\text{---} \quad \text{(Ec. 4 - 3)}$$

$$\text{---} \quad \text{(Ec. 4 - 4)}$$

Donde,

$q_{i,j-1/2,k}$: Caudal descargado a través de la cara común entre las celdas (i, j, k) e $(i, j-1, k)$.

$CR_{i,j-1/2,k}$: Conductancia según eje Y entre la celda (i, j, k) y la $(i, j-1, k)$.

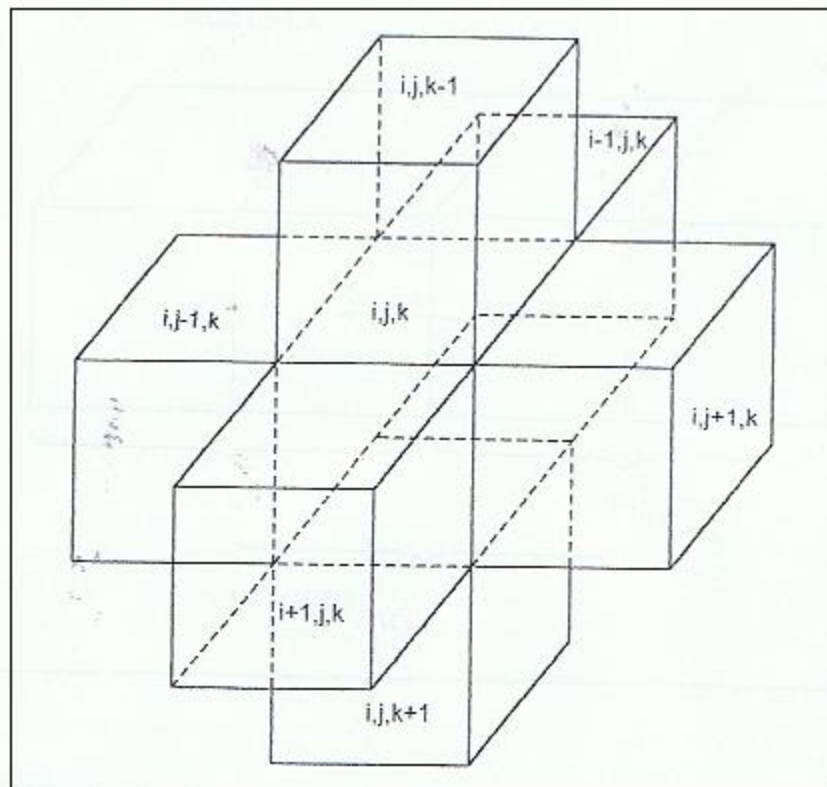
$KR_{i,j-1/2,k}$: Conductividad hidráulica en dirección de las filas, entre los nodos mencionados.

$\Delta r_{j-1/2}$: Distancia entre ambos nodos en eje y.

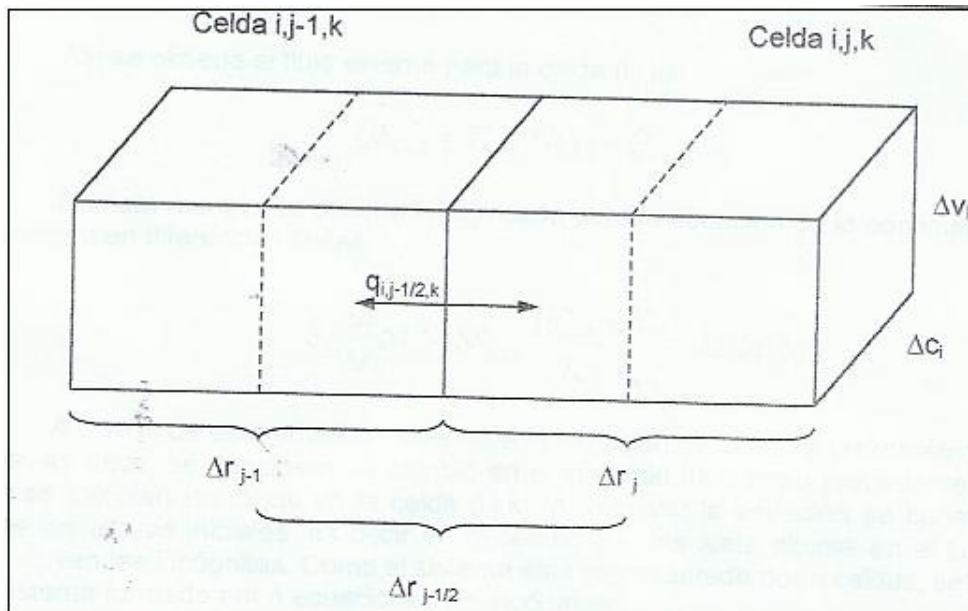
Δx_i : Dimensión según x de la celda.

Δz_i : Dimensión según z de la celda.

FIGURA 4.1: Celda (i,j,k) y sus seis celdas adyacentes.



Fuente: Memoria de título, Calibración conjunta de modelos integrados de hidrología superficial y subterránea, Ana Paulina Cortés Báez, Noviembre de 2002.

FIGURA 4.2: Flujo entre celdas.

Fuente: Memoria de título, Calibración conjunta de modelos integrados de hidrología superficial y subterránea, Ana Paulina Cortés Báez, Noviembre de 2002.

De la misma manera se tienen expresiones similares que describen el flujo que intercambia la celda con las cinco caras restantes, variando la dirección de éste.

Además de los flujos existentes entre la celda estudiada y las seis adyacentes, se presentan flujos externos que dependen de la altura piezométrica de la misma celda, de la altura piezométrica exterior, o bien son independientes de estas variables (bombeo, recargas, etc).

Los flujos mencionados anteriormente se pueden expresar como:

(Ec. 4 – 5)

Donde,

$a_{i,j,k}$: Flujo debido a la fuente externa n-ésima en la celda.

$p_{i,j,k}$; $q_{i,j,k}$: Constantes de unidades.

Si se tienen N fuentes externas, el efecto combinado que se produce se puede expresar como:

(Ec. 4 – 6)

Siendo además:

(Ec. 4 – 7)

Se obtiene finalmente que el flujo externo para la celda (i, j, k) está determinado por:

(Ec. 4 – 8)

De esta forma se obtiene la expresión para la ecuación de continuidad que se plantea en diferencias finitas.

— (Ec. 4 – 9)

A través de esta ecuación se evalúa la variación de la altura piezométrica hacia atrás, es decir, se considera su cambio en el intervalo de tiempo precedente para el cual se calculan los flujos en la celda (i, j, k). Al resolver la ecuación se tienen como datos las alturas iniciales, es decir en el tiempo t_{m-1} , las siete alturas en el tiempo t_m constituyen las incógnitas. Como el sistema está representado por n celdas, se obtiene un sistema formado por n ecuaciones y n incógnitas.

4.1.2. Estructura Global Visual MODFLOW.

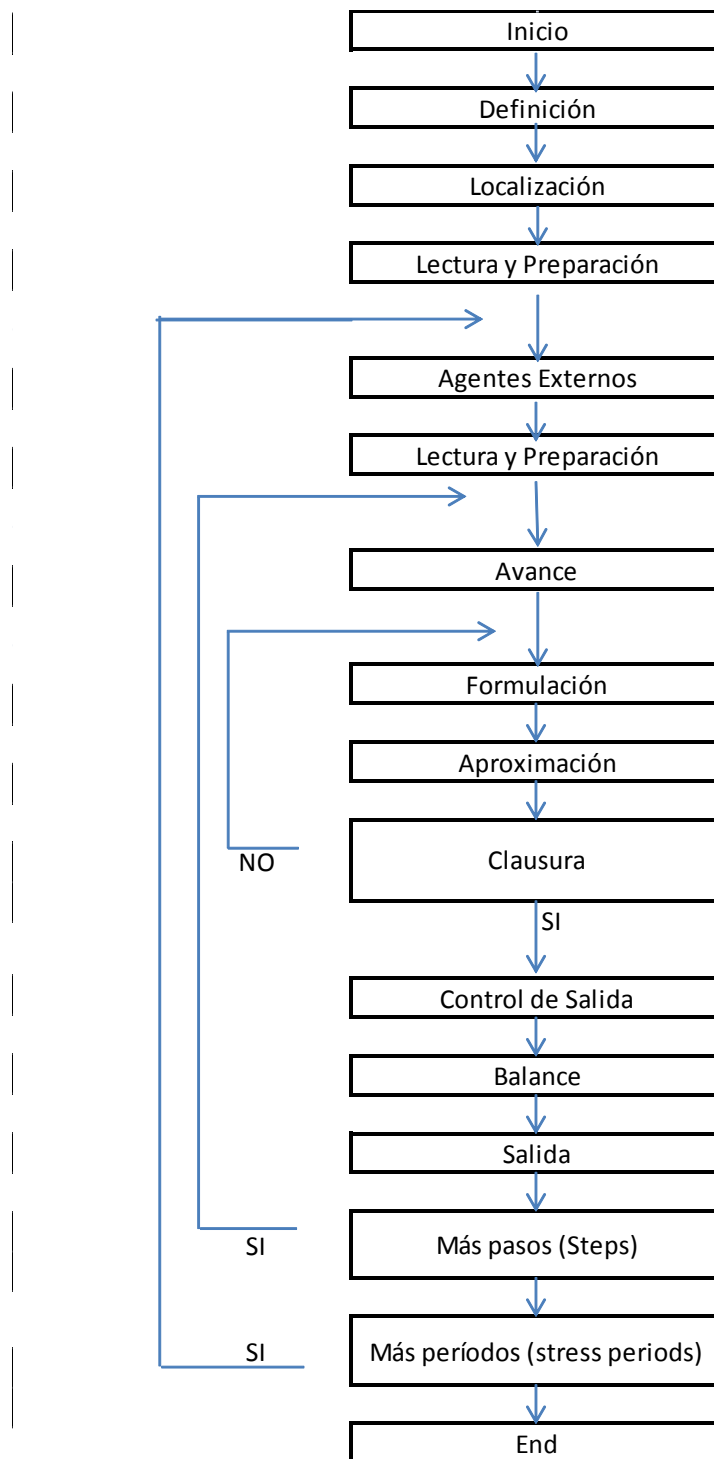
MODFLOW originalmente está constituido por un programa principal (Main) y un grupo de subrutinas (modules). Cada subrutina se agrupa en paquetes (packages) y procedimientos (procedures).

El tiempo de simulación se divide en una serie de períodos (Stress Periods), dentro de los cuales los parámetros asociados a componentes del flujo, externos al acuífero (Stress Parameters) permanecen constantes.

Cada uno de esos períodos, a su vez, se divide en una serie de pasos o intervalos de tiempo (Time Steps). El sistema de ecuaciones de diferencias finitas es formulado y resuelto para obtener los niveles en cada nodo al final de cada paso.

Las funciones y procedimientos que se realizan en una simulación típica se presentan en la FIGURA 4.3.

FIGURA 4.3: Esquema de Simulación VM.



Fuente: Memoria de título, Calibración conjunta de modelos integrados de hidrología superficial y subterránea, Ana Paulina Cortés Báez, Noviembre de 2002.

Cada celda de la FIGURA 4.3 corresponde a un procedimiento. Inicialmente, en el procedimiento de definición (Define Procedure) se define el problema, a través de las dimensiones de la malla, si el flujo será permanente o impermanente, el número de períodos en que se divide el tiempo de simulación (Stress Periods), las opciones hidrológicas y el esquema de solución escogido. En el procedimiento de localización (Allocate Procedure), se escoge una cierta ubicación en la memoria, la cual se prepara para recepcionar la información requerida. En el procedimiento de lectura y preparación (Read and Prepare Procedure), se leen todos aquellos datos independientes del tiempo tales como condiciones de borde, condiciones iniciales, coeficientes de permeabilidad o de transmisibilidad y de almacenamiento, elevación del límite inferior de la napa (caso de napa libre) y parámetros específicos del esquema de solución elegido. En este procedimiento se realizan además algunos cálculos preliminares para preparar los datos que se usarán en etapas posteriores.

Dentro del primer ciclo (Strees Period Loop), el procedimiento de agentes externos (Stress Procedure), realiza la lectura del número de pasos (Time Steps) y la información que se requiere para calcular su duración. En el segundo procedimiento, lectura y preparación (Read and Prepare Procedure), todos aquellos datos específicos de cada período de tiempo (Stress Period), como caudales de extracción desde pozos, recarga superficial, etc., son leídos y procesados.

Al entrar al segundo ciclo (Time Step Loop), el procedimiento de avance (Advance Procedure) calcula la duración de los pasos e inicializa los niveles para el comienzo del paso. En el tercer ciclo (Iteration Loop), el procedimiento de formulación (Formulate Procedure) calcula las conductancias y coeficientes que aparecen en la (Ec. – 4.8 y Ec. – 4.9). El procedimiento de aproximación (Approximate Procedure) obtiene la aproximación de la solución al sistema de ecuaciones diferenciales finitas. Las iteraciones prosiguen hasta que se verifique el criterio de clausura (Close) o se realice un número máximo de iteraciones previamente especificado.

El procedimiento de control de salida (Output Control Procedure) determina la disposición de los términos calculados; entre ellos se cuentan los niveles, los términos del balance hídrico y los flujos individuales de cada celda.

El procedimiento de balance (Budget Procedure) calcula los términos del balance hídrico y graba o imprime los flujos individuales de cada celda.

El procedimiento de salida (Output Procedure) graba o imprime los niveles, los valores del balance hídrico y las depresiones de la napa.

El trabajo efectuado por los procedimientos, es realizado por subrutinas individuales o módulos, llamados desde el programa principal (Main Program). El programa principal va llamando a los distintos módulos, de acuerdo a una cierta secuencia, para que estos vayan realizando la simulación.

Los módulos que inician y organizan una simulación están incluidos en los paquetes básicos. Estos manejan las tareas administrativas, como: División de espacio y tiempo, definición de condiciones iniciales y de borde, establecimiento de las opciones que se usarán en la simulación, cálculo de balance volumétrico y control de salida de los resultados. Este paquete no se considera una opción, por lo que siempre se leerá su archivo de entrada, independientemente del resto de los paquetes que se seleccione.

A continuación se detallarán ciertos paquetes utilizados en la simulación:

- Paquete Flujo Centrado en el Bloque (BCF)

Aquí se reúnen variables que controlan los flujos entre celdas y los términos de almacenamiento del modelo.

- Paquete Pozos (WELL)

En este paquete se simula el efecto de los pozos. Los pozos son considerados en la celda en que existan y en cada una de ellas se incluye un término de la ecuación de diferencias finitas.

- Paquete Recarga Superficial (RCH)

En este paquete se simulan las recargas superficiales, las que pueden ser debido a precipitaciones, exceso de riego, etc.

- Paquete Ríos (RIVER)

Aquí se simulan los ríos existentes en el modelo, los que pueden actuar como recarga o descarga del acuífero dependiendo de la diferencia de nivel entre el río y la napa.

- Paquete Drenes (DRAIN)

En este paquete se modela el efecto que produce la presencia de drenes en el sistema, siendo el caudal proporcional a la diferencia de nivel entre dren y napa.

- Paquete Evapotranspiración (EVT)

Aquí se simula la evapotranspiración, fenómeno por el cual el agua pasa de estado líquido a gaseoso. Las fuentes de agua corresponden a las primeras capas saturadas del suelo y a la que es extraída por las raíces de las plantas.

- Paquete Condiciones de Borde Constante (CHD)

En este paquete se representa la existencia de fuentes de agua externas constantes al sistema. Actúa como una fuente infinita de recarga o descarga.

- Paquete Condiciones de Borde Generalizadas (GHB)

En este paquete se representa la existencia de fuentes de agua externas, principalmente, al sistema. El flujo aportante corresponde a la diferencia de nivel entre la fuente en cuestión y la napa.

- Paquete Corriente y Ruteo de Flujo (STR)

En este paquete se simula la cantidad de flujo en movimiento (río) y la interacción entre la corriente y la napa subterránea.

- Paquete Control de Salida (OC)

En este paquete se controla la salida de la información, lo que el usuario desea que se imprima así como su formato.

- Paquete de Ejecución de Modelo de Waterloo Hydrogeological Software (WHS)

Método de ejecución por defecto en Visual Modflow, es más rápido, y tiene una convergencia mucho más suave que otros métodos disponibles (Método Implícito Acelerado, Método Sobrerrelajaciones Sucesivas, etc). El método WHS se basa en la bi-conjugada estabilizada del gradiente (Bi-CGSTAB, Bi-Conjugate Gradient Stabilized), la cual es una rutina de aceleración de las condiciones límites en las ecuaciones de flujo del agua subterránea. Este método de solución es iterativo, y aproxima el gran arreglo de ecuaciones diferenciales parciales a través de una solución aproximada. El método además preconditiona la ecuación matricial para dar una solución más eficiente.

Este método contempla 2 niveles de factorización. Los diferentes niveles de factorización permiten a las matrices ser inicializadas diferentemente para incrementar la eficiencia y estabilidad de la solución del modelo. Un nivel 1, donde se requieren menos iteraciones, pero mayor memoria del ordenador y otro 0, donde es necesaria menos memoria, pero se realiza mayor número de iteraciones. Este procedimiento trabaja con una aproximación de dos filas, para dar la solución en un menor tiempo. Esta aproximación se realiza mediante iteraciones externas e internas. En las primeras, los parámetros hidrogeológicos del sistema son actualizados (transmisividad, espesor saturado, almacenamientos) en un arreglo factorizado de matrices. Las iteraciones internas dan solución iterativa a las matrices creadas en las iteraciones externas. Los parámetros utilizados por este sistema son mostrados en la FIGURA 4.4 a continuación (Guiguer, N. y Franz, T., 1996).

FIGURA 4.4: Parámetros utilizados método iterativo WHS.

Max. outer iterations (MXITER)	100
Max. inner iterations (ITER1)	100
Head change criterion (HCLOSE)	0.01
Residual criterion (RCLOSE)	0.01
Damping factor (DAMP)	0.8
Relative residual criterion (RSCRIT)	0
Factorization level	
<input checked="" type="radio"/> Level 0	<input type="radio"/> Level 1

Fuente: Visual Modflow 2010.1

5. MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO.

Luego de haber recopilado la mayor cantidad de información sobre las características de la zona acuífera de la desembocadura del río Aconcagua, se procedió a desarrollar un modelo computacional del comportamiento del sistema acuífero. Con él se pueden estudiar diversas situaciones en la explotación de los recursos subterráneos y determinar balances entre los flujos que intervienen.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se utilizó el software Visual MODFLOW siendo su versión la 2010.1.

El modelo VM (Visual MODFLOW) permite al usuario representar prácticamente cualquier tipo de sistema acuífero, tomando en consideración tanto los aspectos básicos, así como la influencia de diferentes factores externos. El modelo considera principalmente los límites espaciales del acuífero, su naturaleza y características propias como condiciones de borde, recargas, conexión con aguas superficiales, etc.

5.1. ASPECTOS GENERALES DE LA MODELACIÓN.

5.1.1. Límites de la Zona Modelada.

La zona considerada en la modelación fue descrita en el Capítulo 3 y considera desde la desembocadura del río Aconcagua en el Océano Pacífico hasta un poco más de 9 km hacia aguas arriba (ver FIGURAS 3.1 y 3.2, pág. 3 - 2 / 3 - 3). Dentro de esta zona es dónde ESVAL tiene derechos de explotación de aguas subterráneas y por ello fue escogida.

5.1.2. Funcionamiento general del sistema.

De acuerdo a los antecedentes descritos en capítulos anteriores, en la zona se tienen 3 sectores estratigráficamente bien definidos (Ver FIGURA 3.8, pág 3 – 15). Un estrato superficial ligado al flujo del río Aconcagua (napa libre). Bajo este se encuentra una cuña arcillosa que genera confinamiento de un estrato permeable bajo ésta.

Aproximadamente la separación de estratos desaparece a la altura de Puente Colmo, funcionando desde ese sector hacia aguas arriba como un único estrato con características de una napa libre.

El acuífero libre se une con el mar de manera directa, pero la forma en que se enlazan los estratos inferiores se desconoce.

Las reglas de explotación históricas del sistema se desconocen con exactitud, por lo que su evolución temporal debió ser condicionada a través de un proceso de calibración en régimen impermanente.

El sistema modelado presenta muchas variables y los únicos datos disponibles para ser utilizados como base en el ajuste de parámetros, son los limnigramas de pozos y los registros de la explotación de pozos de ESVAL desde el año 2007 en adelante. Por lo anterior, se enfocó la modelación a un nivel global, tratando de describir tendencias.

Funcionalmente se consideró que el acuífero superficial en todo el trayecto se encuentra ligado al flujo del río, lo que determina la estabilidad de su nivel freático.

Se consideró además que los acuíferos bajo la capa arcillosa obtienen su principal recarga desde aguas arriba, donde se unifican los estratos. Aguas abajo aunque se desconoce, se presume algún tipo de conexión.

La variable externa que más influye en la variación temporal y espacial del sistema son los bombeos, dada su condición de desequilibrio dinámico.

Aunque la existencia del flujo superficial en el río Aconcagua es determinante en la estabilidad temporal de los niveles de agua del acuífero libre, el caudal es poco influyente en la variación de los niveles. Debido a que la napa fluye al límite de su capacidad la mayor parte del tiempo.

Las recargas provenientes de los excedentes de riego, así como los aportes de los cursos laterales (estero Limache) son despreciables frente al efecto estabilizador del río Aconcagua. Sin embargo, se considerarán los efectos de la recarga anual producto de la lluvia y el efecto de la Evapotranspiración en el sector.

5.1.3. Discretización Espacial y Temporal.

5.1.3.1. Discretización en planta.

La zona modelada se extiende entre los siguientes límites, expresados en coordenadas UTM PSAD 56:

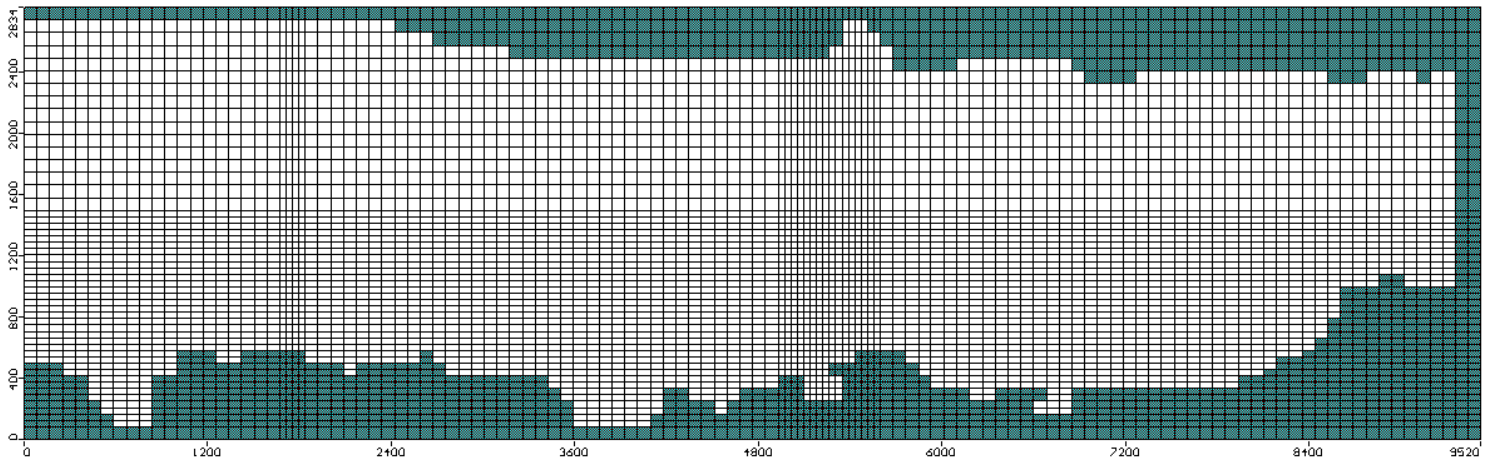
Límite Norte	:	UTM – Norte,	6.356.834
Límite Sur	:	UTM – Norte,	6.354.000

Límite Oeste : UTM – Este, 265.667

Límite Este : UTM – Este, 275.187

El número definido de columnas (sentido oeste – este) es de 124 y el número de filas (sentido sur – norte) es de 51, lo que entrega un total de 6324 celdas en planta de dimensiones 83x83 [m]. En la FIGURA 5.1 se muestra el reticulado de la malla. En los sectores donde se presentaba mayor cercanía entre pozos (al momento de ejecutar el modelo) se procedió a generar una malla más fina, para disminuir en alguna medida la influencia entre pozos y ser más cautos en el análisis de sus comportamientos.

**FIGURA 5.1: Reticulado malla de diferencias finitas del modelo.
(COORDENADA UTM MODELO (0,0) = COORDENADA UTM (6354000, 265667)
PSAD56).**



5.1.3.2. Discretización en vertical.

Como se dijo anteriormente se definieron 4 estratos para discretizar la variación vertical del sistema acuífero. Esta sectorización resulta efectiva desde puente colmo hacia la costa. Aguas arriba el sistema se considera uniforme verticalmente.

Para poder realizar esta unificación en MODFLOW se debe mantener la separación de capas, pero se le asignan las mismas propiedades elásticas.

En la zona diferenciada la capa N°1 corresponde al acuífero superficial, la N°2 a la cuña arcillosa, la N°3 al acuífero confinado y la N°4 a la zona más profunda muy desconocida en cuanto a propiedades elásticas.

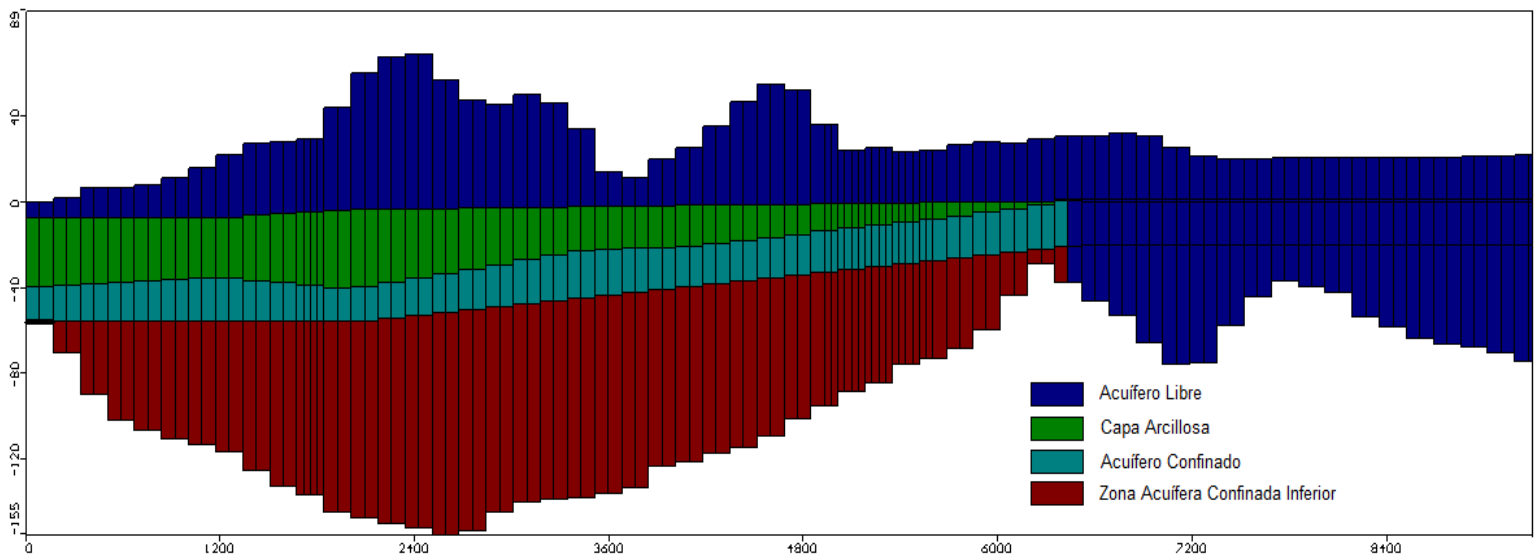
La forma de las capas y su representación espacial se definió en función de los resultados mostrados de la FIGURAS 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11. Como puede notarse en ellas, la altura (profundidad) de cada capa en el eje Norte – Sur es más o menos uniforme, por lo que se consideró constante. En el eje Oeste – Este se utilizó el perfil de la FIGURA 3.8, del cual se obtuvieron ecuaciones de rectas y se determinó la profundidad de las capas.

La profundidad del basamento rocoso se obtuvo mediante las curvas de nivel de la FIGURA 3.5 y la Topografía mediante el Software Global Mapper como se ha mencionado anteriormente.

La información altimétrica de cada una de las capas se procesó mediante el software SURFER. Con ese programa se generaron archivos de formato *.grd, los que fueron importados desde Visual MODFLOW para definir la forma de cada estrato. La información procesada en SURFER se encuentra en el ANEXO 5.1.

En las FIGURAS 5.2 y 5.3 se muestran 2 vistas en corte del modelo (longitudinal y transversal).

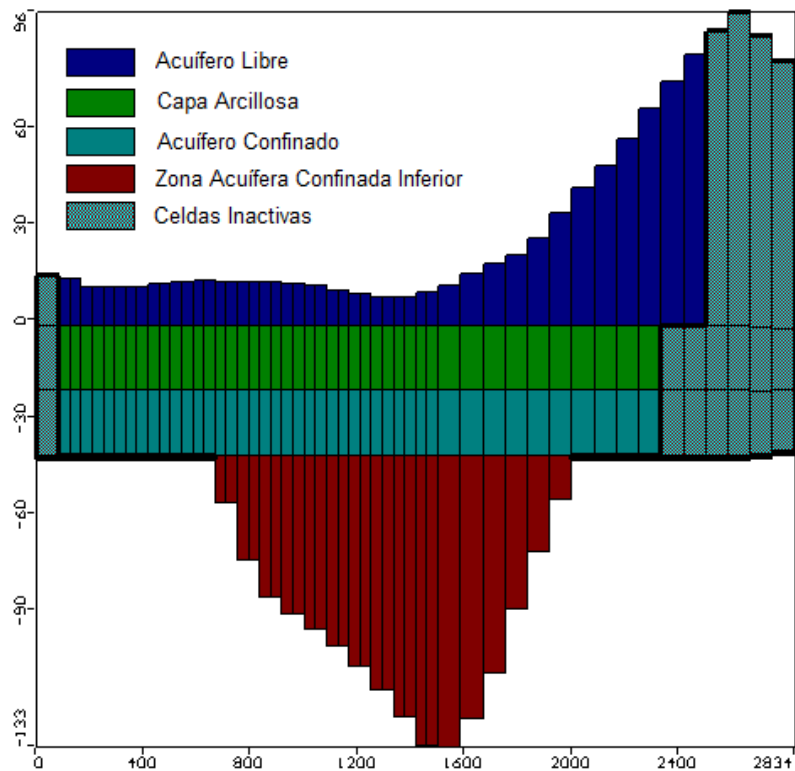
**FIGURA 5.2: Corte Longitudinal Modelo Acuífero
Desembocadura Río Aconcagua.
(FILA 16: COORDENADA UTM MODELO 1542 [m] NORTE).**



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Nota: El límite superior del acuífero libre de la FIGURA 5.2, corresponde al perfil topográfico de la superficie del terreno.

FIGURA 5.3: Corte Transversal Modelo Acuífero
Desembocadura Río Aconcagua.
(COL. 48: COORDENADA UTM MODELO 3799.6 [m] ESTE).



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Nota: El límite superior del acuífero libre de la FIGURA 5.3, corresponde al perfil topográfico de la superficie del terreno.

5.1.3.3. Discretización Temporal.

Se escogió el periodo entre el 10 de julio de 1973 y el 28 de mayo de 2013. Se hizo de esta forma para tener un período de calibración de aproximadamente 40 años.

Entre los años 1973 y 1996 se había ejecutado la calibración del modelo anterior, en ella se consideró que la discretización temporal estaba determinada por las reglas de bombeo de los pozos. Al buscar establecer tendencias y comportamientos promedios (ante la falta de información) el intervalo establecido fue de 1 año. La situación anterior se repitió entre los años 1996 y 2013, a excepción de los pozos de ESVAL ya que de ellos se contaba con algún tipo de información más específico.

5.2. MODELACIÓN MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA.

5.2.1. Recargas.

La napa superficial, cuyo flujo está ligado al escurrimiento del río Aconcagua, la mayor parte del tiempo fluye a plena capacidad, por lo que no recibe aportes importantes de recarga. Por otro lado, al producirse una explotación intensa del acuífero, la buena permeabilidad de éste permite una recarga directa desde el río Aconcagua. En la 4ta sección del río, éste siempre presenta flujo superficial, por lo que es capaz de sustentar cualquier tipo de explotación dentro de la capacidad de conducción del acuífero.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace evidente que la presencia del río es indispensable para el funcionamiento del sistema, por lo que, se decidió modelar como una condición de borde de tipo STREAM representativa de una situación media como se describirá más adelante.

Otra fuente de recarga es la proveniente de las lluvias estacionales en la zona, la cual se analizará más adelante para determinar su influencia en la modelación. Por otro lado no se tomará en cuenta el efecto de recarga proveniente de cauces secundarios, como el estero Limache, o recargas por riego, despreciables también ante el efecto del río.

5.2.2. Descargas.

La principal descarga es la que se produce naturalmente de los acuíferos al mar. Esto se simula con una condición de borde de nivel constante. Otra descarga es la que se produce en algunos tramos entre la napa libre y el río. Se simula también con celdas tipo STREAM. Se tomarán en cuenta descargas por evapotranspiración, para ello se generarán y compararán una serie de escenarios que permitan determinar de qué manera debe ser considerada.

La descarga artificial la constituye el bombeo de pozos. Hasta el año 1996 se incluyen las explotaciones históricas relevantes, es decir, los bombeos efectuados por ESVAL, ENAMI y RPC, cuyas reglas de explotación habían sido definidas con anterioridad por AC Ingenieros (Tablas 5.1, 5.2). Además en la FIGURA 5.4 se muestra la ubicación de cada uno de los pozos considerados.

Entre los años 1996 y 2013, además de ajustar el comportamiento de los pozos que ya se encontraban en funcionamiento, se incluyeron los pozos que hubieran adquirido

derechos sobre aguas subterráneas en el período. Luego se modificó su explotación a un valor bajo el caudal total concedido por la DGA. Lo anterior de manera intuitiva y probando varias opciones, tratando de conseguir el mejor comportamiento posible del sistema, acorde a la información recopilada de la DGA sobre el comportamiento de los acuíferos mediante los pozos de observación.

En el año 1997 se construyó un Dren en la altura de Puente Colmo, para que captara agua desde el acuífero freático para las demandas de ESVAL. En su momento, realizando las respectivas pruebas de bombeo (MAIN Consultores Ltda., 1997), se determinó que su Transmisibilidad Global en promedio correspondía al valor de $9.513 \text{ m}^2/\text{día}$, llegando a captar 415 l/s en algunos períodos. La profundidad del Dren es entre 7 y 8 m bajo el nivel de terreno, su longitud es de 300 m de tubería de cemento comprimido y 0.8 m de diámetro.

Al ser variable la captación del Dren, se estableció una regla de explotación en el sector, donde se consideraba la transmisibilidad igual a $9.513 \text{ m}^2/\text{día}$ en los momentos en donde se captaba de él y una transmisibilidad de 0 en los momentos donde no. Lo anterior establecido en base a la información recibida sobre las captaciones de ESVAL entre los años 2007 y 2013.

La regla de explotación final adoptada para la calibración es la indicada en la Tabla 5.3 para los pozos y Tabla 5.4 para el Dren. La ubicación de todos los pozos y el Dren se muestra en la FIGURA 5.5.

Tabla 5.1: Regla de Explotación ENAMI 1973 – 1996.

AÑO	NORTE		SUR	
	Nº POZOS	l/s	Nº POZOS	l/s
1973 -1996	3	21	3	21

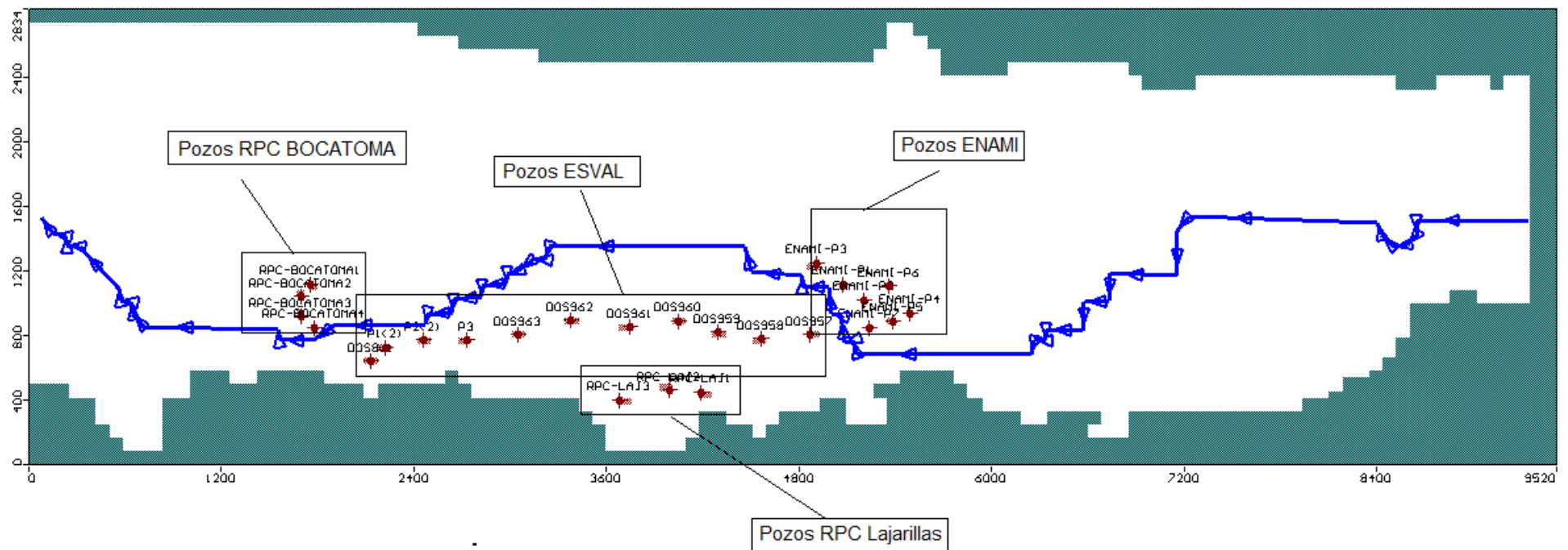
Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

Tabla 5.2: Regla de Explotación RPC y ESVAL 1973 – 1996.

AÑO	RPC - LAJARILLAS		RPC - BOCATOMA		ESVAL	
	N° POZOS	l/s	N° POZOS	l/s	N° POZOS	l/s
1973	3	16	4	92	11	10.5
1974	3	16	4	81	11	10.5
1975	3	16	4	71	11	10.5
1976	3	16	4	60	11	10.5
1977	3	19	4	50	0	0
1978	3	19	4	31	0	0
1979	3	19	4	30	0	0
1980	3	19	4	29	0	0
1981	3	16	4	28	0	0
1982	3	19	4	1	0	0
1983	3	17	4	1	0	0
1984	3	16	4	1	0	0
1985	3	19	4	2	0	0
1986	3	19	4	3	0	0
1987	3	19	4	4	4	2.7
1988	3	19	4	5	4	2.7
1989	3	19	4	7	4	2.7
1990	3	16	4	8	4	2.7
1991	3	5	4	52	4	2.7
1992	3	10	4	45	4	2.7
1993	3	13	4	39	4	2.7
1994	3	13	4	32	4	2.7
1995	3	14	4	25	4	2.7
1996	3	19	4	19	4	2.7

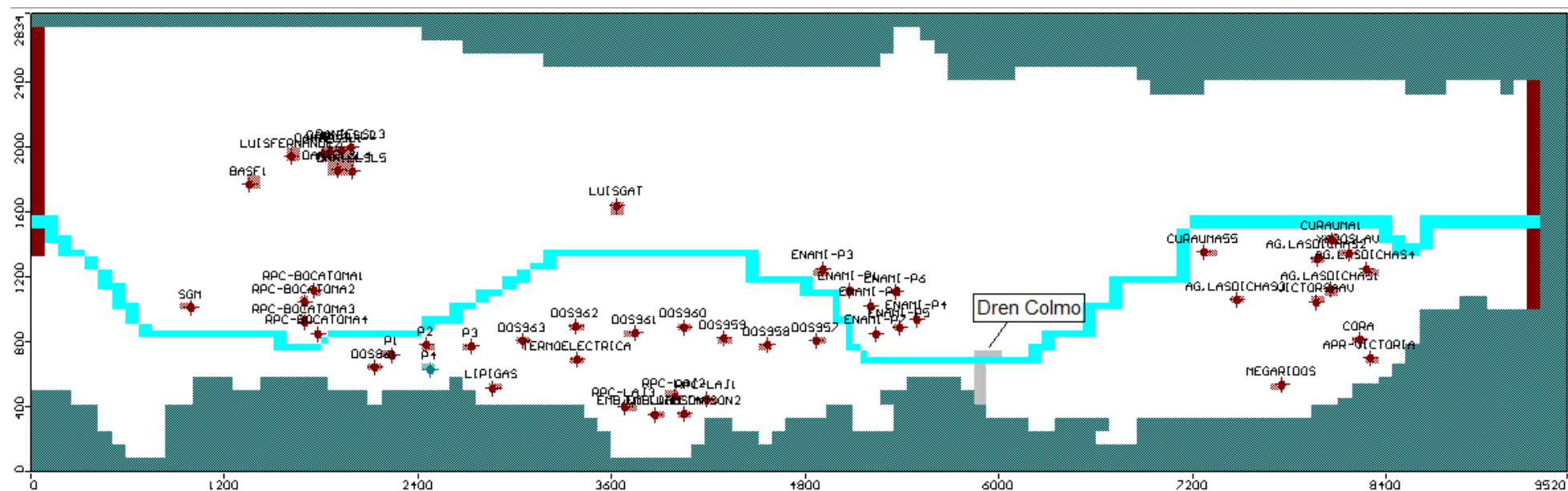
*Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC
Ingenieros Consultores Ltda., 1997.*

FIGURA 5.4: Esquema de posicionamiento de pozos en calibración 1973 – 1996.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.5: Esquema de posicionamiento de pozos en calibración 1996 – 2013.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Tabla 5.3: Regla de Captación Pozos 1996 – 2013.

(10 de Julio de 1973 corresponde al día 0).

DUEÑO	DÍA INICIO	DÍA TÉRMINO	N° DÍAS	N° POZOS	I/s TOTAL
AG. LAS DICHAS	8577	12490	3913	4	140
	12490	14567	2077	4	290
APR-LA VICTORIA	1471	14567	13096	1	7
BASF	9415	14567	5152	1	4
CURAUMA	8577	14567	5990	2	30
DANIEL SÚNICO LEWIN	8941	14567	5626	2	2
	9603	14567	4964	1	1
	14190	14567	377	2	2
LIPIGAS	8767	14567	5800	1	10
LUIS FERNÁNDEZ	9568	14567	4999	1	0.96
LUIS GATICA	9379	14567	5188	1	4
MENAHEN ASSAEL COHEN	9242	14567	5325	1	3.2
MEGARIDOS	8900	14567	5667	1	10
DREN COLMO	8558	14567	6009	1	16.8
EMB. WILLIAMSON	9738	14567	4829	2	24
CORA	8577	14567	5990	1	10
TERMOELÉCTRICA COLMITO	12593	14567	1974	1	7.6
SGM	8569	14567	5998	1	5
VICTOR SAAVEDRA	9393	14567	5174	1	2
YAROSLAV	9382	14567	5185	1	6.5
ENAMI NORTE	8569	14567	5998	3	12
ENAMI SUR	8569	14567	5998	4	19
RPC BOCATOMA	8569	14567	5998	4	38
RPC LAJARILLAS	8569	14567	5998	3	23
ESVAL (DOS)	8569	14567	5998	6	15
ESVAL (P1, P2, P3)	13980	14011	31	3	67
	14011	14041	30	3	0
	14041	14072	31	3	63
	14072	14100	28	3	62
	14100	14131	31	3	49
	14131	14375	244	3	0
	14375	14405	30	3	11
	14405	14436	31	3	60
	14436	14464	28	3	16
	14464	14525	61	3	0
	14525	14556	31	3	86

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Tabla 5.4: Regla de Captación Dren 1996 – 2013.**(10 de Julio de 1973 corresponde al día 0).**

DUEÑO	DÍA INICIO	DÍA TÉRMINO	N° DÍAS	LONG. DREN [m]	I/s TOTAL
ESVAL (DREN COLMO)	8972	9031	59	300	394
	9031	9183	152	300	0
	9183	9395	212	300	307
	9395	9547	152	300	0
	9547	9759	212	300	295
	9759	9911	152	300	0
	9911	10123	212	300	289
	10123	10275	152	300	0
	10275	10487	212	300	289
	10487	10639	152	300	0
	10639	10851	212	300	284
	10851	11003	152	300	0
	11003	11215	212	300	284
	11215	11367	152	300	0
	11367	11579	212	300	284
	11579	11731	152	300	0
	11731	11943	212	300	284
	11943	12095	152	300	0
	12095	12217	122	300	284
	12217	12732	515	300	0
	12732	12854	122	300	284
	12854	13309	455	300	0
	13309	13368	59	300	284
	13368	13551	183	300	0
	13551	13824	273	300	266
	13824	13976	152	300	0
	13976	14157	181	300	266
	14157	14401	244	300	0
	14401	14460	59	300	266
	14460	14521	61	300	0
	14521	14567	46	300	266

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

5.3. CONDICIONES DE BORDE.

Existen 3 elementos principales que condicionan el flujo subterráneo, estos son: El río Aconcagua, el mar y el flujo proveniente de la napa por el extremo Oriente del área de estudio. Estas componentes del sistema se han representado con 3 tipos de condiciones de borde: Nivel constante (CONSTANT HEAD), GENERAL HEAD y del tipo STREAM. Adicionalmente se han considerado condiciones de borde de: RECHARGE para la recarga por lluvia y EVAPOTRANSPIRATION para la evapotranspiración potencial del sector.

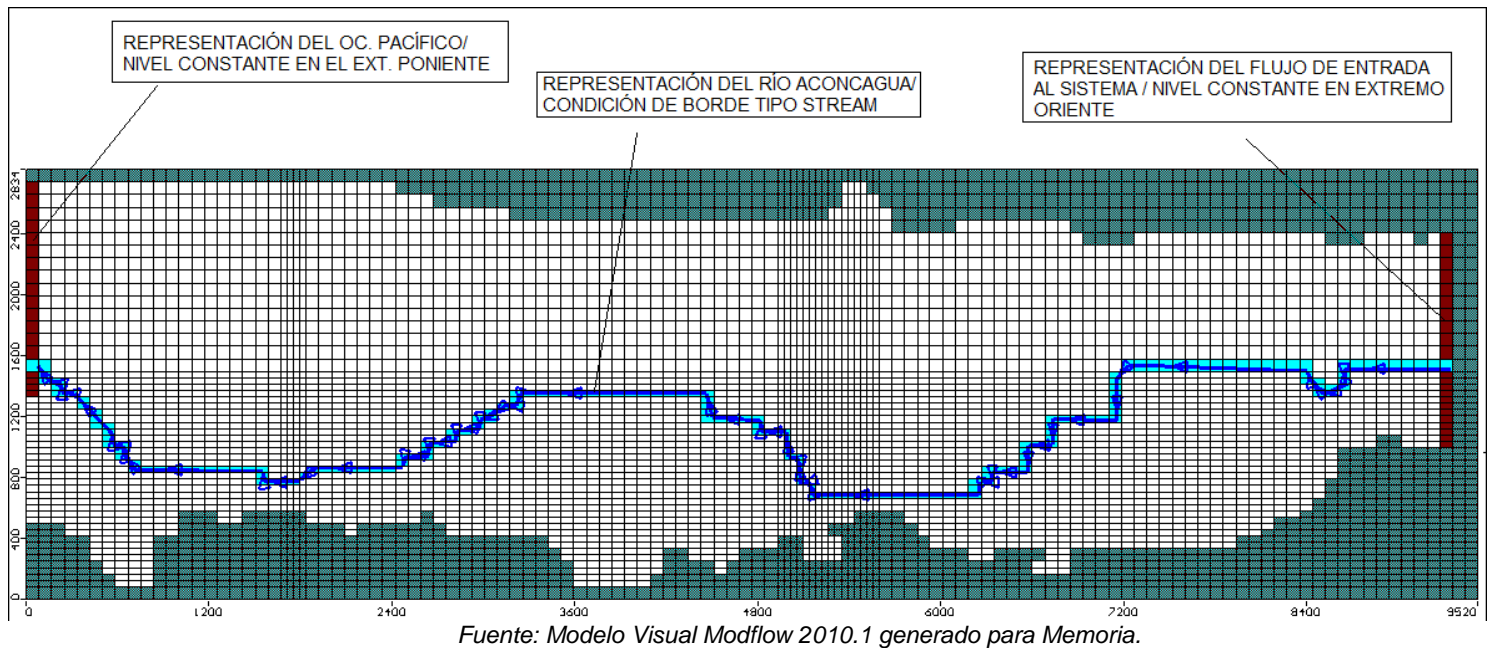
5.3.1. Condición de borde de nivel constante.

Esta condición fue utilizada para simular el flujo entrante al sistema en el extremo oriente y para simular el mar que se une con el acuífero libre en el extremo poniente (desembocadura).

En función de los niveles históricos de los pozos de observación cercanos al límite oriente del sistema acuífero, se puede considerar el borde oriente como una condición de borde de nivel constante, ya que la napa fluye en su mayor parte a máxima capacidad. Finalmente se le asignó un valor piezométrico constante igual a 21 m.s.n.m. (de acuerdo a la FIGURA 3.12).

En la zona de la desembocadura del Aconcagua se simuló el mar a través de celdas de nivel constante con nivel piezométrico 0 m.s.n.m.

En la FIGURA 5.6 se muestra la ubicación de las celdas de nivel constante.

FIGURA 5.6: Condiciones de borde de nivel constante (Constant Head Boundary)

5.3.2. Enlace mar – acuífero confinado y zona acuífera confinada inferior.

La conexión entre el mar y el acuífero confinado se simuló a través de celdas de tipo GENERAL HEAD BOUNDARY (GHB); este tipo de condición de borde permite la entrada o salida de agua en función de un nivel fijo de la celda GHB (que se encuentra a una cierta distancia separada por una barrera), de los niveles circundantes y de un valor de conductancia. Las celdas GHB se ubicaron en las capas 3 y 4 de la primera columna de la malla.

Se debe tomar en cuenta que se desconoce el enlace entre las zonas confinadas y el mar (de acuerdo a antecedentes anteriores), considerándose para la modelación la conexión entre ambos a través de la capa arcillosa.

Se consideró un nivel piezométrico de la fuente igual a 0 m.s.n.m. ya que la fuente es el mar.

La conductancia es calculada en base a la definición de ciertos parámetros. Se consideran la distancia entre la fuente y la celda donde se produce el flujo ($D=50$ [m]), el área de la celda donde se produce el flujo ($A=1200$ [m²] app.), un valor de permeabilidad de la pared que los separa ($K=2 \times 10^{-9}$ [m/s] para simular la impermeabilidad) y la dirección del flujo (norte-sur). Con lo anterior la conductancia se calcula como $C=A*K/D$ entregando un valor aproximado de 7.4×10^{-3} [m²/día].

5.3.3. Representación del río Aconcagua.

El río se representa con celdas tipo STREAM. Esta condición de borde permite simular un flujo superficial y ligarlo al sistema subterráneo. Cada celda de tipo STREAM incluye un nivel de agua en el río (STAGE), un nivel superior e inferior del lecho del río (STREAMBED TOP, STREAMBED BOTTOM), caudal entrante al segmento (SEGMENT IN-FLOW) y una conductancia hidráulica del lecho (STEAMBED CONDUCTANCE).

El flujo que se desarrolla entre el escurrimiento superficial y la napa subterránea depende, entre otros, de la topografía, las propiedades elásticas del acuífero y del lecho del cauce, de la forma del cauce y de los niveles piezométricos en el cauce y la napa.

El nivel de agua en el río se simula a través de celdas de tipo STREAM y es un dato de entrada. Los flujos río – napa o napa – río se obtiene en función de la conductancia y la diferencia entre el nivel del río y el nivel de la napa.

En estudios anteriores se verificó la influencia que podía tener en el comportamiento del acuífero la variabilidad del comportamiento del río Aconcagua. Esto se hizo ejecutando el modelo con diferentes caudales, anchos de cauce y alturas de escurrimiento en el río. Debido a que la napa fluye casi todo el tiempo a su máxima capacidad, se comprobó que la variación de la altura del río no genera grandes cambios.

Al producirse una gran explotación es cuando se hace relevante el efecto del río, pudiendo llegar a provocar incluso descensos permanentes en los niveles de la napa.

Para corroborar lo anterior se procedió a ejecutar el modelo con diferentes condiciones de escurrimiento del río, las cuales se detallan a continuación:

1.- Situación propuesta por AC Ingenieros: Luego de ejecutar el modelo con diferentes caudales, alturas de escurrimiento y anchos de cauce se determinó que la variabilidad del río no es determinante en el comportamiento de los acuíferos y se optó por utilizar valores promedio para cada una de las variables necesarias para el modelo.

Ancho del cauce	:	50 m
Coeficiente de rugosidad	:	0.022
Altura de escurrimiento	:	0.44 m
Espesor del lecho	:	0.36 m
Caudal asociado a $h=0.44$ m	:	$11 \text{ m}^3/\text{s}$
Profundidad del cauce	:	0.8 m

Conductancia : 140 m²/s

2.- Caudal del río en base a estadísticas fluviométricas: En la zona de estudio no se cuenta con estaciones fluviométricas, la más cercana se encuentra 1 [km] aguas arriba del límite oriente del modelo, en Tabolango. El procedimiento realizado para obtener los caudales de entrada al sistema se presenta en el ANEXO 5.3.

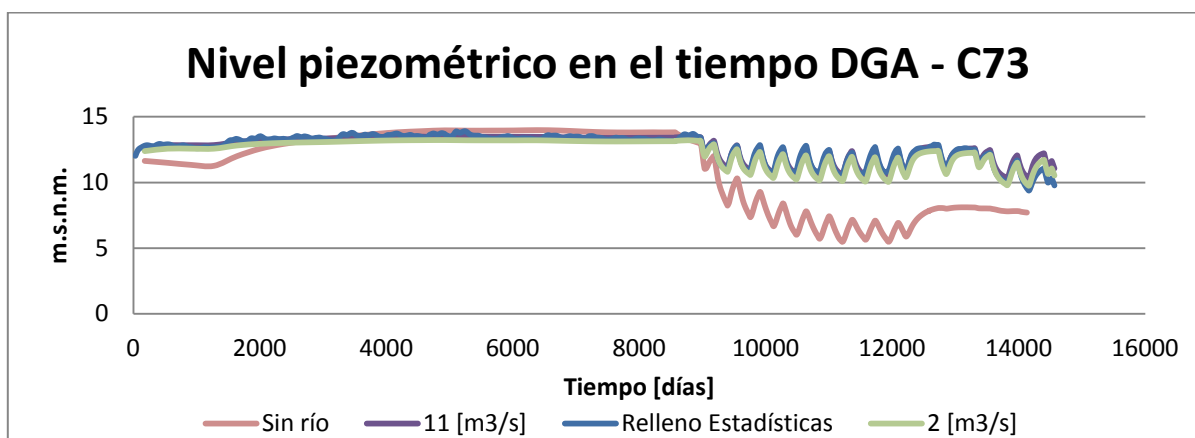
Para este caso se mantuvo el ancho del cauce promedio anterior, al igual que el coeficiente de rugosidad, el espesor del lecho y la conductancia.

3.- Caudal del río valor crítico invariante: Se estableció un caudal constante igual a 2 [m³/s] (menor valor de caudal promedio anual obtenido del caso anterior) y se mantuvo el valor del ancho del cauce, del coeficiente de rugosidad, el espesor del lecho y la conductancia.

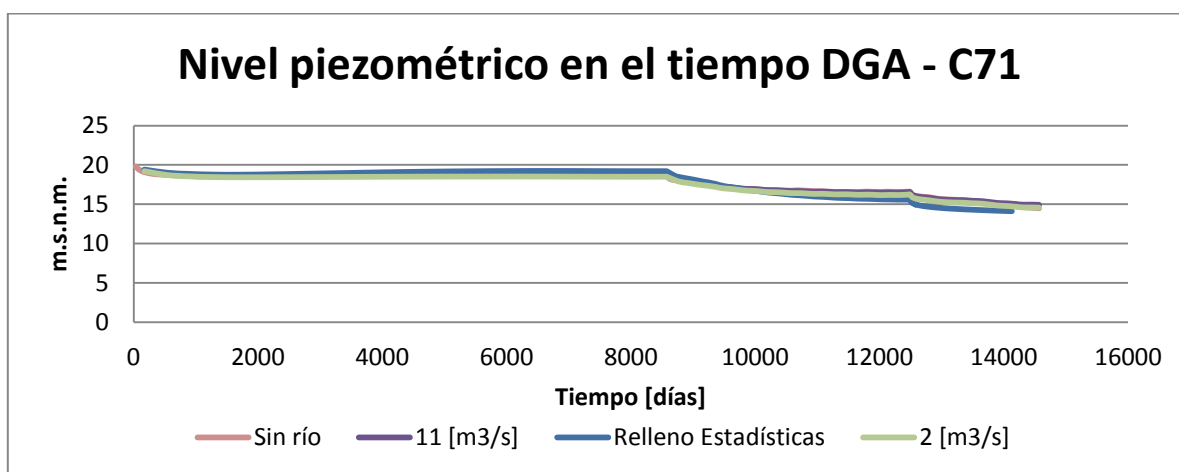
4.- Situación sin río: Se procedió a ejecutar el modelo sin la existencia del río como un caso extremo que permitiera ver la dependencia del sistema.

Luego de la ejecución del modelo en las diferentes situaciones, se comprobó la poca variabilidad de los niveles piezométricos de los acuíferos ante los escenarios propuestos para el comportamiento del río Aconcagua, tal como se muestra en las FIGURAS 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11, donde se ilustra el nivel de la napa en los pozos de observación que se encuentran en la zona de estudio para las cuatro situaciones explicadas con anterioridad. Los datos correspondientes se encuentran en el ANEXO 5.3.3.

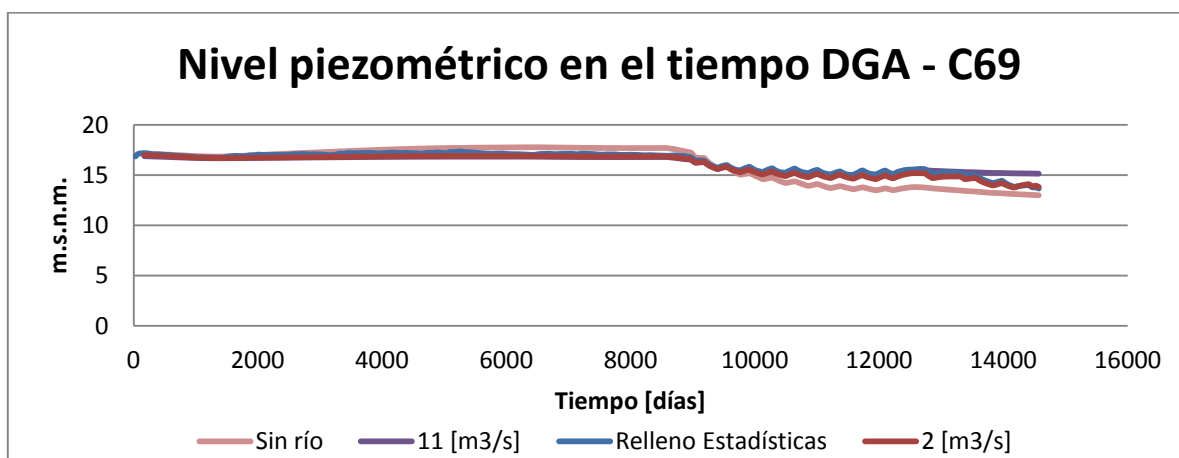
Cabe destacar que para la modelación se consideraron las extracciones de pozos existentes entre el período 1973 – 2013 con la información presente en las TABLAS 5.2, 5.3 Y 5.4.

FIGURA 5.7: Nivel de acuífero en pozo DGA – 73 por variación del río Aconcagua.

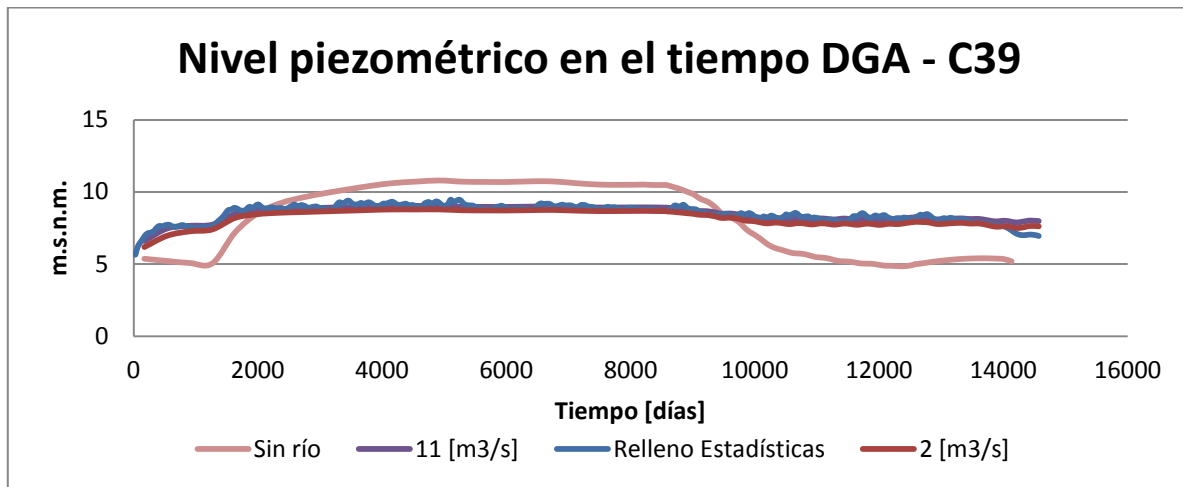
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.8: Nivel de acuífero en pozo DGA – 71 por variación del río Aconcagua.

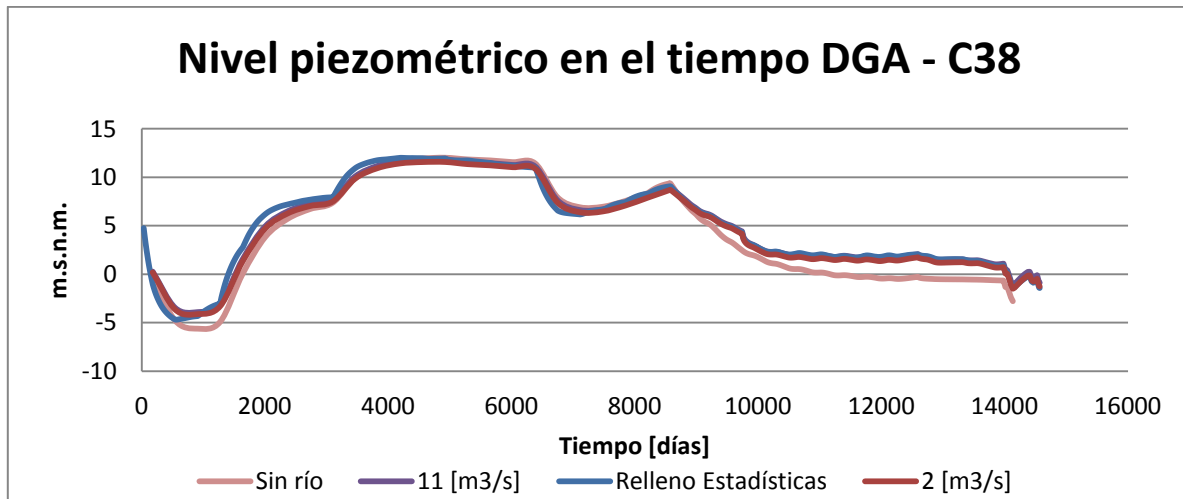
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.9: Nivel de acuífero en pozo DGA – 69 por variación del río Aconcagua.

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.10: Nivel de acuífero en pozo DGA – 39 por variación del río Aconcagua.

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.11: Nivel de acuífero en pozo DGA – 38 por variación del río Aconcagua.

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Al analizar los gráficos se verifica la importancia del río en la estabilidad de la zona acuífera, funcionando como mecanismo de recarga y de descarga en algunos casos. Aguas arriba el efecto del río no se hace relevante ya que la napa se encuentra la mayor parte del tiempo en el tope de su capacidad, situación que podría cambiar ante escenarios de gran explotación en ese sector.

Finalmente y por los buenos resultados entregados, se procedió a modelar el río de acuerdo a lo propuesto en el estudio anterior.

5.3.4. Análisis de la variación de las precipitaciones y evapotranspiración.

Del mismo modo que en el subcapítulo anterior, se procedió a comparar el comportamiento del modelo MODFLOW ante la variación de las precipitaciones y evapotranspiración en el sector. El objetivo principal es definir si existe una influencia significativa de ambos parámetros en el comportamiento de los acuíferos, o bien podrían no ser considerados eventualmente.

Se ejecutó el modelo entre los años 1973 y 2013 para cuatro escenarios posibles, para luego comparar gráficamente la variación del nivel piezométrico de los acuíferos en algunos pozos de observación, tanto en el estrato confinado (C38 y C39) como en el libre (C67 y C69), con la variación estadística del nivel piezométrico.

Los escenarios modelados son los siguientes:

1.- Precipitación igual a cero y evapotranspiración potencial (1012 mm/año): Escenario extremo que permitirá determinar si la presencia de ambos factores es relevante en el modelo. Es de esperarse que los niveles piezométricos de ambos acuíferos desciendan considerablemente.

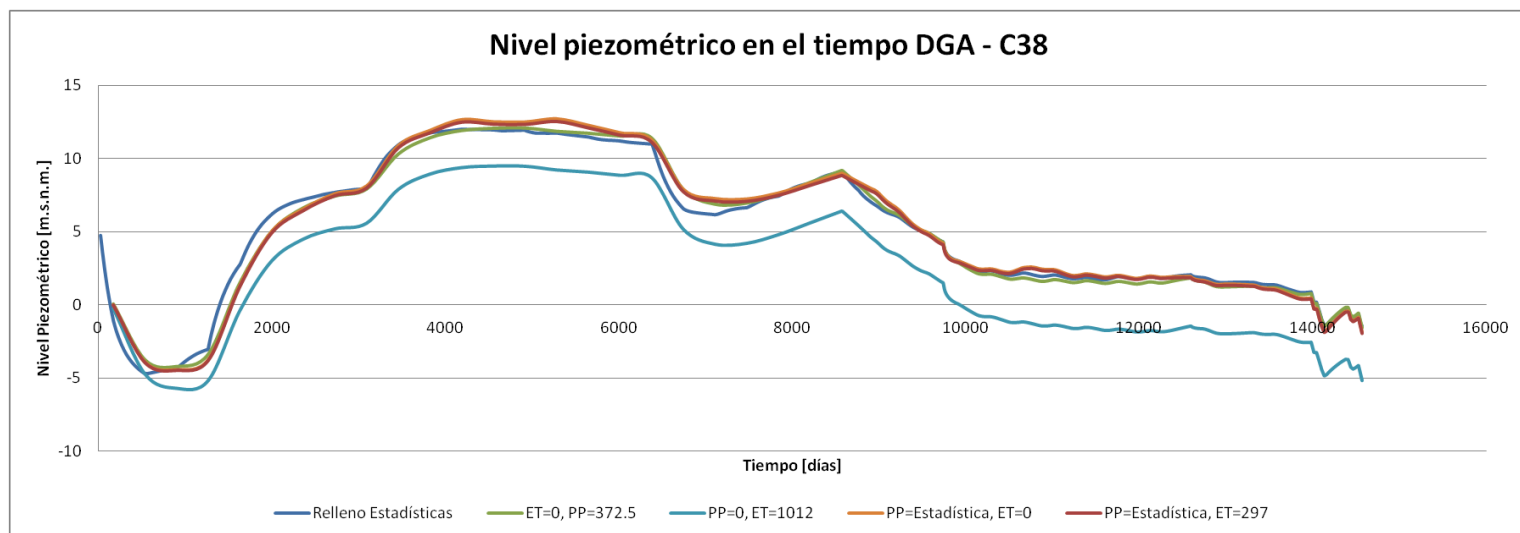
2.- Precipitación promedio de la desembocadura del río Aconcagua (372.5 mm/año) y evapotranspiración igual a cero: Escenario extremo que permitirá determinar si la presencia de ambos factores es relevante en el modelo. Es de esperarse que los niveles de ambos acuíferos aumenten considerablemente.

3.- Precipitación estadística de la desembocadura del río Aconcagua y evapotranspiración igual a cero: Se busca obtener comportamientos cercanos a la realidad, configurando un parámetro a la vez. La estadística pluviométrica corresponde a mediciones realizadas en la estación Los Aromos en el sector de estudio y se obtuvo de la página web de la DGA. La tabla con valores se encuentra en el ANEXO 5.3.4.

4.- Precipitación estadística de la desembocadura del río Aconcagua y evapotranspiración promedio: Al caso anterior se incluye un valor de evapotranspiración promedio igual a 297 mm/año, obtenida del estudio realizado el año 2001 por AC Ingenieros Consultores, denominado “Plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua”.

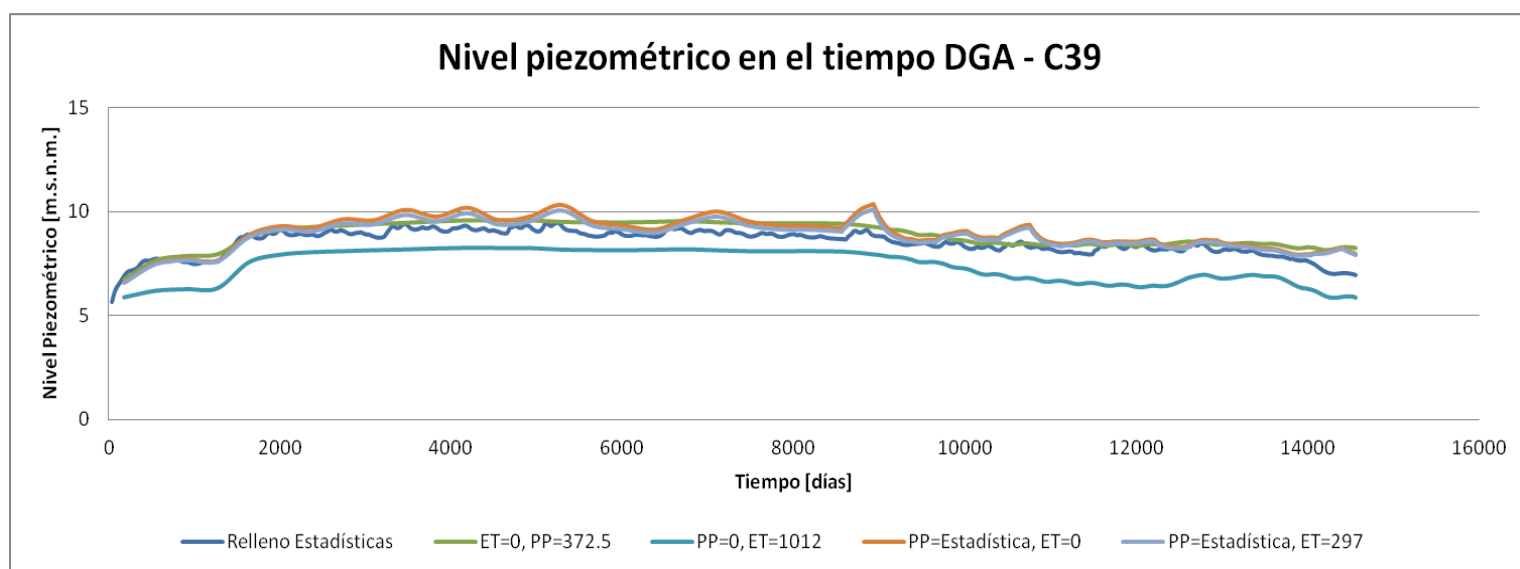
Los resultados de la modelación en los escenarios anteriores son ilustrados en la FIGURAS 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15.

FIGURA 5.12: Nivel de acuífero en pozo DGA – 38 por variación de PP y ET.



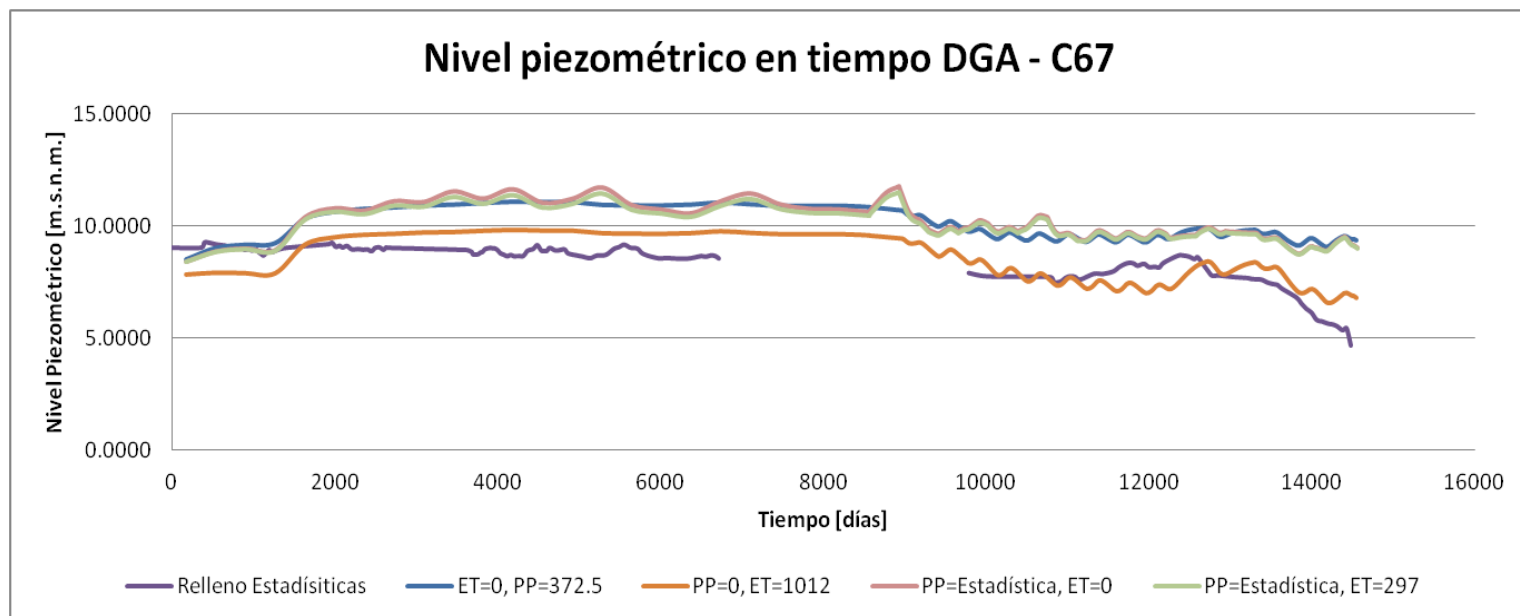
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.13: Nivel de acuífero en pozo DGA – 39 por variación de PP y ET.



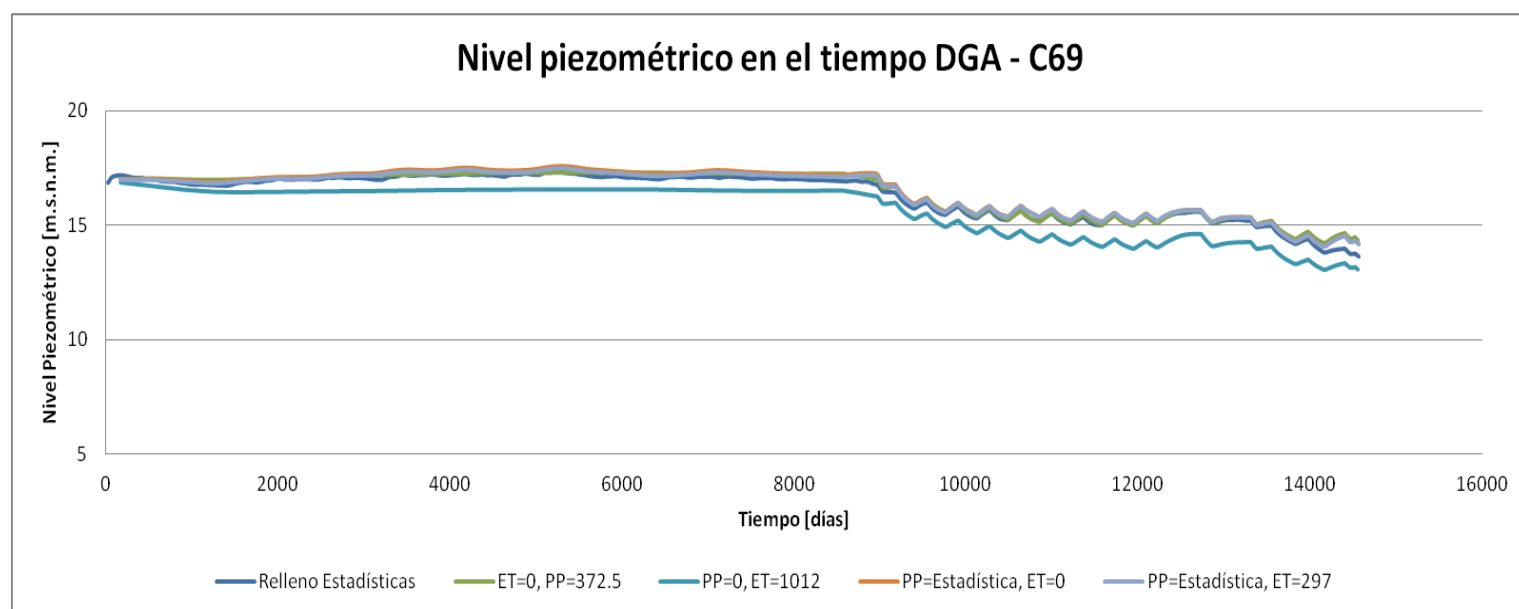
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.14: Nivel de acuífero en pozo DGA – 67 por variación de PP y ET.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.15: Nivel de acuífero en pozo DGA – 69 por variación de PP y ET.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Del análisis gráfico se desprende que en ambos acuíferos la presencia de precipitaciones es imprescindible para su estabilización en el tiempo. Su ausencia puede

producir grandes descensos en el nivel de ellos, lo que eventualmente podría llevar a que no fuera posible captar agua. Por otro lado, la variación de la evapotranspiración no genera grandes cambios en el comportamiento de los acuíferos, aunque puede observarse que ante un aumento de ella, las depresiones de la napa también aumentan, aunque no tan marcadamente como en el caso de las precipitaciones.

De los gráficos anteriores se desprende que los valores promedio de precipitación y evapotranspiración son representativos para la modelación por lo que serán los utilizados en situaciones posteriores.

5.3.5. Parámetros elásticos.

Se ha adoptó la distribución de valores de permeabilidades mencionada en el subcapítulo 3.6.1 para el acuífero libre y el confinado. Se comprobó que cumplía de buena manera ya que los valores simulados no presentaron grandes diferencias respecto a los medidos en los pozos de observación durante el proceso de calibración.

Para el caso de los estratos arcilloso y confinado inferior, no se dispone de datos de permeabilidad, pero como se dijo antes, se adoptaron valores uniformes concordantes con su funcionamiento. Los valores fueron revisados y comprobados mediante algunas simulaciones. Finalmente para la capa arcillosa se determinó una permeabilidad de 10^{-8} m/s y para la zona acuífera confinada una de $3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

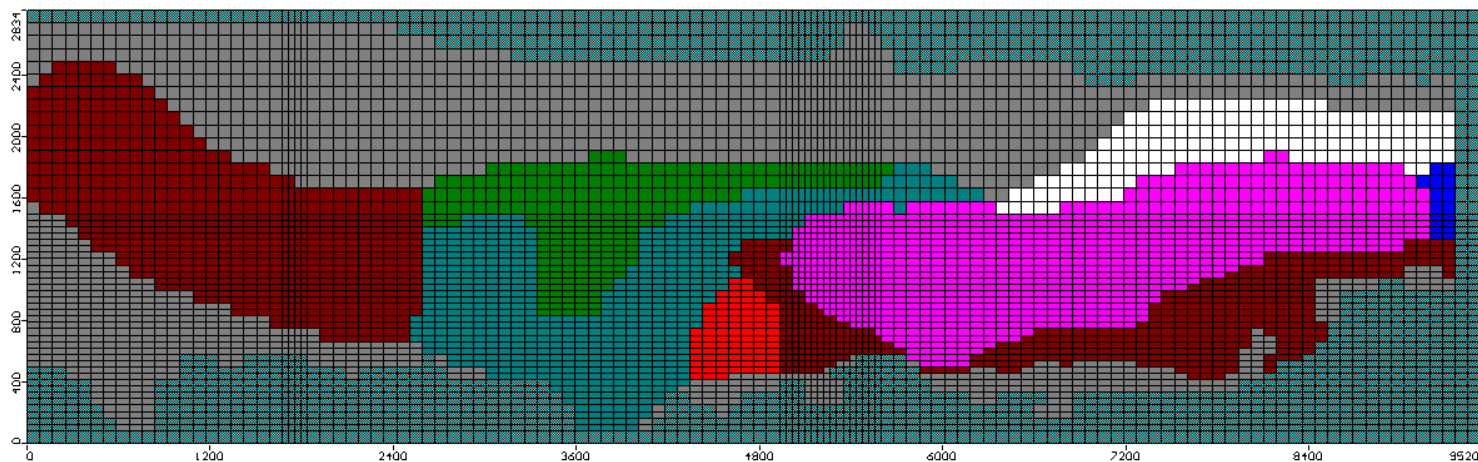
En la FIGURA 5.16 se presenta la simbología de los mapas de permeabilidades y en las FIGURAS 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 se muestra la distribución final adoptada en el modelo para cada estrato.

FIGURA 5.16: Simbología de permeabilidades en estratos.

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]
1	0.0001	0.0001	0.0001
2	0.0002	0.0002	0.0002
3	0.0004	0.0004	0.0004
4	0.001	0.001	0.001
5	0.0007	0.0007	0.0007
6	0.003	0.003	0.003
7	7E-5	7E-5	7E-5
8	1E-8	1E-8	1E-8
9	1E-5	1E-5	1E-5
10	0.0015	0.0015	0.0015
11	3E-5	3E-5	3E-5
12	0.0003	0.0003	0.0003
13	0.004	0.004	0.004
14	0.002	0.002	0.002

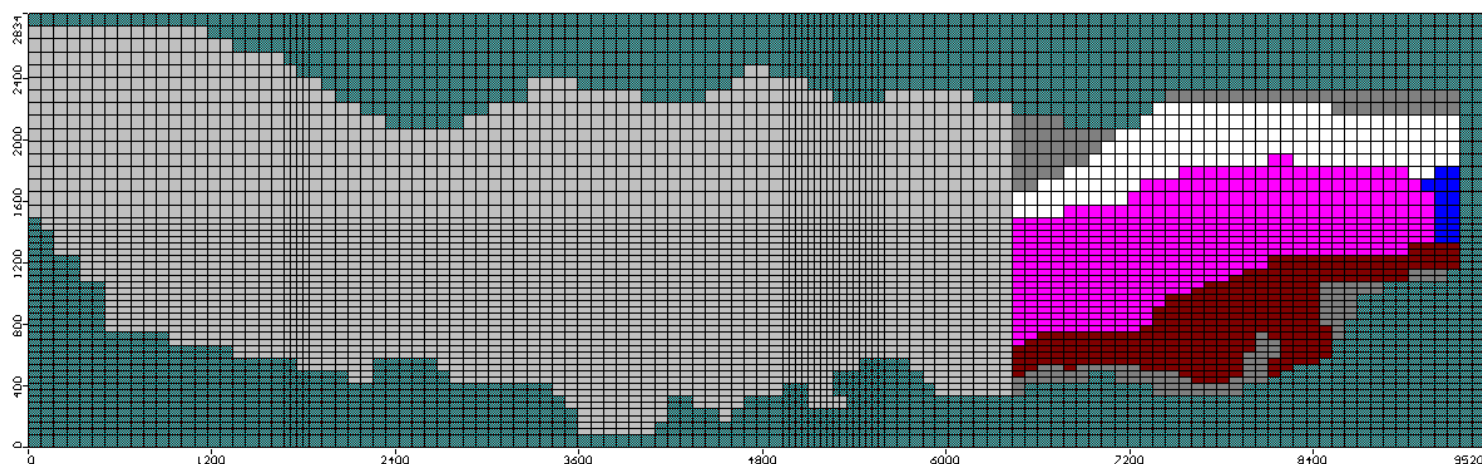
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.17: Mapa de Permeabilidades en acuífero libre.



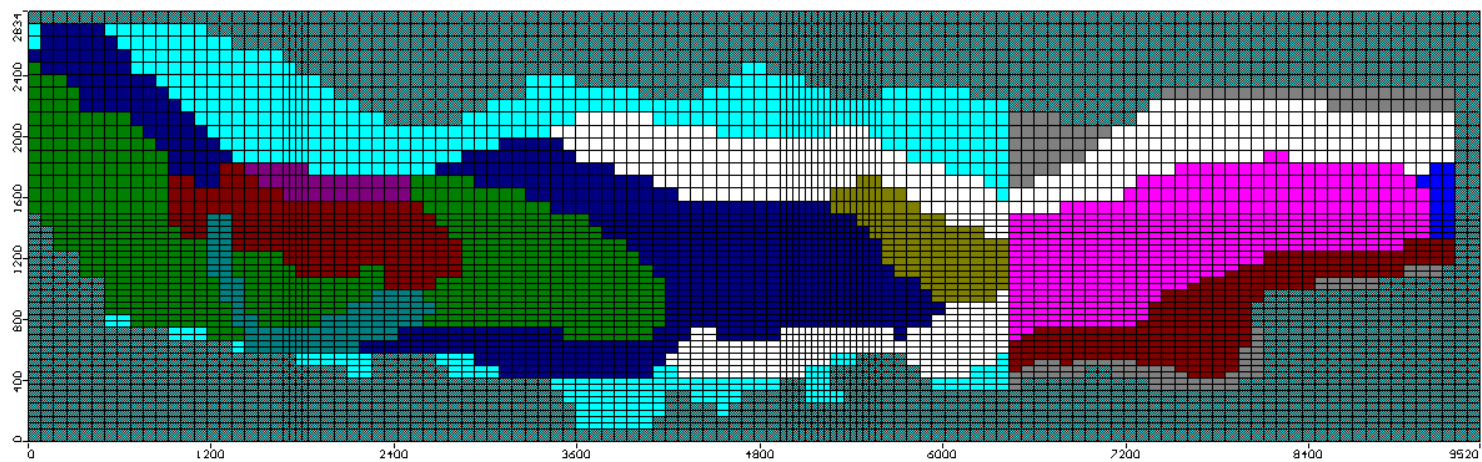
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.18: Mapa de Permeabilidades en capa arcillosa.

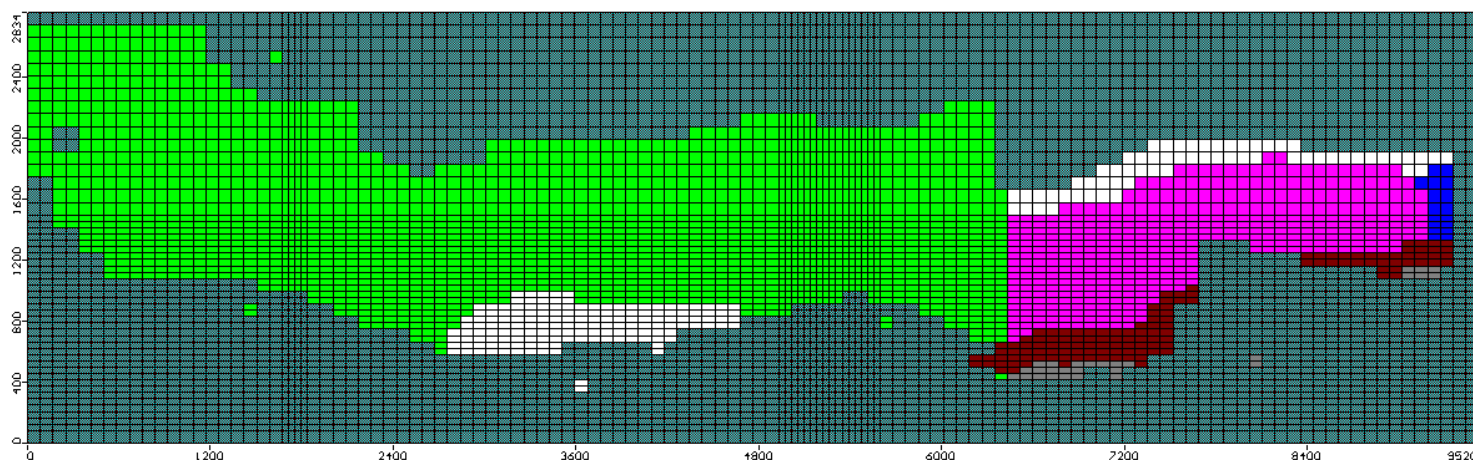


Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.19: Mapa de Permeabilidades en acuífero confinado.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.20: Mapa de Permeabilidades en zona confinada inferior.

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Con respecto a los parámetros del almacenamiento, al no poseer gran información, se ingresó valores uniformes acorde a información de los materiales de los acuíferos y algunas pruebas de bombeo. Los parámetros adoptados, fueron los mismos valores utilizados en el estudio realizado anteriormente en el sector (AC Ingenieros Consultores. Para la modelación se consideran tres conceptos: Porosidad total (P_{total}), porosidad efectiva ($P_{ef.}$) y almacenamiento específico (S), los cuales fueron definidos con anterioridad. Los valores adoptados se presentan a continuación:

Tabla 5.5: Parámetros de almacenamiento.

Estrato	Porosidad Total P_{total}	Porosidad Efectiva $P_{ef.}$	Almac. Específico S
Acuífero Superficial	0.35	0.18	0.05
Capa Arcillosa	0.25	0.0003	0.00003
Acuífero Confinado	0.25	0.005	0.0005
Zona Acuífera Confinada Inferior	0.25	0.0008	0.00008

Fuente: Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.

5.3.6. Estimación de extracciones históricas en régimen impermanente.

Habitualmente las reglas de operación de los pozos obedecen a diversos requerimientos, por lo que su funcionamiento es variable.

Entre los años 1973 – 1996 se conoce la regla de explotación, sin embargo, de 1996 en adelante no se tiene mayor información, salvo la entregada por ESVAL para el período 2007 -2013.

El mecanismo para la obtención de la regla de explotación estimada para los años 1996 – 2013 fue descrito en el subcapítulo 5.2.2. La regla final fue dada en la Tabla 5.3 del mismo subcapítulo.

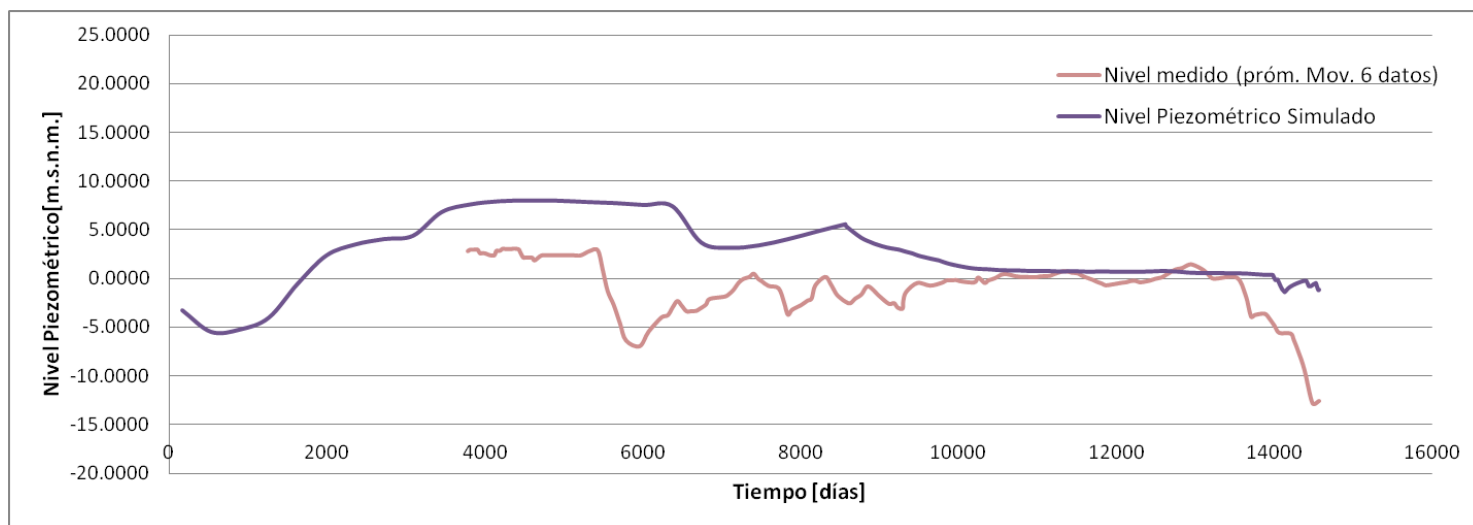
Como base para el ajuste de los caudales se dispone de la información de los niveles estáticos de los Limnigramas DGA-C6, DGA-C38, DGA-C39 para el caso de la napa confinada y DGA-C67, DGA-C69, DGA-C71 y DGA-C73 para el caso de la napa libre. Lo que se busca, es lograr en el modelo un comportamiento similar de los niveles de las napas, en los puntos donde se encuentran los pozos de observación.

En las FIGURAS 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 y 5.27 se muestran los niveles históricos medidos, graficados como promedios móviles de 6 datos y los niveles simulados con la regla de explotación definida anteriormente. Se hace evidente al analizar las gráficas, que los pozos de observación relacionados con el nivel piezométrico de la napa confinada tienen un ajuste menos preciso que los relacionados con la napa libre, existiendo variaciones en los valores que van entre los 2 y 5 metros. Con respecto al ajuste de los pozos agua arriba, puede verse que el modelo es bastante representativo de lo que ocurre en la realidad, existiendo errores pequeños (entre 1 y 2 metros) en la mayor parte del proceso de calibración.

Es importante destacar que los niveles estáticos medidos en los pozos de observación se encuentran directamente relacionados con la cota topográfica determinada para cada uno de ellos. Lo que podría haber ocasionado en alguna medida la diferencia entre ambos resultados.

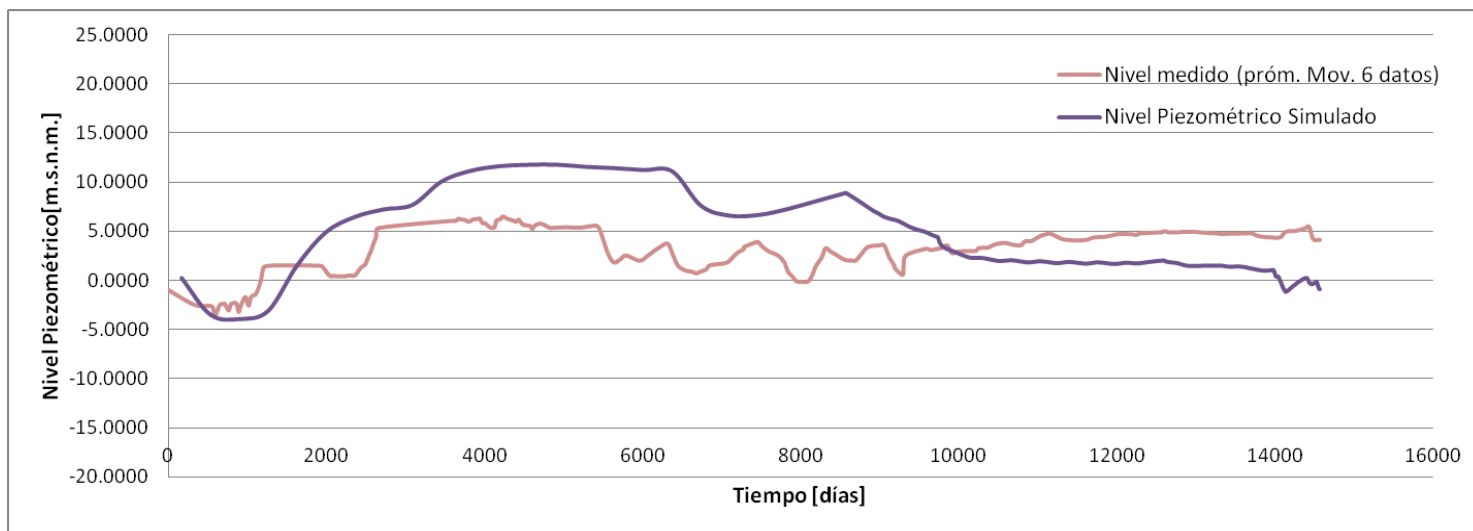
Finalmente, en todos los pozos, la tendencia del comportamiento simulada es consistente con la medida por la DGA, de hecho, el funcionamiento del sistema en su totalidad responde de buena manera. Lo anterior lo muestra el gráfico de niveles simulados versus niveles medidos en la FIGURA 5.28 que considera todo el período de calibración y que entrega información respecto a la correlación entre datos mediante el método de los mínimos cuadrados, obteniendo un coeficiente de correlación del sistema igual a 0.91, considerando que un coeficiente sobre 0.8 habla de una buena relación.

FIGURA 5.21: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C6.



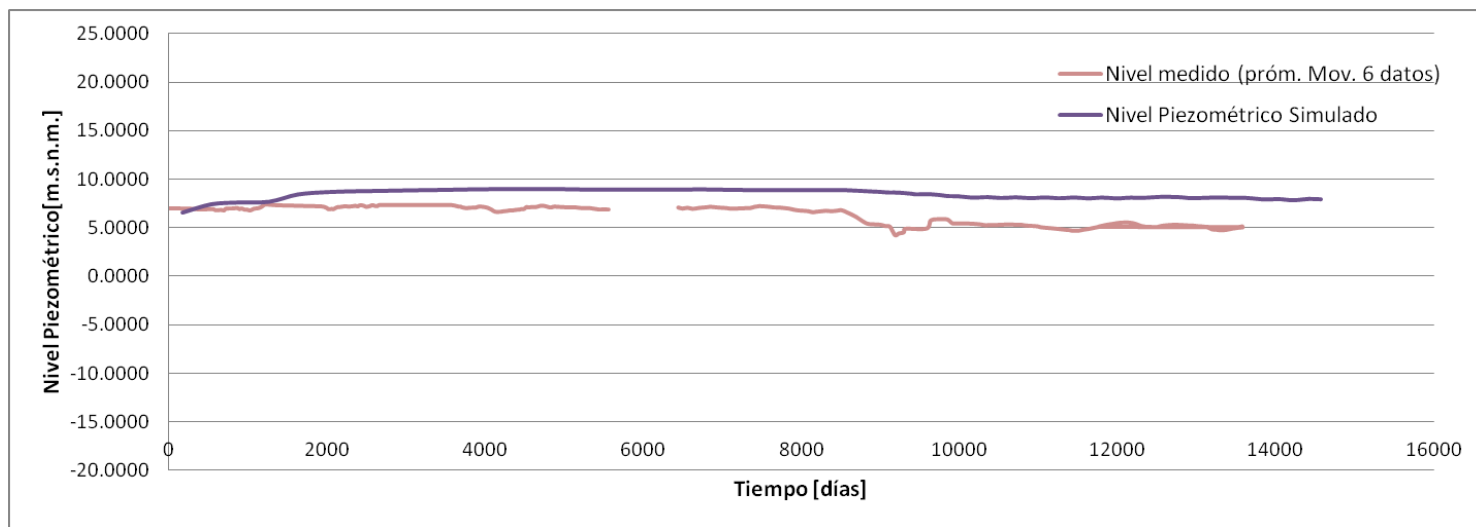
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.22: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C38.



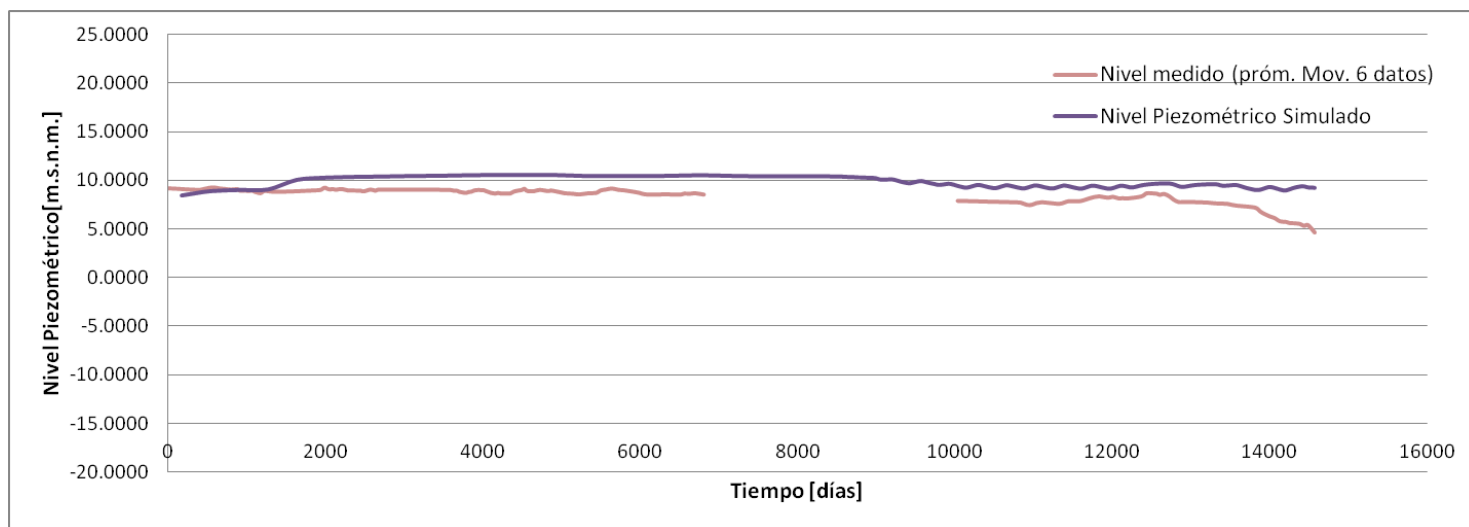
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.23: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C39.



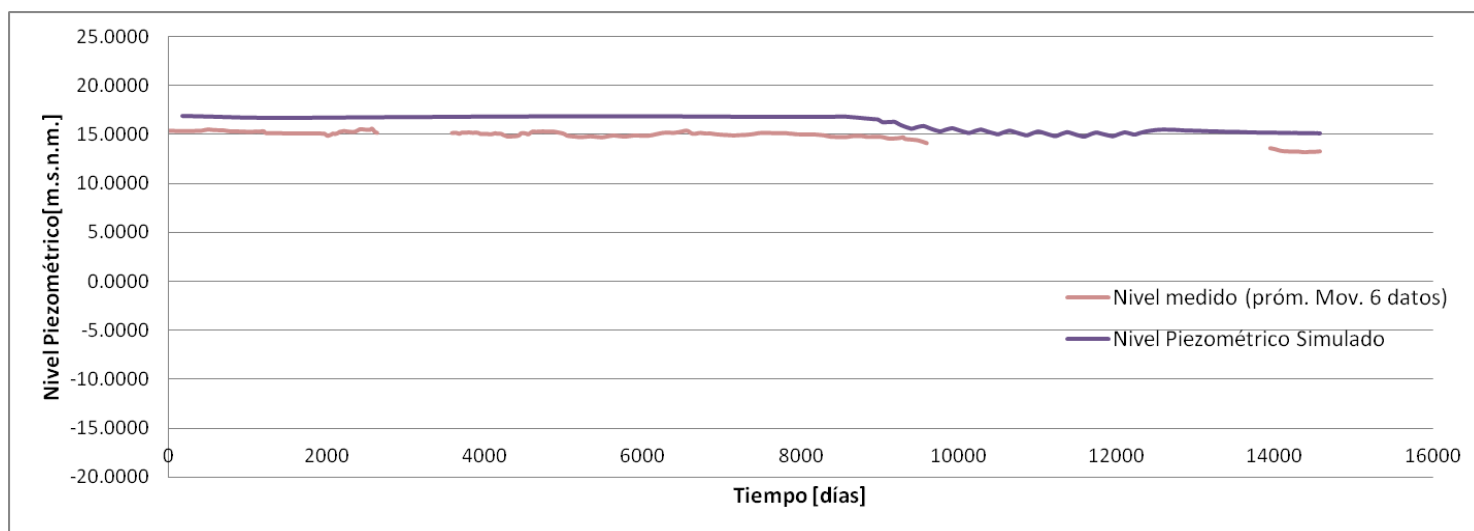
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.24: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C67.



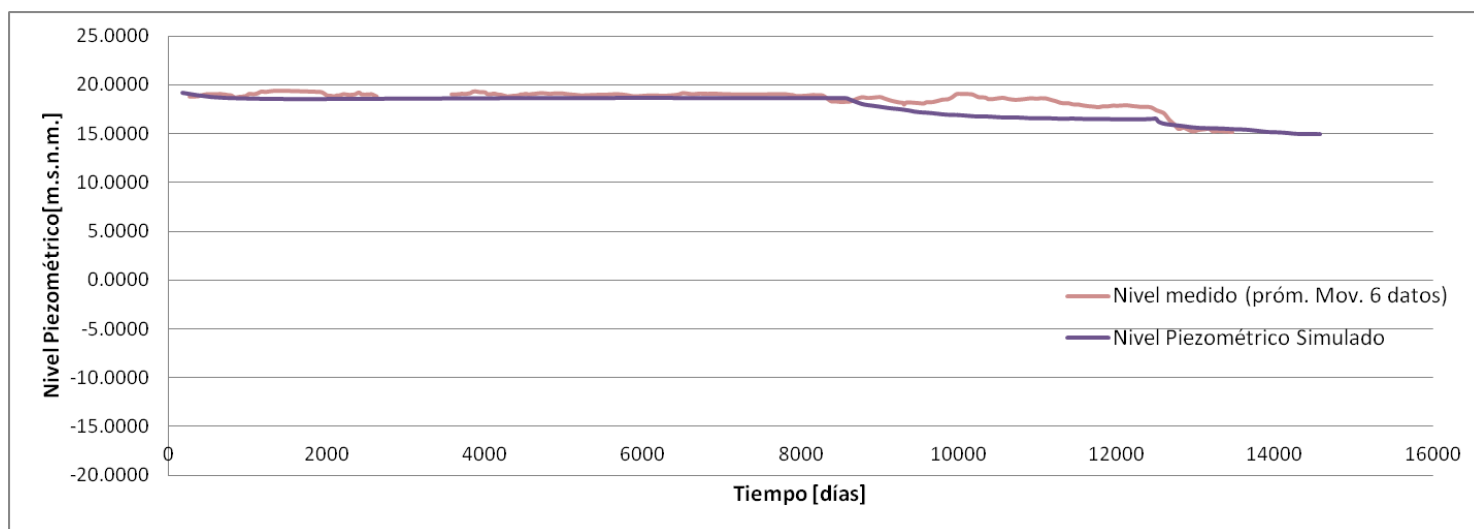
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.25: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C69.



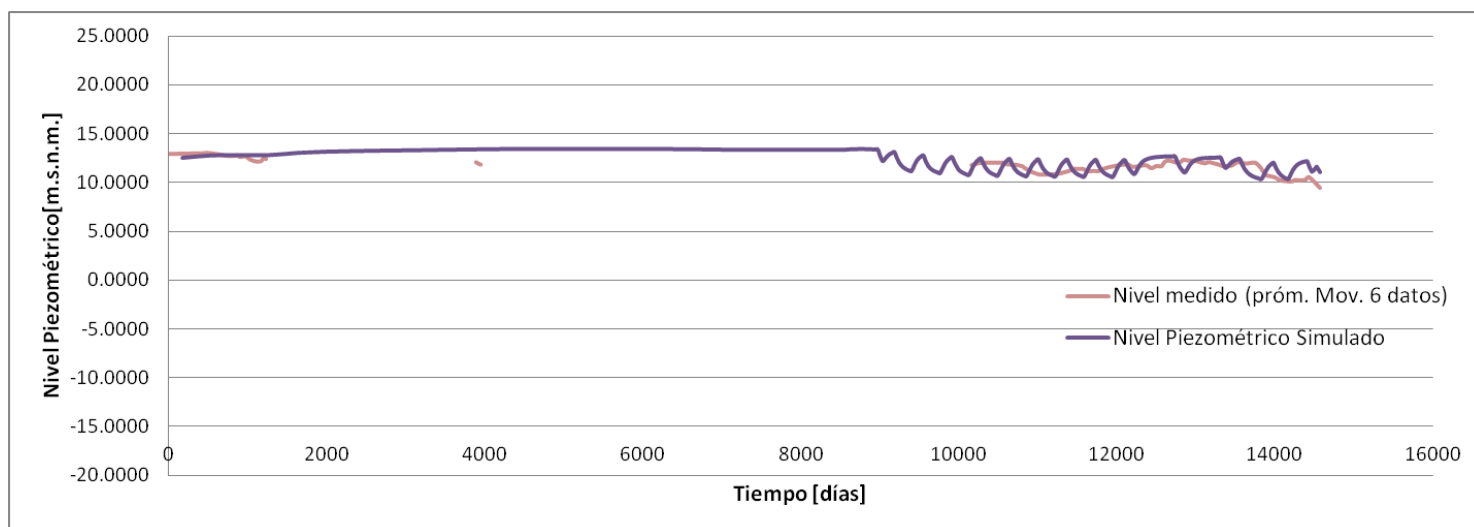
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.26: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C71.



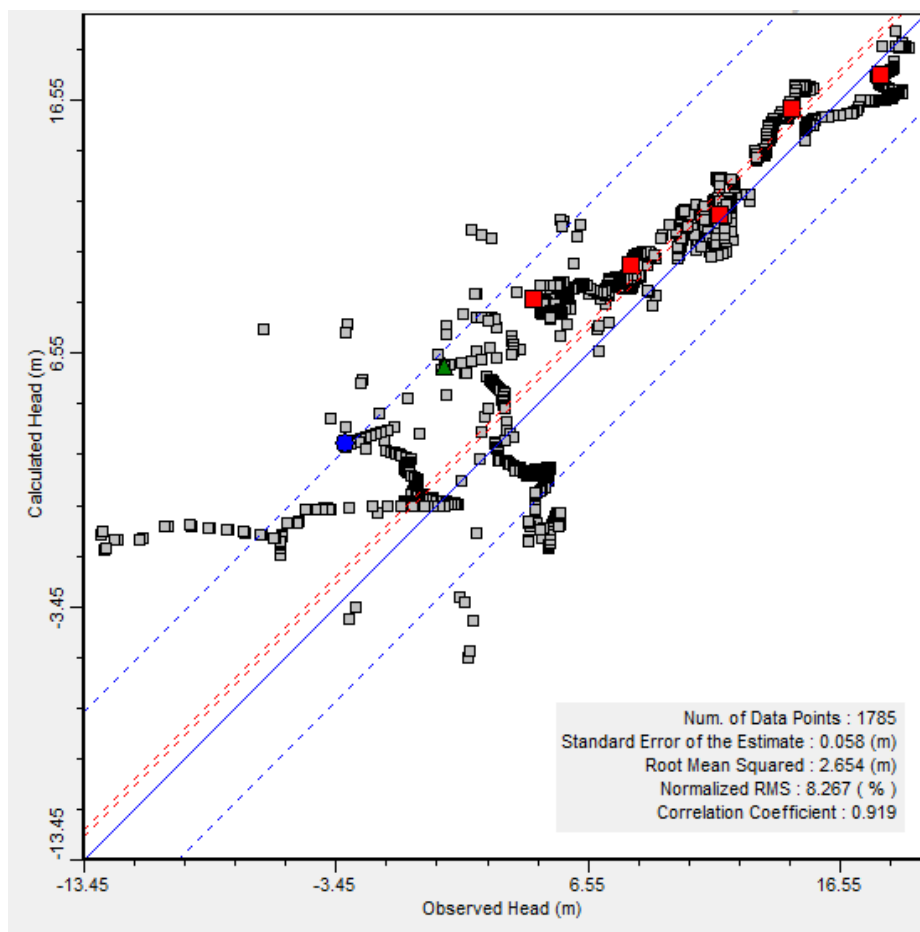
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.27: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C73.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 5.28: Niveles Históricos v/s Niveles Simulados.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6. ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO.

Luego de la calibración, la operación del modelo tiene como objetivo determinar la respuesta del sistema a diferentes estímulos. Por lo anterior, se ejecuta generando diversos escenarios de explotación, considerando las extracciones de agua que existen actualmente y las que podrían llegar existir en la zona de estudio. Los escenarios planteados incluyen la adquisición de derechos de agua e incorporación de ellos al funcionamiento del sistema y la explotación de los acuíferos hasta niveles máximos, es decir, técnicamente factibles según el recurso hídrico disponible.

El modelo se operó por un período que considera como límite el año 2050 y las reglas de explotación para cada uno de los escenarios modelados se describen a continuación. El respectivo respaldo digital se incluye en el ANEXO 6.

6.1. ESCENARIOS DE OPERACIÓN.

El objetivo de generar distintos escenarios de operación del modelo hidrogeológico, es obtener el máximo aprovechamiento posible de los derechos sobre agua subterránea que posee ESVAL (cerca de 1300 l/s otorgados por la DGA), considerando además todos los actores que influyen en el comportamiento de los acuíferos en el sector de estudio. Para ello, se irán incluyendo las posibles extracciones desde pozos aledaños, de acuerdo a las solicitudes de derechos sobre aguas subterráneas otorgadas por la DGA, así como las recibidas que podrían ser aceptadas y otorgadas a futuro. Finalmente se espera incluir la mayor cantidad de nuevos pozos de parte de ESVAL que permitan mantener un funcionamiento estable del modelo en el tiempo.

Según lo anterior, se generaron cinco escenarios de explotación diferentes. Para cada uno de ellos se registró la explotación total factible de los acuíferos y la cantidad de agua que sería capaz de captar ESVAL. Cada escenario cuenta con situaciones intermedias que llevaron al resultado final. Se incluyen algunas de ellas en el ANEXO 6.1.

Los diferentes escenarios analizados y sus justificaciones son los siguientes:

1. Escenario de explotación actual: Se considerará la configuración adoptada en la estimación del comportamiento de pozos hasta el año 2013, de acuerdo a lo propuesto en el subcapítulo 5.2.2.

2. Operación según derechos constituidos: Se considerará que todos quienes poseen derechos sobre aguas subterráneas en el sector, hacen uso total del ellos.
3. Operación según derechos constituidos más derechos solicitados: Sumado al escenario anterior, se considerará que se otorgan total o parcialmente los derechos de agua solicitados a la DGA para la extracción de nuevos pozos en el sector y se incluirán en la explotación de los acuíferos. Se busca llegar a una solución en equilibrio.
4. Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción: Sumado al escenario anterior, se considerará la inclusión de los pozos nuevos que está construyendo ESVAL para llegar a una situación de explotación que permita el equilibrio.
5. Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL: Sumado al escenario anterior, se proponen nuevos sondeos en sectores donde sea posible explotar en mayor medida los acuíferos.

La Tabla 6.1 nos ilustra el resumen de los escenarios.

Tabla 6.1: Escenarios de explotación.

ESCENARIO EXPLOTACIÓN	EXPLOTACIÓN ACTUAL	DERECHOS CONSTITUIDOS	DERECHOS SOLICITADOS	POZOS ESVAL EN CONSTRUCCIÓN	POZOS SUGERIDOS A ESVAL
ESCENARIO 1	SI	-	-	-	-
ESCENARIO 2	-	SI	-	-	-
ESCENARIO 3	-	SI	SI	-	-
ESCENARIO 4	-	SI	SI	SI	-
ESCENARIO 5	-	SI	SI	SI	SI

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Para el caso de ESVAL se generará una regla de explotación, considerando que sus sondeos son utilizados cada año entre los días 15 de Agosto y 15 de Noviembre y entre el 1 de Enero y 31 de Marzo. La misma regla de explotación se utilizará para el funcionamiento del Dren Colmo según se explicará más adelante.

MODFLOW permite indicar el tiempo en que se quiere utilizar y la cantidad de agua que se extraerá de cada sondeo; también se puede definir la posición de las cribas para determinar el acuífero explotado. Algo similar ocurre con el dren, pudiendo activar su funcionamiento cuando se requiere.

6.1.1. Escenario 1: Operación en escenario de explotación actual.**6.1.1.1. Modelación en escenario 1.**

Se considerarán los 3 pozos actualmente utilizados por ESVAL, es decir, P1, P3 y P4, los cuales están configurados para captar un total de 190 l/s. También se considerará el funcionamiento del Dren Colmo, el cuál capta agua por diferencia de carga respecto a la cota piezométrica del acuífero, llevándola posteriormente a una cámara de bombeo. La cantidad de agua captada por el dren es variable y depende de 2 factores: el primero es la variabilidad de la línea piezométrica del acuífero, ya que la captación depende de la diferencia de cota entre el dren y la línea piezométrica. El segundo es el bombeo en la cámara, ya que éste controla el funcionamiento del dren (si se deja de extraer agua de la cámara, el dren se satura sin generar depresiones sobre él), pudiendo cumplir de buena manera con programa de captaciones subterráneas establecido para ESVAL.

Los caudales que se extraerán por cada usuario del sector se presentan en la Tabla 6.2 y son los mismos que fueron establecidos anteriormente como explotación hasta el año 2013 (subcapítulo 5.2.2). La ubicación de los pozos y del Dren Colmo es la misma que se mostró en la FIGURA 5.5.

Tabla 6.2: Escenario de explotación actual.

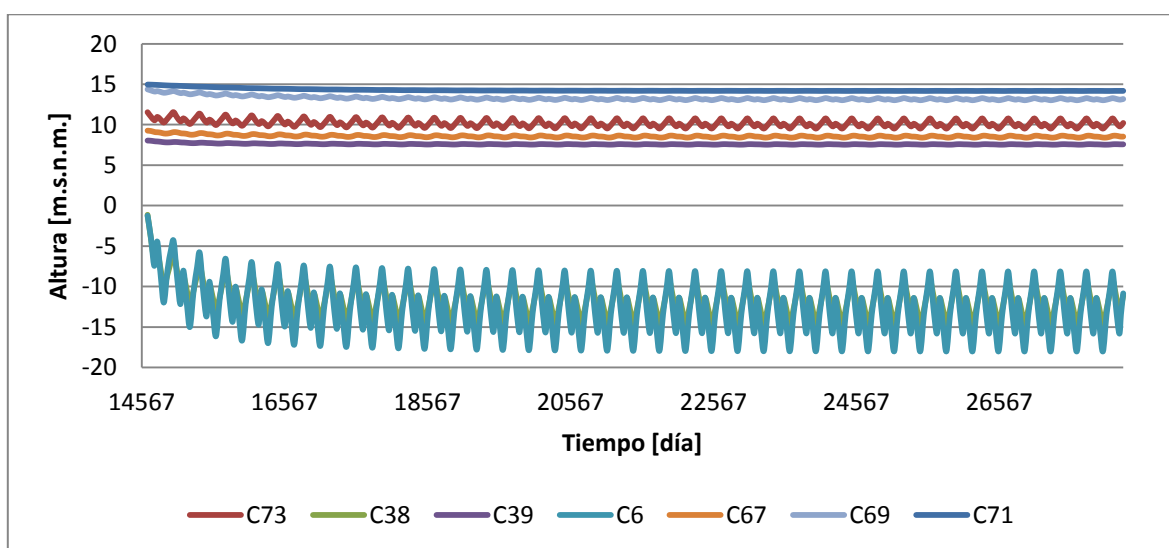
Dueño	N° Pozos	l/s	Obs.
ESVAL P1, P3, P4	3	190	
ESVAL DREN	-	?	Valor Promedio
ENAMI	7	31	
RPC-BOCATOMA	4	38	
RPC-LAJ	3	23	
AG.LASDICHAS	4	290	
APR-VICTORIA	1	7	
BASF	1	4.2	
CORA	1	10	
CURAUMA	2	30	
DANIELSL	5	3.8	
DOS (CEDIDOS)	3	7.4	
LIPIGAS	1	10	
LUISFERNANDEZ	1	0.96	
LUISGAT	1	4	
MAC	1	3.2	
MEGARIDOS	1	10	
EMB.WILLIAMSON	2	24	
SGM	1	5	
VICTORSAV	1	2	
YAROSLAV	1	6.5	
TERMoeLECTRICA	1	7.6	

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.1.1.2. Resultados de modelación en escenario 1.

Con la regla de explotación actual, el sistema se encuentra en equilibrio dinámico sustentable a través del tiempo y aunque se producen descensos considerables en algunos sectores, ningún pozo baja su rendimiento de explotación durante el proceso. Lo anterior se puede apreciar en la FIGURA 6.1, donde se verifica para cada pozo de observación un descenso con tendencia constante. Lo anterior indica que ningún sondaje dejó de funcionar durante toda la modelación.

FIGURA 6.1: Comportamiento de pozos de observación en escenario 1.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Bajo éste escenario de captación todos los sondajes considerados logran captar la cantidad de agua que estaba presupuestada hasta el año 2050, ESVAL por su parte logra extraer 398 l/s del sistema, de un total extraído en la zona igual a 916 l/s. Cabe destacar que la captación del dren fue variable, obteniéndose un valor promedio de 208 l/s.

Tabla 6.3: Extracción ESVAL y total en Escenario 1.

Dueño	Nº Pozos	l/s	Obs.
ESVAL P1, P3, P4	3	190	OK
ESVAL DREN	-	208	Valor Promedio
TOTAL ESCENARIO 1		915.66	
ESVAL ESCENARIO 1		398	

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.1.2. Escenario 2: Operación según derechos constituidos.

6.1.2.1. Modelación en escenario 2.

Para este caso se considerarán los mismos pozos del escenario anterior, sólo que ésta vez, de cada uno de ellos se extraerá el total de los derechos de explotación concedidos por la DGA (Tabla 3.3).

6.1.2.2. Resultados de modelación en escenario 2.

Luego de ejecutar el modelo se puede notar que esta regla de explotación no es sustentable en el tiempo, pues se producen grandes depresiones, llegando a secarse varios sectores dentro del modelo en un tiempo bastante reducido (1 – 2 años). El resultado era esperable y por lo mismo no se ahondará más en el asunto.

En un caso real, un bombeo semejante podría producir descensos por debajo de los sistemas captantes, generando la detención automática de los equipos de bombeo por falta de sumergencia de bombas.

Al utilizar el modelo como una herramienta de estimación de la capacidad del sistema real, se realizó una reducción y/o aumento de los caudales de bombeo. El objetivo es poder determinar reglas de explotación en el sector, que mantengan un equilibrio estable, considerando a todos los actores.

6.1.3. Escenario 3: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados.

6.1.3.1. Modelación en escenario 3

Utilizando como base el marco de explotación obtenido en el punto 6.1.1, se incorporaron a la simulación las extracciones asociadas a los derechos de explotación actualmente en trámite (Tabla 3.4).

Es de esperar que al igual que en el caso anterior, la regla de explotación considerando la extracción del total de los derechos solicitados resulte excesiva, produciendo grandes depresiones de los acuíferos. Por ello, se reducirán los caudales hasta llegar a una explotación factible según el funcionamiento del modelo.

Es importante indicar, que no se reducirá el caudal de los pozos que ya cuentan con derechos de agua (escenario 1), tratando de sentar algún tipo de base, que permita definir por parte de la autoridad competente, cuánto es el caudal que efectivamente se

CAPÍTULO 6: ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO

otorgará a las nuevas solicitudes si llegaran a aprobarse, para no interferir con las explotaciones actualmente vigentes.

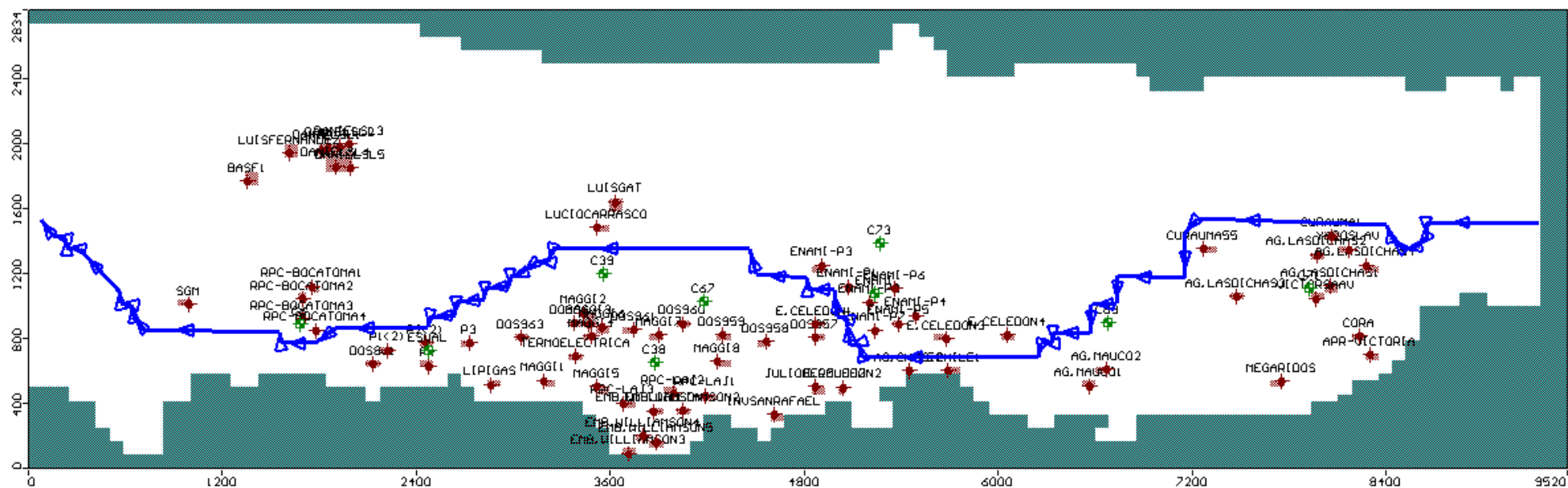
Los pozos que serán considerados en esta modelación se muestran en la FIGURA 6.2. El escenario de explotación factible se obtendrá probando diferentes configuraciones en base a los derechos de cada pozo según lo que se muestra en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4: Pozos considerados en escenario 3.

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]
ESVAL P1, P3, P4	3	223.2
ESVAL DREN	-	415
ENAMI	7	159
RPC-BOCATOMA	4	250
RPC-LAJ	3	150
AG.LASDICHAS	4	290
APR-VICTORIA	1	7
BASF	1	4.2
CORA	1	50
CURAUMA	2	130
DANIELSL	5	3.8
DOS (CEDIDOS)	3	91
LIPIGAS	1	30
LUISFERNANDEZ	1	0.96
LUISGAT	1	4
MAC	1	3.2
MEGARIDOS	1	10
EMB.WILLIAMSON	2	24
SGM	1	6
VICTORSAV	1	2
YAROSLAV	1	6.5
TERMoeLECTRICA	1	7.6
SUBTOTAL		1867.46
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]
AGUAS DE CHILE	2	151
EMB.WILLIAMSON	3	37
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40
LUCIO CARRASCO	2	3
MAGGI S.A.	1	11
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40
SUBTOTAL		646.5

Fuente: Dirección General de Aguas (sitio web)

FIGURA 6.2: Pozos con derechos de agua vigentes y pozos con resolución pendiente.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.1.3.2. Resultados de modelación en escenario 3

Luego de ejecutar el modelo, haciendo variar los caudales extraídos de los pozos de acuerdo a las condiciones establecidas, se obtiene una configuración estable en el tiempo, la cual se muestra a continuación en la Tabla 6.5. Escenarios intermedios y sus resultados se encuentran en el ANEXO 6.1.3.

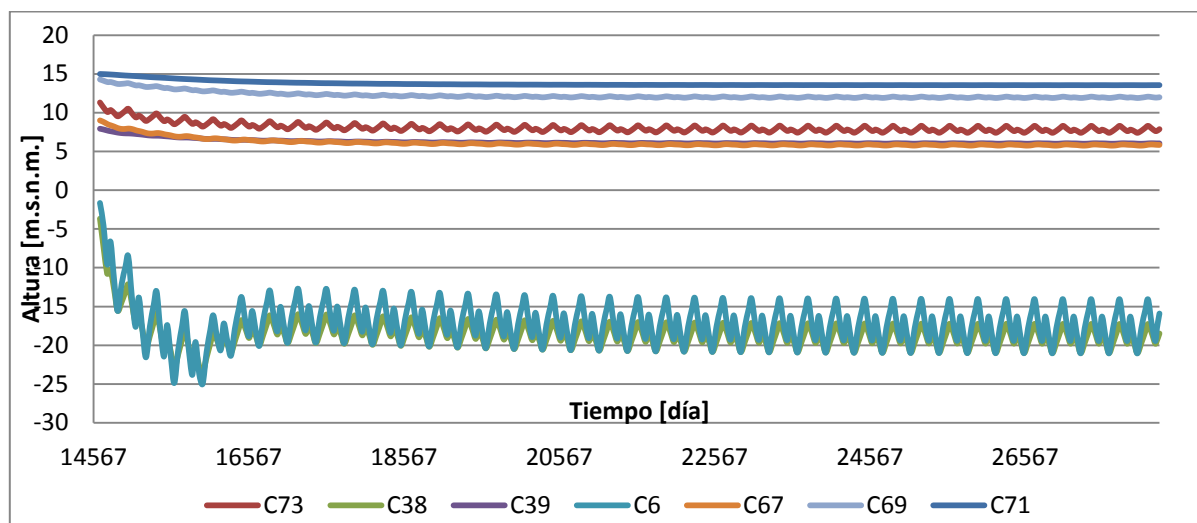
Tabla 6.5: Explotación sustentable en escenario 3.

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	3	223.2	140	63
ESVAL DREN	-	415	156.3	38
ENAMI	7	159	93	58
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	10	42
SGM	1	6	5	83
VICTORSAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
SUBTOTAL		1867.46	861.96	46
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	16	11
EMB.WILLIAMSON	3	37	19	51
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	34	9
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45
SUBTOTAL		646.5	113.5	18

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Destaca de éste escenario la imposibilidad de obtener los 190 l/s para los que se encuentran habilitados los equipos de captación de ESVAL de los pozos P1, P3 y P4 hasta el año 2050; lo anterior debido a las depresiones que se producen aguas arriba por los nuevos sistemas captantes. Gráficamente se puede observar en la FIGURA 6.3, al existir una recuperación de los pozos C6 y C38, ubicados cerca de los pozos de ESVAL. Luego de la recuperación se nota un descenso constante pero equilibrado, debido principalmente a la disminución del caudal captante por ESVAL a 140 l/s durante el tiempo restante de la modelación. En el resto de los pozos de observación se nota un descenso estable en el tiempo.

FIGURA 6.3: Comportamiento de pozos de observación en escenario 3.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Bajo éste escenario de captación, ESVAL logra extraer 296.3 l/s del sistema acuífero, de un total extraído de 975.46 l/s.

6.1.4. Escenario 4: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción.

Actualmente se encuentran en construcción 2 nuevos pozos de parte de ESVAL. Su desarrollo se enmarca en lo señalado en puntos anteriores, donde se espera poder abastecer a la población con la mayor cantidad de agua de subterránea en los meses dónde el caudal del río no da abasto, en desmedro de comprar el déficit al embalse Los Aromos.

ESVAL tiene derechos de agua subterránea cercanos a los 1300 l/s en la desembocadura del río Aconcagua; 190 l/s son explotados actualmente por pozos ubicados en su complejo y 415 l/s son los esperados que aporte el Dren Colmo (situación que no ha sido posible).

Estos 2 nuevos pozos en construcción pretenden aportar 100 l/s adicionales a la captación y funcionarán en el mismo régimen de explotación que los otros sistemas subterráneos pertenecientes a ESVAL, descrito anteriormente.

El primer pozo se ubica unos 200 metros aguas arriba del Dren Colmo y su captación va a ser de la napa confinada, de tal forma de intervenir lo menos posible en la captación del DREN. El segundo pozo se va a ubicar en el sector donde antiguamente funcionaba el pozo DOS 958 de ESVAL y su captación va a ser de ambas napas.

En la FIGURA 6.4 se muestran la ubicación de los pozos dentro del sistema captante.

6.1.4.1. Modelación en escenario 4.

Se busca agregar al escenario anterior la acción de los nuevos pozos de ESVAL. Se procurará no influir en las extracciones ya proyectadas en los puntos anteriores, de modo que de no ser posible captar los 100 l/s esperados por ESVAL, se reducirá la acción de los nuevos pozos hasta obtener un escenario estable.

6.1.4.2. Resultados de modelación en escenario 4.

En la Tabla 6.6 se señalan las extracciones de todos los pozos que permiten que el sistema se mantenga en equilibrio bajo este escenario.

Lo más destacable, fue que al extraer los 100 l/s adicionales proyectados por ESVAL se producían grandes depresiones en los pozos de la Embotelladora Williamson, por lo que hubo que reducir la explotación de los nuevos pozos a 30 l/s cada uno, resultando sustentable en el tiempo. De la misma manera que en el caso anterior, del sector donde se encuentran los pozos P1, P3 y P4 de ESVAL es imposible obtener los 190 l/s para los que se encuentran habilitados los equipos de captación, lo anterior debido a las depresiones que se producen aguas arriba por los nuevos sistemas captantes (Escenarios intermedios se adjuntan en ANEXO 6.1.4.).

La FIGURA 6.5 ilustra el comportamiento de los pozos de observación. De acuerdo a lo señalado en el párrafo anterior, para el caso de los pozos C6 y C38 el

CAPÍTULO 6: ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO

comportamiento es similar al del escenario anterior, lo que permitiría finalmente una extracción de los pozos P1, P3 y P4 igual a 140 l/s sustentable hasta el año 2050.

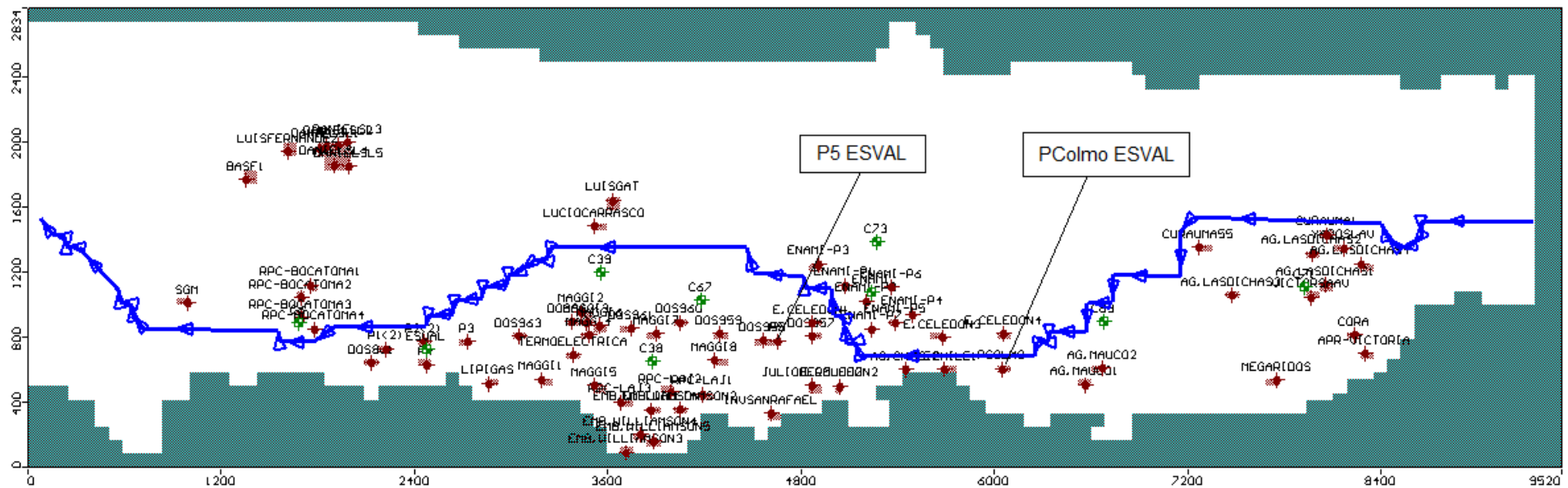
Bajo éste escenario de captación, ESVAL logra extraer 338.9 l/s del sistema acuífero, de un total extraído de 994.06 l/s

Tabla 6.6: Explotación sustentable en escenario 4.

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	3	223	140	63
ESVAL DREN	-	415	138.9	33
P5 ESVAL	1	50	30	60
PCOLMO ESVAL	1	50	30	60
ENAMI	7	159	55	35
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
SUBTOTAL		1967.26	880.56	45
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	16	11
EMB.WILLIAMSON	3	37	19	51
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	34	9
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45
SUBTOTAL		646.5	113.5	18

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

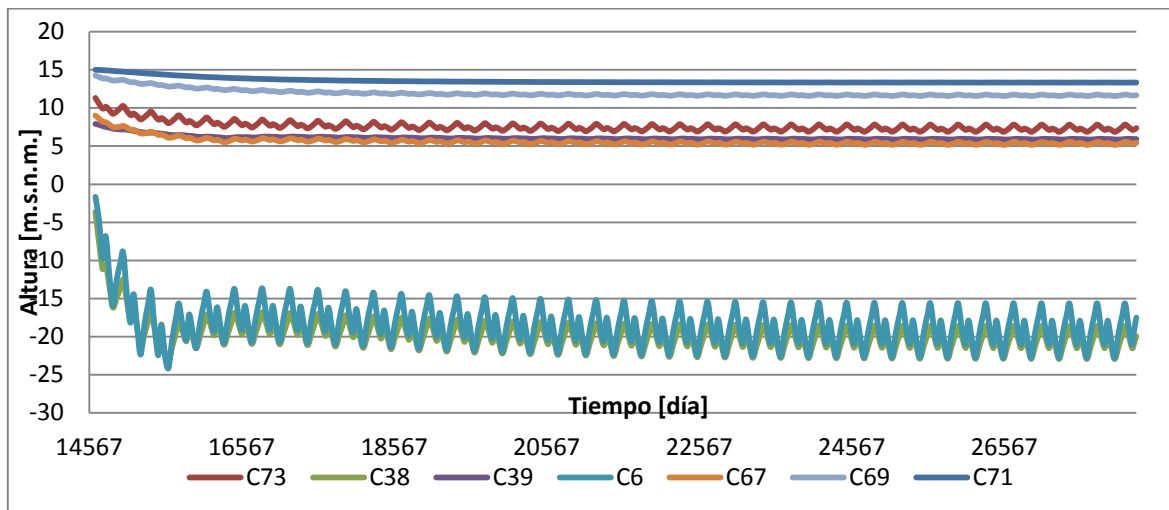
FIGURA 6.4: Pozos con derechos de agua vigentes, pozos con resolución pendiente pozos de ESVAL en construcción.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

UTM PSAD 56		UTM Modelo		H hab.	Napa	Dueño	Q der	Usos
6354776	270323	776	4656	50	VN	ESVAL - P5	50	P
6354602	271714	602	6047	38	VN	ESVAL - Pcolmo	50	P

FIGURA 6.5: Comportamiento de pozos de observación en escenario 4.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.1.5. Escenario 5: Operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL.

Se propone un nuevo escenario de captación, con la idea de poder obtener el máximo provecho de la zona acuífera en estudio, sobretodo en el sector aguas arriba de Puente Colmo que se encuentra explotado en menor medida y podría aportar con varios l/s adicionales al sistema de ESVAL. Por ello se recomienda la construcción de **seis nuevos pozos** en el sector recién descrito, distribuidos adecuadamente.

Existen actualmente pocas solicitudes de derechos de agua en el sector mencionado y antiguamente ESVAL poseía varios pozos que se encontraban habilitados en él. En esta parte, el acuífero presenta una composición completamente libre que permite realizar sondajes profundos y aprovechar la totalidad de lo excavado para captar agua.

6.1.5.1. Modelación en escenario 5.

La geometría del acuífero ilustrada en capítulos anteriores (Figura 5.2) presenta un sector de mucha profundidad donde se ubicarían los nuevos pozos P7, P8 y P9 de ESVAL (Entre 80 y 100 m) que permitiría captar de la napa más profunda, la cual no tiene gran demanda, pudiendo obtener buenos rendimientos de los pozos. Por lo anterior los

pozos se considerarán penetrando ambos acuíferos y llegando hasta la roca. Los pozos P6, P10, P11 se ubicarían en un sector que presenta profundidades entre los 50 y 70 m, se proyecta que las profundidades de ellos también lleguen hasta la roca con el objetivo de lograr captar la mayor cantidad de agua posible. Las coordenadas de los pozos se presentan junto a la Figura 6.6.

Respecto a los caudales específicos de captación, para que el escenario de explotación sea estable en tiempo se debe mantener la política adoptada con anterioridad. Para ello se consideran los mismos sondeos propuestos en el escenario 4 y se incluirá la captación de los seis nuevos pozos de ESVAL extrayendo caudales que no afecten la estabilidad de los pozos antiguos en el sistema.

De cada uno de los pozos de ESVAL propuestos se busca extraer 50 l/s y captarían el agua desde napas profundas, procurando intervenir lo menos posible en la captación desde el Dren Colmo. Idealmente la captación debe realizarse hasta atravesar completamente las napas y llegar a la roca para aprovechar al máximo la explotación. Las características constructivas de cada uno de los pozos nuevos se mostrarán en el próximo capítulo.

En la FIGURA 6.6 se muestran la ubicación de los pozos dentro del sistema captante.

6.1.5.2. Resultados de modelación en escenario 5.

Lo más destacable en éste escenario es que se obtuvo el caudal requerido desde los nuevos pozos, sin embargo, se afectó en gran medida el rendimiento del Dren Colmo. En la Tabla 6.6 se señalan las extracciones de todos los pozos que permiten que el sistema se mantenga en equilibrio, Escenarios intermedios se adjuntan en el ANEXO 6.1.5.

Cabe resaltar que la condición de borde establecida para al extremo oriente del modelo permite realizar casi cualquier tipo de captación en ese sector, ya que al ser una condición de nivel constante, entrega agua sin ningún problema a medida que se le va solicitando, situación que en la realidad no ocurre de esa manera. Para corroborar la veracidad del escenario propuesto, se hicieron funcionar los nuevos pozos a caudales mayores. Lo anterior produjo descensos excesivos en las napas, sobretodo aguas abajo del Puente Colmo, haciendo poco factible explotar en mayor medida el sector y acercando el modelo a una situación real.

CAPÍTULO 6: ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICO

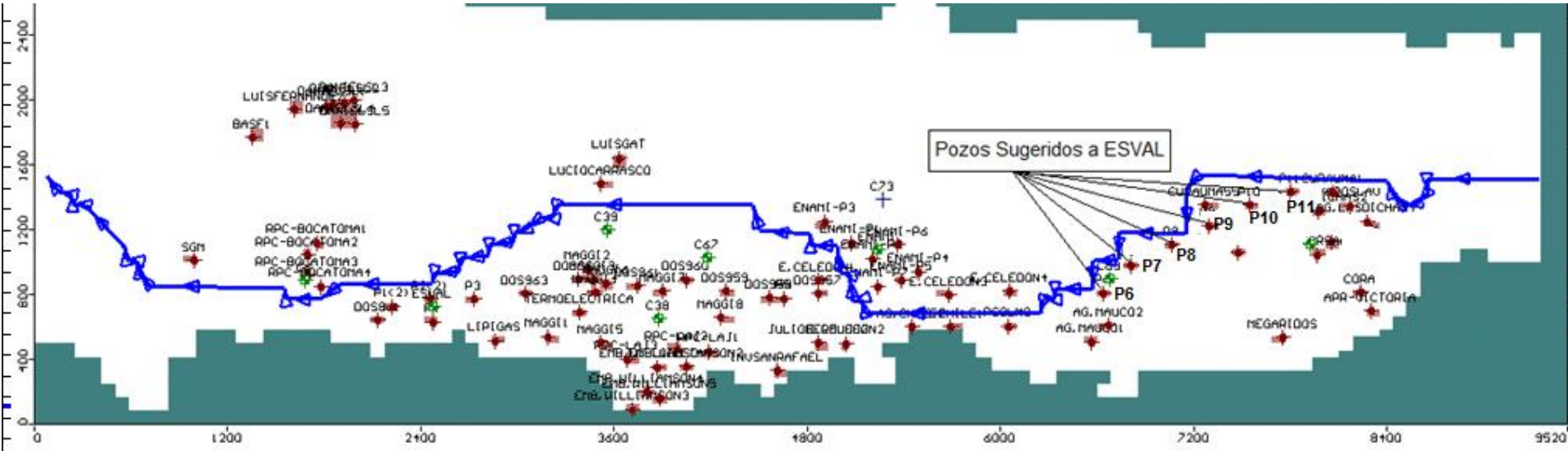
La FIGURA 6.7 ilustra el comportamiento de los pozos de observación. Para el caso de los pozos C6 y C38 el comportamiento es similar al del escenario anterior, lo que permite finalmente una extracción de los pozos P1, P3 y P4 igual a 140 l/s sustentable hasta el año 2050.

Tabla 6.7: Explotación sustentable en escenario 5.

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	2	233	140	60
ESVAL DREN	-	415	75.2	18
P5 ESVAL	1	50	30	60
PCOLMO ESVAL	1	50	30	60
P6 ESVAL	1	50	50	100
P7 ESVAL	1	50	50	100
P8 ESVAL	1	50	50	100
P9 ESVAL	1	50	50	100
P10 ESVAL	1	50	50	100
P11 ESVAL	1	50	50	100
ENAMI	7	159	55	35
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
SUBTOTAL		2277.26	1116.86	49
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Máx. Posible Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	16	11
EMB.WILLIAMSON	3	37	19	51
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	34	9
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45
SUBTOTAL		646.5	113.5	18

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.6: Pozos con derechos de agua vigentes, pozos con resolución pendiente más pozos pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL.

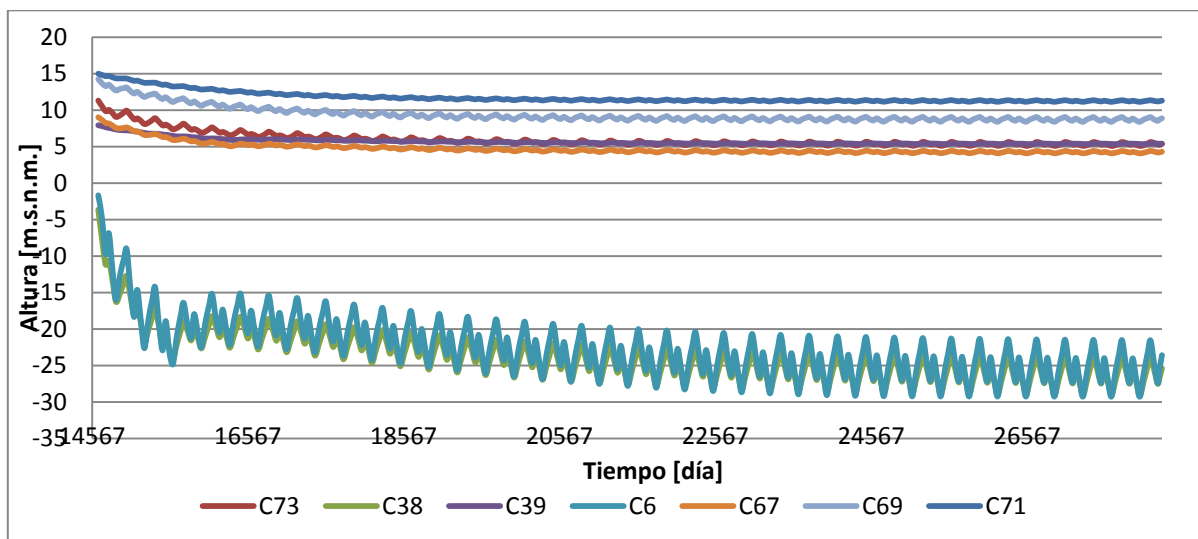


Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

UTM PSAD 56		UTM Modelo		H hab.	Napa	Dueño	Q der	Usos
6354809	272308	809	6641	58	VN	ESVAL - P6	50	P
6354979	272478	979	6811	80	VN	ESVAL - P7	50	P
6355106	272731	1106	7064	93	VN	ESVAL - P8	50	P
6355226	272961	1226	7294	78	VN	ESVAL - P9	50	P
6355353	273216	1353	7549	52	VN	ESVAL - P10	50	P
6355435	273472	1435	7805	51	VN	ESVAL - P11	50	P

Bajo éste escenario de captación, ESVAL logra extraer 575.2 l/s del sistema, de un total extraído de 1230.36 l/s. Logrando la mayor extracción considerando los 5 escenarios analizados.

FIGURA 6.7: Comportamiento de pozos de observación en escenario 5.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.2. REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN EN CADA ESCENARIO DE EXPLOTACIÓN.

A través de las FIGURAS 6.8 a la 6.14 se muestra la evolución en el tiempo de los niveles de los acuíferos estudiados, obtenidos a través de la ejecución del modelo MODFLOW para cada uno de los marcos de explotación sustentables definidos en los puntos anteriores. Estos niveles son los apreciados en los pozos de observación, siendo los pozos C6 y C38 los que observan el comportamiento del acuífero confinado y los pozos C39, C67, C69, C71 y C73 los que observan al acuífero libre.

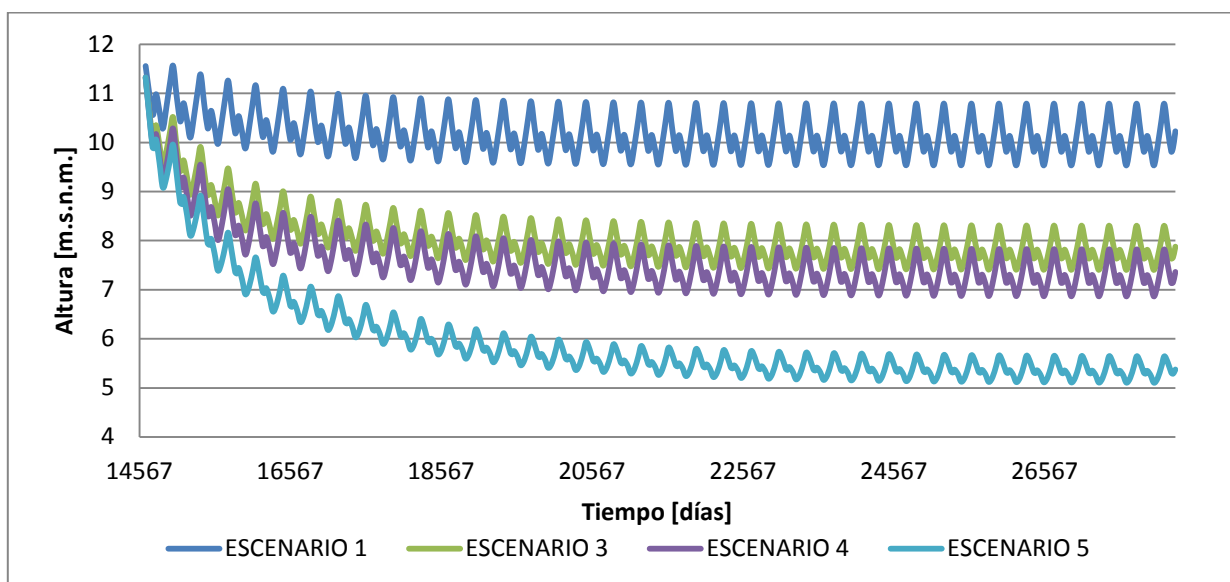
Pueden establecerse los siguientes resultados como aproximaciones del comportamiento de los niveles piezométricos del sistema real modelado:

- Como se puede ver en el gráfico del pozo DGA – C6 (FIGURA 6.12), los niveles en el acuífero confinado bajan desde 1 m.s.n.m. hasta -26 m.s.n.m. para el mayor caudal de extracción posible. Lo mismo ocurre para el caso del pozo DGA – C38 (FIGURA 6.14). En ambos casos se genera una diferencia del orden de 27 m con respecto al acuífero superficial.

Puede notarse también el momento en donde la napa confinada ya no es capaz de seguir entregando los 190 l/s en el complejo de ESVAL, generando recuperación del acuífero entre los días 15800 y 16800 (entre años 2015 y 2018) para luego comenzar a deprimirse nuevamente.

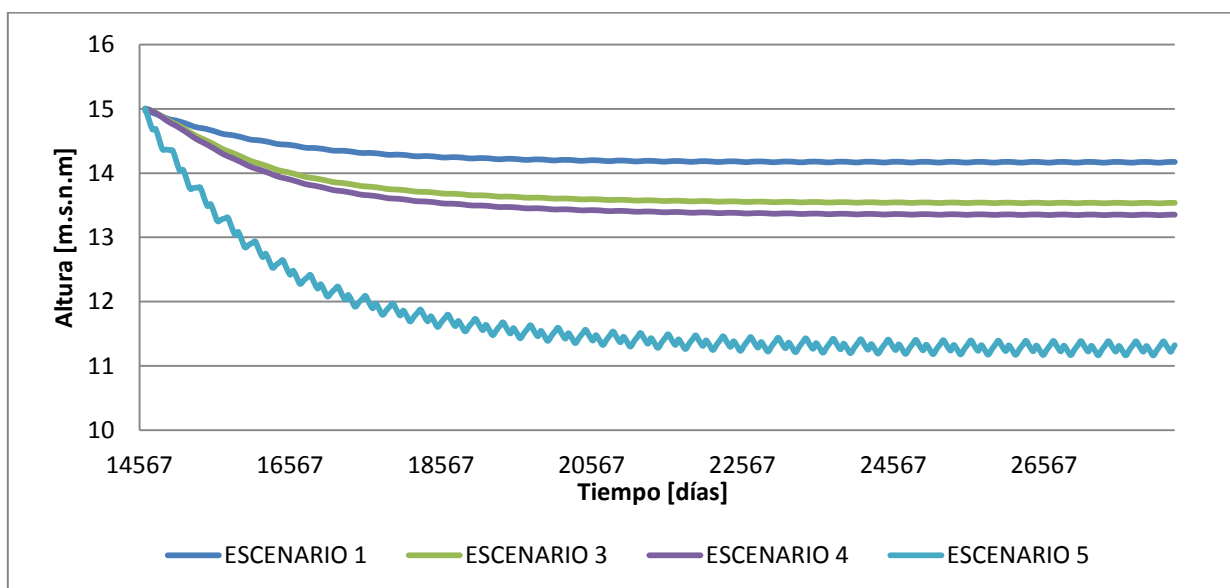
- De los 7 casos analizados puede notarse que al combinar extracciones intensas en ambos acuíferos, se genera un gran desequilibrio del sistema. Por un lado la extracción aguas arriba limita la recarga del acuífero confinado y por el otro, el acuífero confinado, actúa como un medio muy efectivo de propagación de depresiones hacia zonas ubicadas considerablemente aguas arriba. De esta manera se produce una interferencia mutua que desequilibra los flujos del sistema.
- Al observar el comportamiento del pozo DGA – C39 (FIGURA 6.13) se puede ver que ante el escenario más complejo de explotación, sufre una depresión de 2.5 m, quedando a 5.5 m.s.n.m. Con esa información se puede afirmar que en la napa libre no alcanza a invertirse el flujo producto de las depresiones, siendo siempre de oriente a poniente.
- La condición de borde de nivel constante en la entrada oriente del flujo a la zona acuífera, pudo haber influido en alguna manera importante en la estabilidad en el tiempo de las captaciones, sin embargo, como se explicó anteriormente, se realizaron escenarios de explotación de prueba, en donde se generaba una extracción aún mayor de la zona aguas arriba del Puente Colmo, la cual generó desestabilización aguas abajo en varios pozos. Lo anterior permite considerar el último escenario de explotación como un escenario posible, sin embargo, se recomienda no construir todos los pozos al mismo tiempo y realizar pruebas de bombeo con “extracciones mixtas”, es decir, de varios pozos a la vez, a fin de controlar de mejor manera la interferencia entre ellos.

FIGURA 6.8: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C73 (NL).



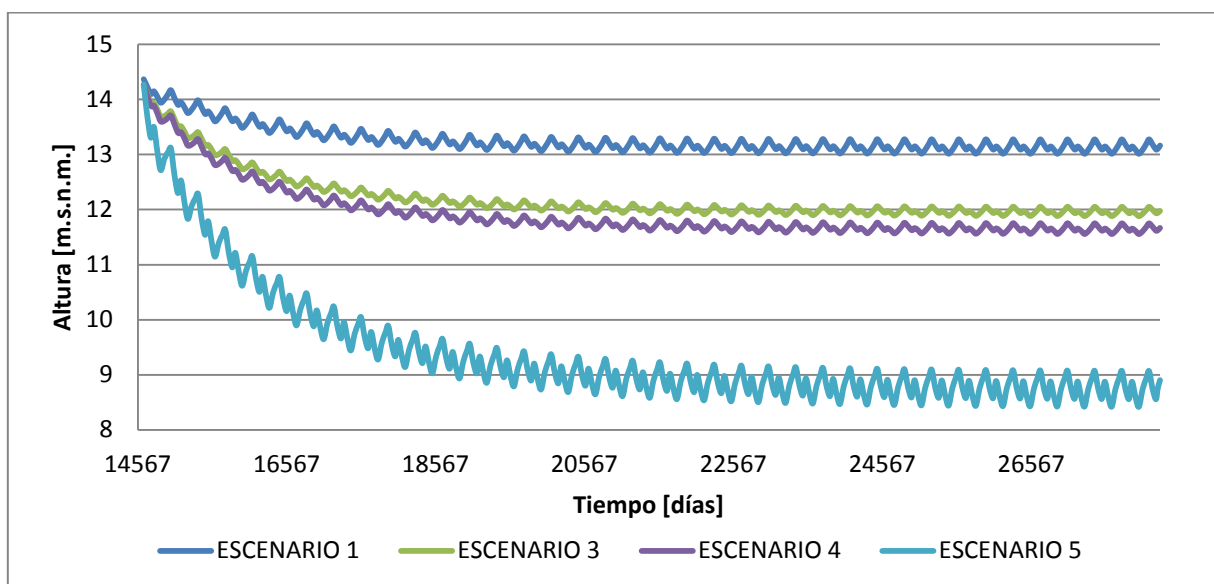
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.9: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C71 (NL).



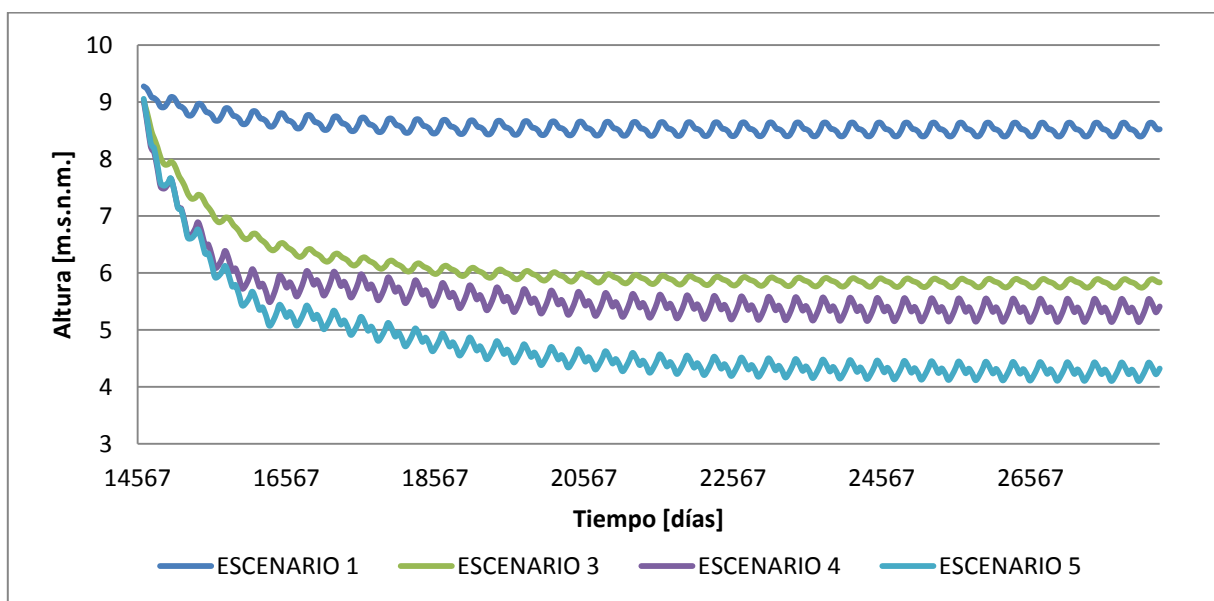
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.10: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C69 (NL).



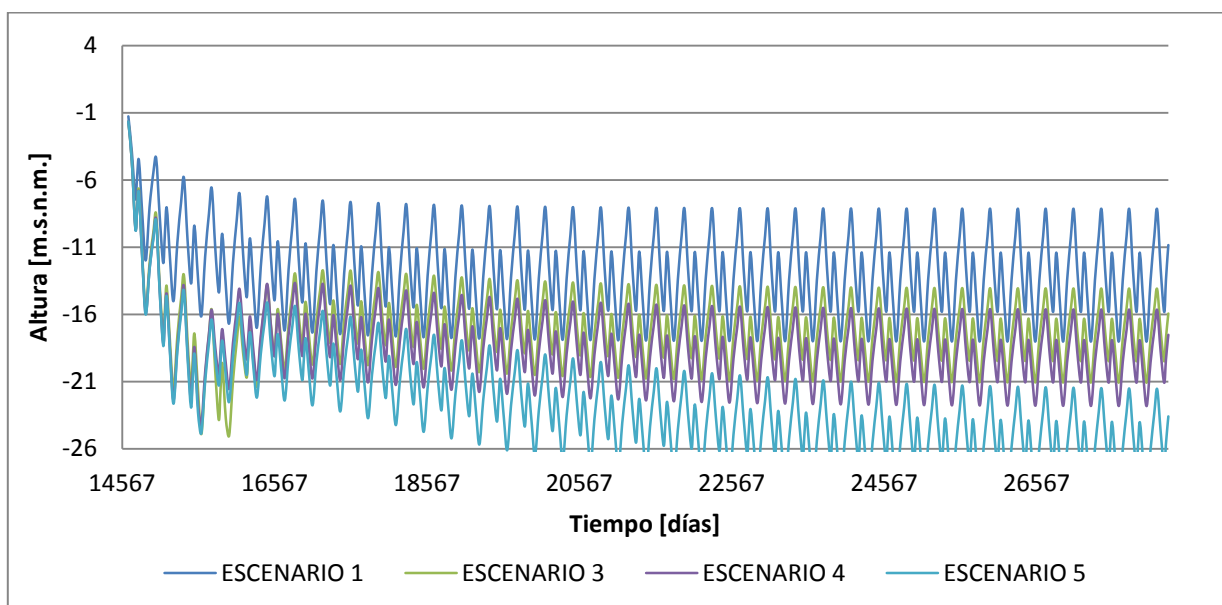
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.11: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C67 (NL).



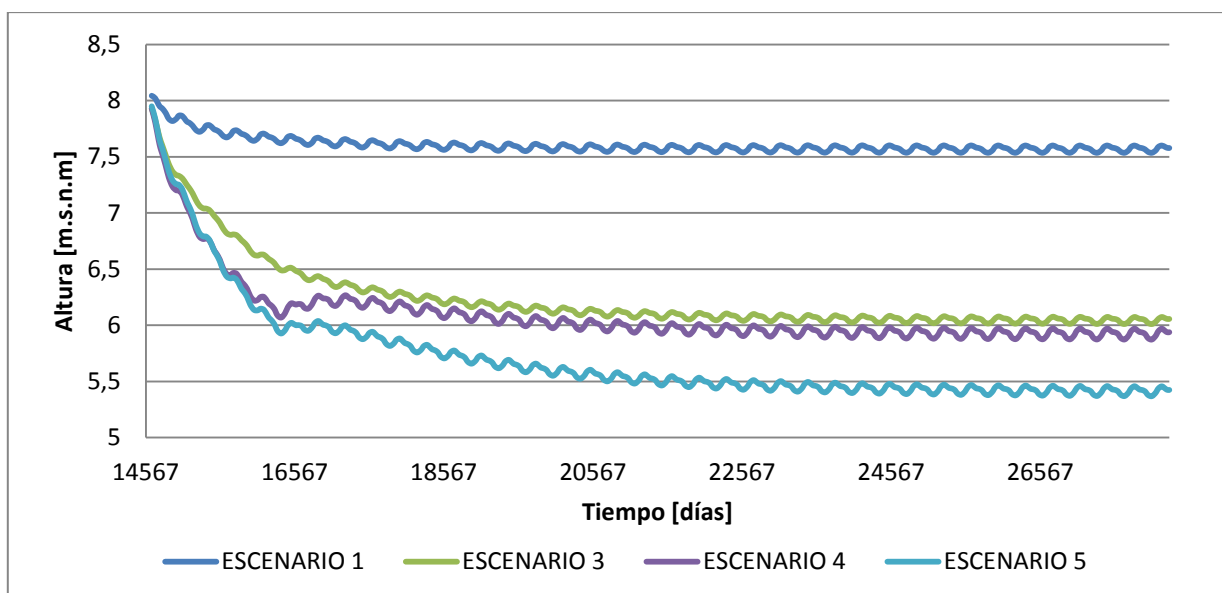
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.12: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C6 (NC).



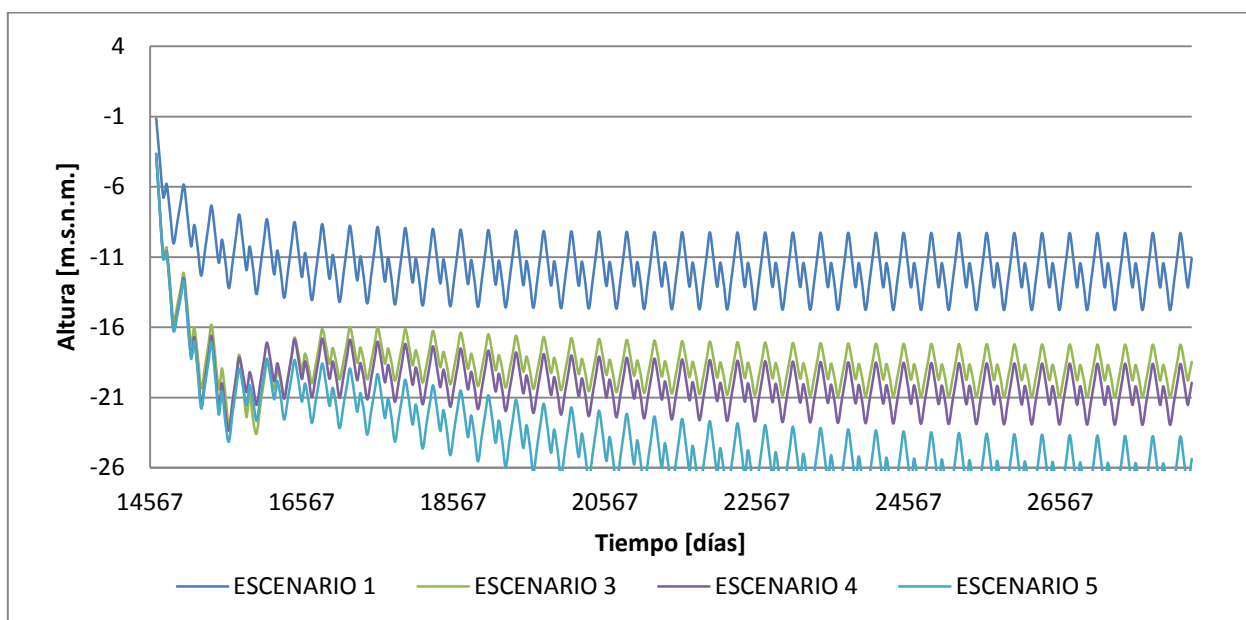
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.13: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C39 (NL).



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.14: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C38 (NC).



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

6.3. ESCENARIO DE EXPLOTACIÓN ELEGIDO PARA ANÁLISIS ECONÓMICO.

De los escenarios de explotación analizados en el punto anterior, el que mejores resultados entregaría, es el “Escenario 5” descrito en el subcapítulo 6.1.5 (operación según derechos constituidos más derechos solicitados más pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL). Lo anterior debido a que se pudo generar un esquema de explotación para los usuarios del sector, que respeta sus derechos y mantiene un equilibrio en el tiempo, extrayendo de manera sostenida, por parte de ESVAL, una cantidad de agua superior a la que se pudo lograr extraer en los otros escenarios (575.2 l/s).

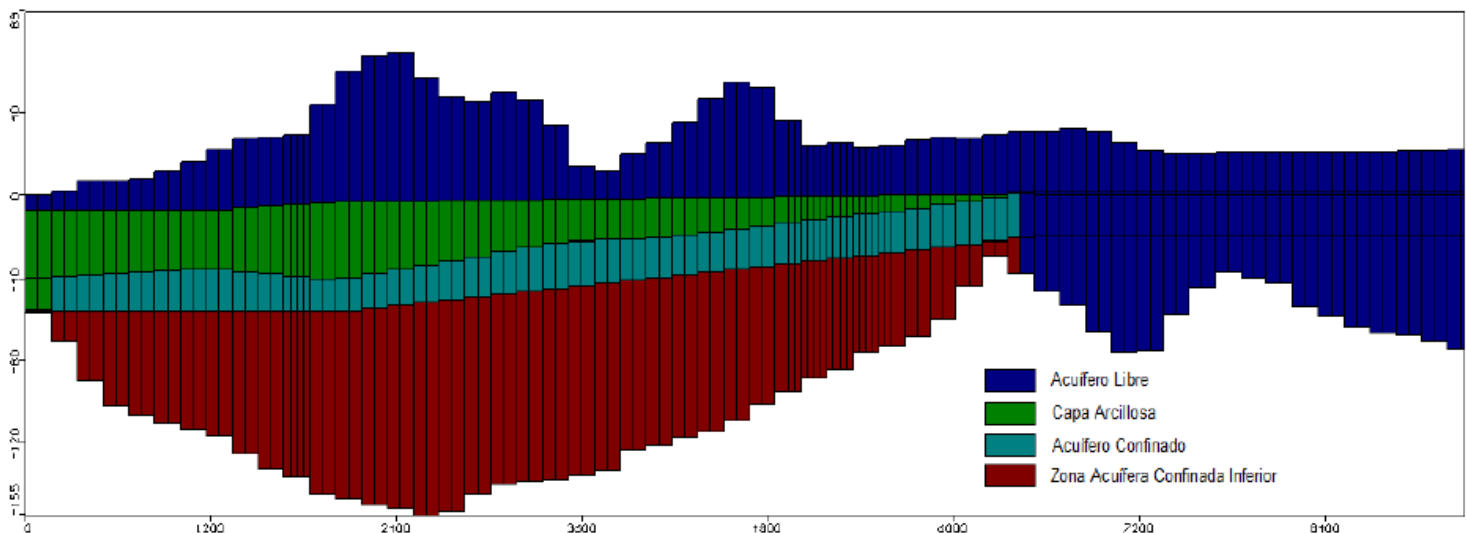
El escenario elegido contempla la creación de seis nuevos sondajes, en sectores donde la explotación de los acuíferos es aún moderada.

Finalmente los 575.2 l/s que entregaría el nuevo escenario de explotación no son suficientes para satisfacer la demanda de agua en el sector, por lo que, de todas formas habría que seguir comprando agua al embalse Los Aromos, sin embargo, en menor medida.

6.4. INTRUSIÓN MARINA.

Una variable que no contempla el análisis de los escenarios de explotación, es la intrusión marina que podría producirse en la zona confinada, sobre todo por la sobreexplotación en los escenarios finales. Para considerarla en alguna medida, sólo a modo de verificación, se procedió a ejecutar el escenario 5 (subcapítulo 6.1.5) en el modelo MODFLOW, definiendo las primeras dos filas de las zonas confinadas como celdas impermeables (FIGURA 6.15). De ésta manera se trata de evitar que el agua salada ingrese en la zona mencionada.

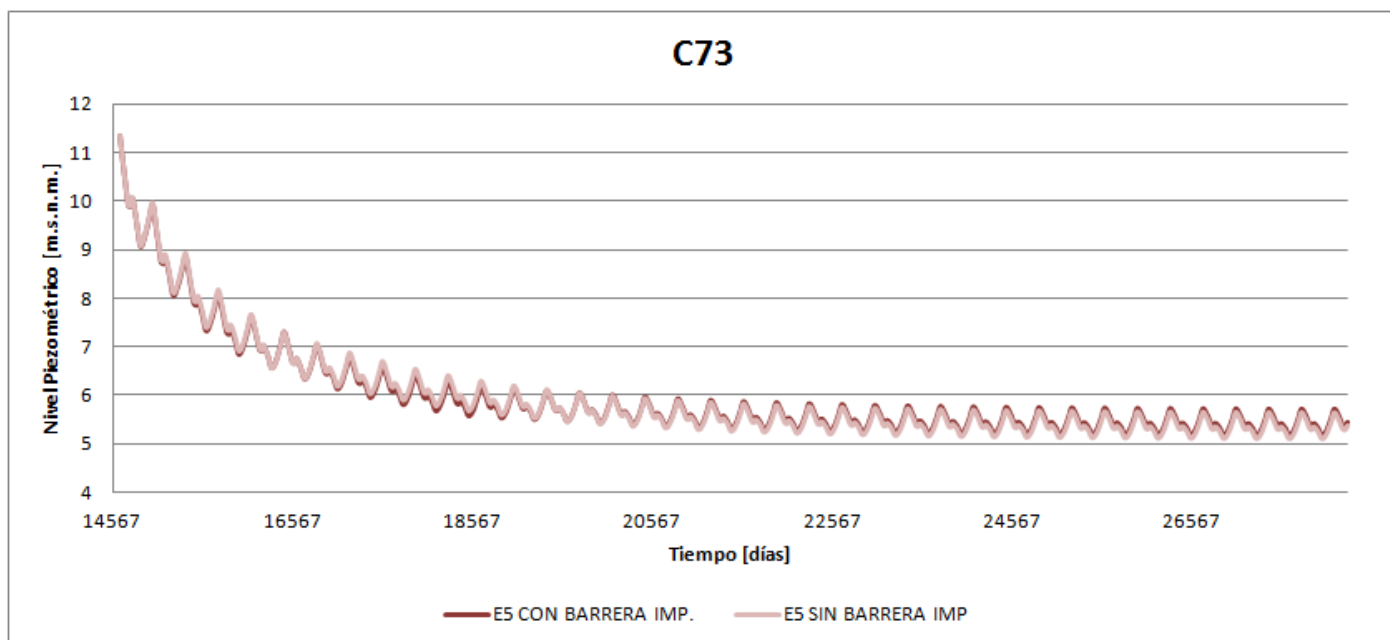
FIGURA 6.15: Perfil longitudinal de modelo MODFLOW, considerando límite impermeable de acuífero confinado.



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

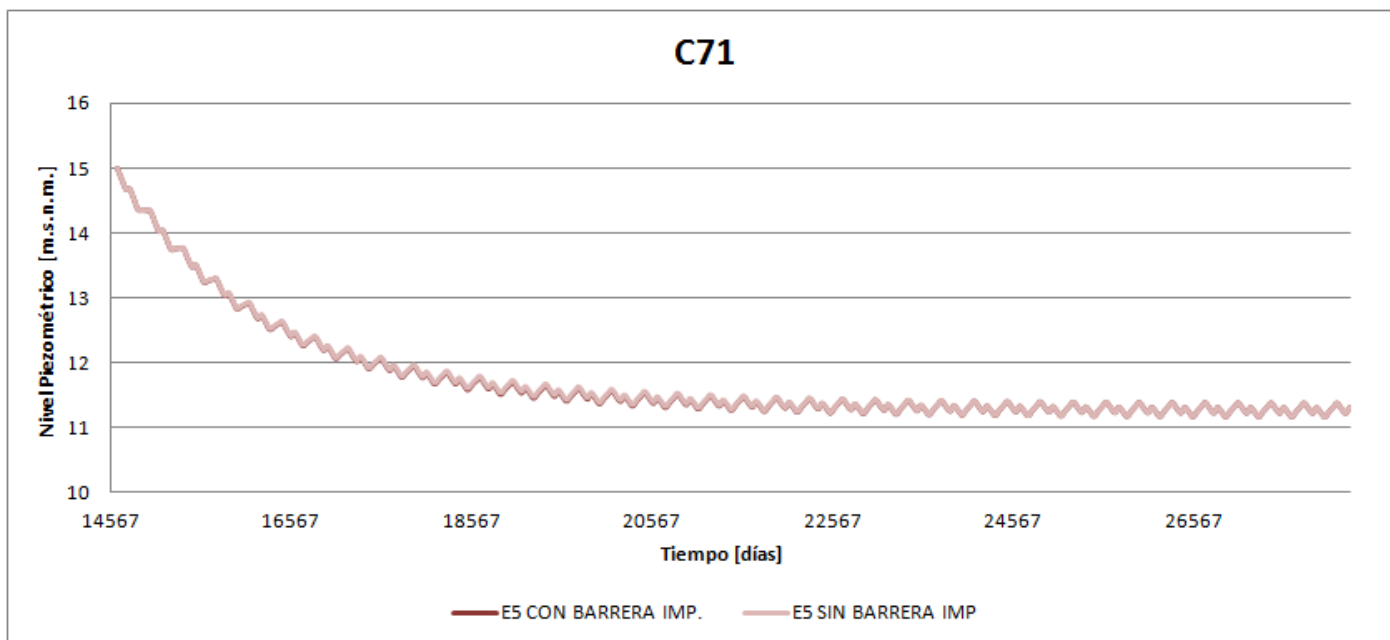
El análisis de intrusión marina se realizó en base a la variación de la altura piezométrica de los pozos de observación del sector, ante la inclusión de la condición de borde impermeable mencionada. Lo anterior se verifica en las FIGURAS 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21 y 6.22.

FIGURA 6.16: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C73 (NL).



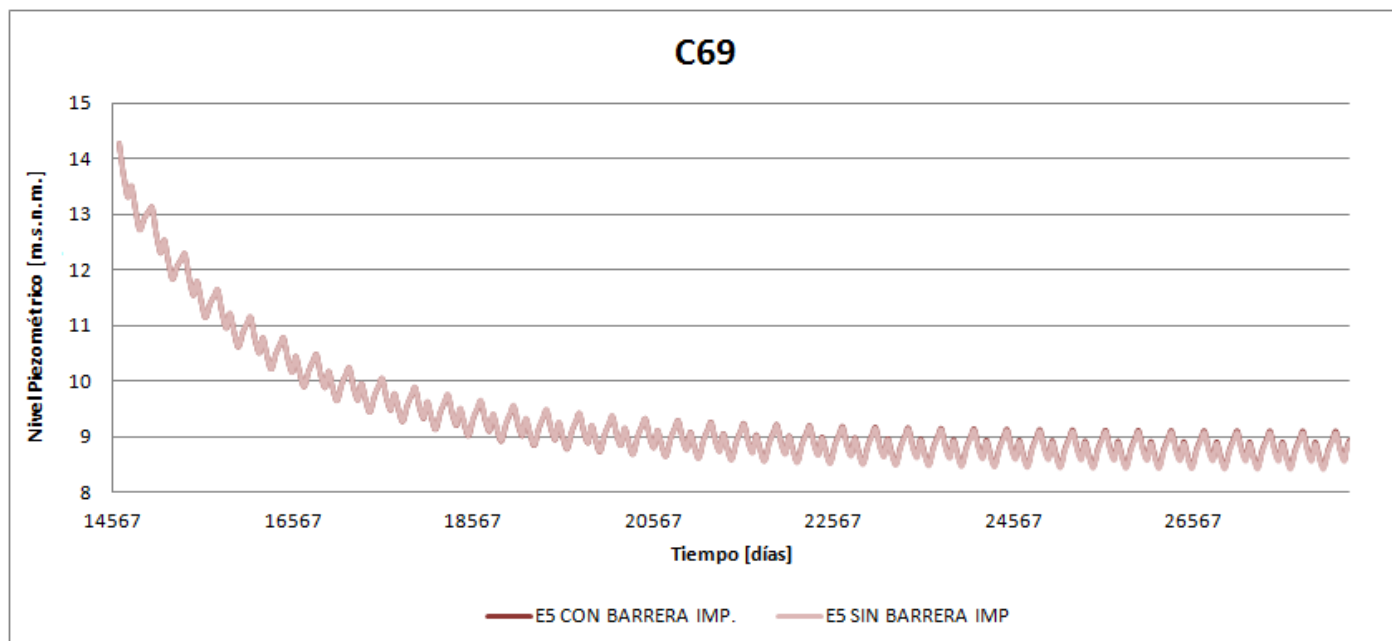
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.17: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C71 (NL).



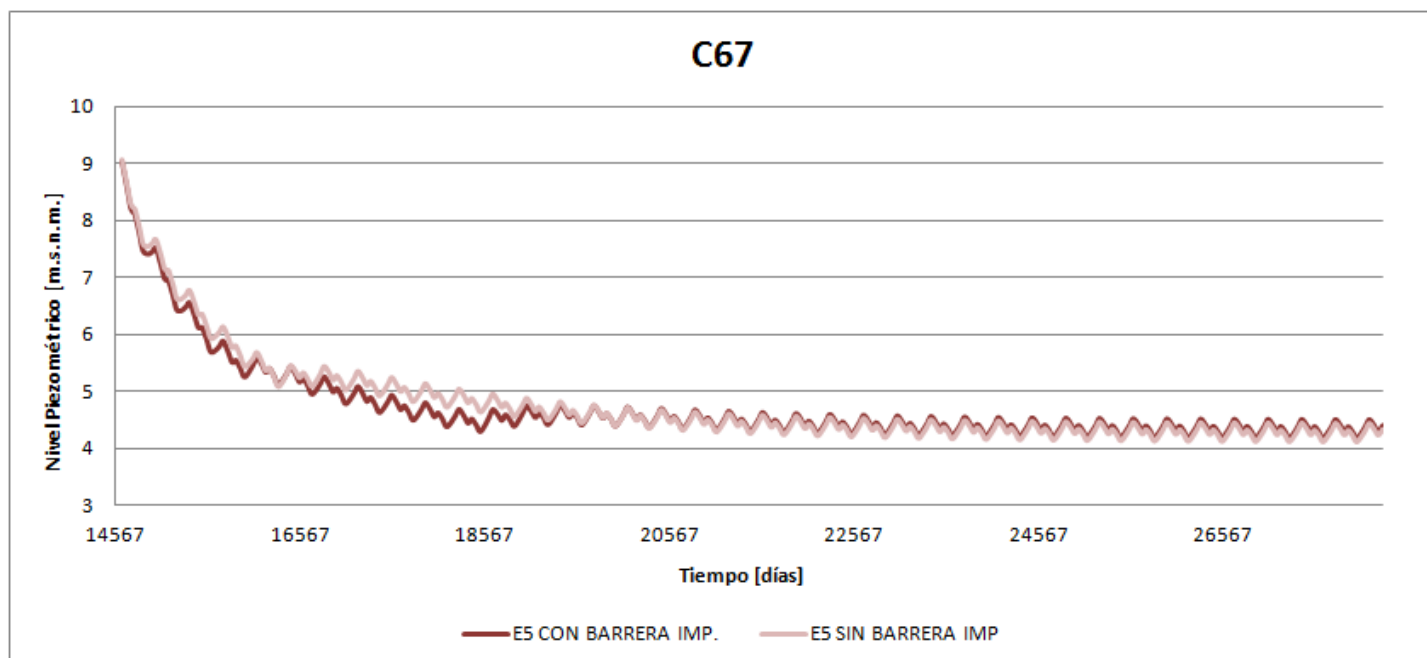
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.18: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C69 (NL).



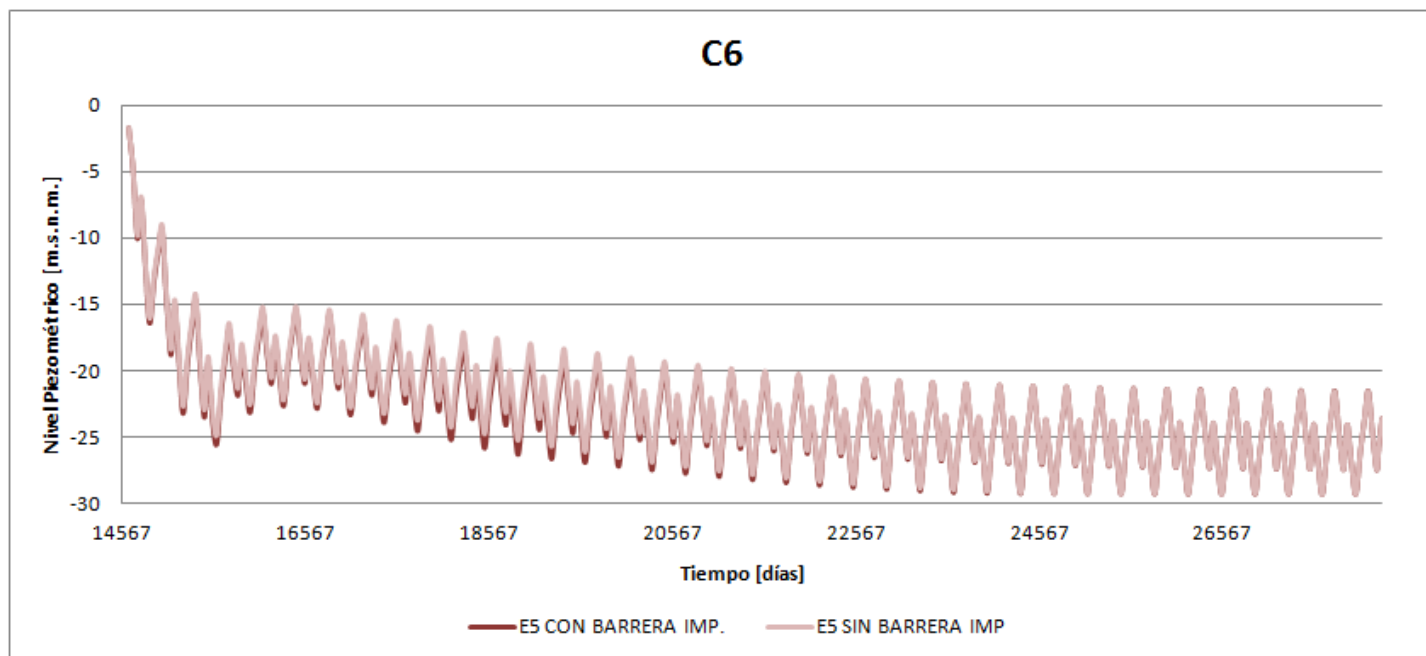
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.19: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C67 (NL).



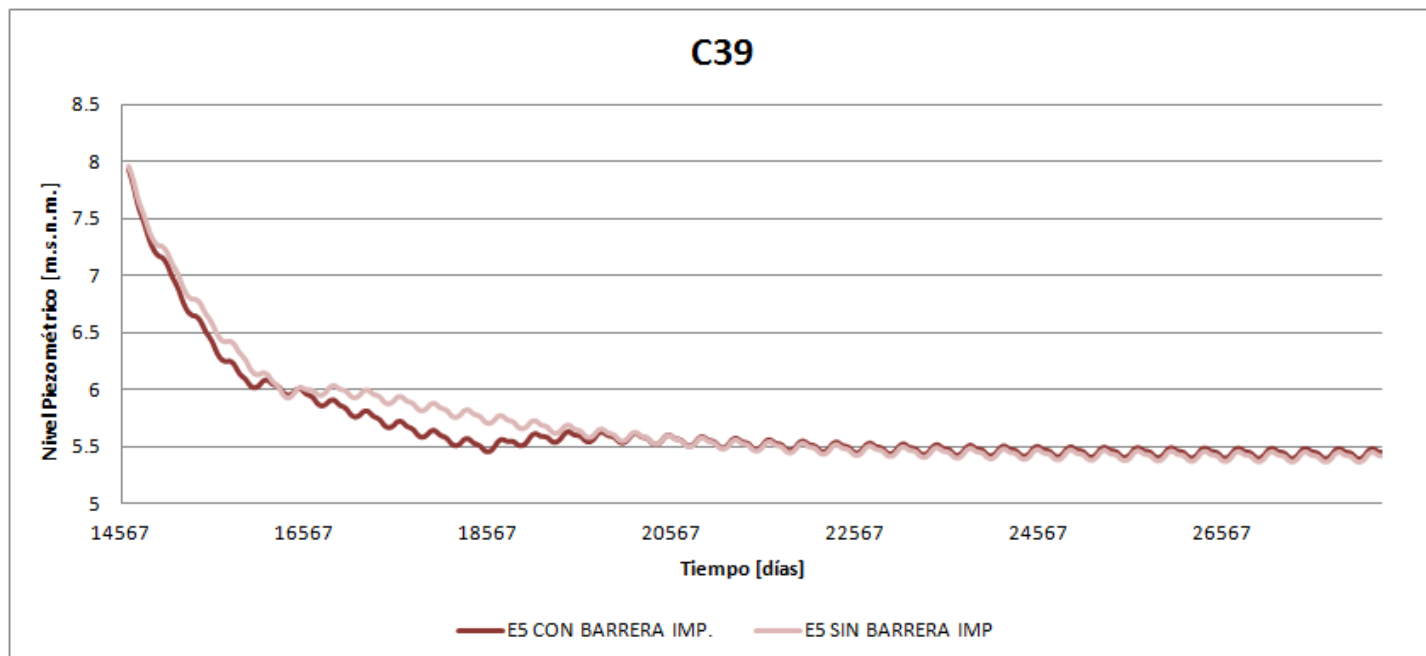
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.20: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C6 (NC).



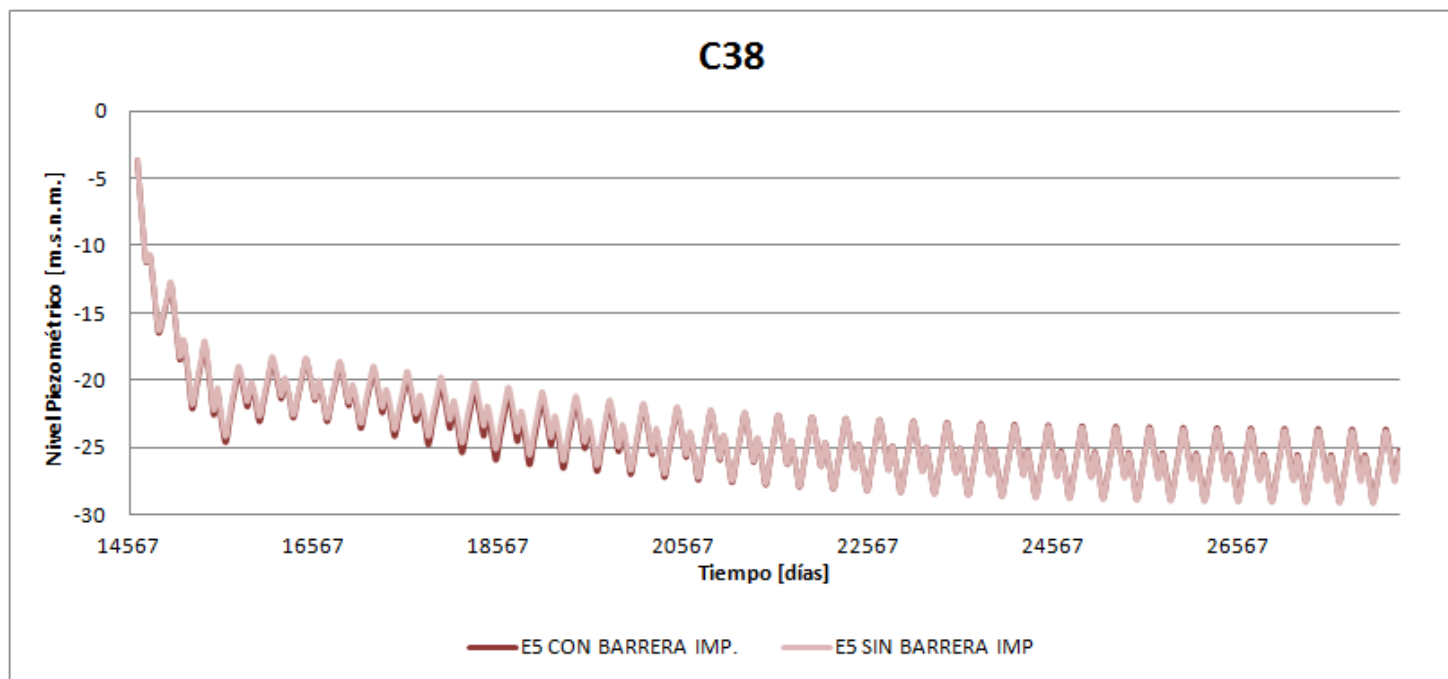
Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.21: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C39 (NL).



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 6.22: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C38 (NC).



Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

Del análisis gráfico en los pozos de observación se desprende que sí existe intrusión marina (niveles de pozos de observación se deprimen en mayor medida con barrera impermeable), sin embargo, no es significativa ya que las variaciones de los niveles se producen en pequeñas magnitudes, siendo imperceptibles en algunos casos.

De todas maneras, ante la evidencia presentada en los resultados anteriores, se hace imprescindible generar mecanismos de control de los niveles de salinidad del agua subterránea, los que deben ser considerados para la planificación de explotaciones futuras, sobre todo en las zonas de mayor cercanía a la costa.

Por otro lado, se propone la ejecución de medidas que pudieran llegar a disminuir los efectos de la intrusión marina, tal como es el caso de la generación de una recarga artificial en la zona de mayor riesgo. Sin embargo, ésta alternativa no se analizará en ésta memoria, pudiendo ser tema de trabajos futuros.

7. FACTIBILIDAD ECONÓMICA: CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS POZOS.

De acuerdo a lo propuesto en el capítulo anterior, es factible técnicamente aumentar la explotación subterránea de la zona acuífera de la desembocadura del río Aconcagua por parte de ESVAL (de 398 l/s a 575.2 l/s). Si se logra establecer la regla de explotación propuesta en el subcapítulo 6.1.5, es perfectamente posible la construcción de nuevos sondajes, sobretodo en la zona aguas arriba del Dren Colmo, cuya explotación todavía es pequeña.

Como se mencionó al principio de esta memoria, ESVAL debe entregar a la población una cantidad de agua que llega a los 1700 l/s en algunos períodos y durante los meses de déficit en sus fuentes, compra el agua faltante al embalse Los Aromos, quienes al abrir su compuerta de descarga, hacen llegar el agua a la planta de tratamiento de agua de ESVAL en Concón, a través del estero Limache. El precio de compra de agua al embalse Los Aromos es de 0.002 UF/m³.

En éste capítulo se busca contrastar económicamente la generación de los nuevos pozos modelados anteriormente, versus el comprar el déficit de agua al embalse en épocas de sequía. Esperando llegar a la alternativa más conveniente, considerando como caudal máximo comparativo, los 575.2 l/s que pueden obtenerse mediante extracción subterránea.

Por lo anterior, se entiende que si el resultado llegara a ser positivo, promoviendo finalmente la construcción de nuevas fuentes subterráneas, aún así habría que seguir comprando agua al embalse Los Aromos, claro que en menor cantidad, tal como se mencionó en el capítulo anterior.

Para poder comparar ambas alternativas, se consideraron todos los costos asociados a cada escenario, involucrando tanto los generados al hacer llegar el agua a la planta, como los relacionados con el tratamiento de ella.

Uno de los métodos más comunes para evaluar proyectos y comparar económicamente diferentes escenarios, es la utilización del VAN (Valor Actual Neto), descrito anteriormente y que será la herramienta que permitirá realizar comparaciones en este capítulo.

7.1. ALTERNATIVAS ECONÓMICAS.

A fin de poder comparar alternativas, se debe tener en claro que el caudal máximo que se puede obtener de los acuíferos es igual a 575.2 l/s (Escenario 5) y se da sumando todas las fuentes subterráneas disponibles en el sector, es decir, pozos existentes, Dren Colmo y pozos proyectados.

Sólo es factible una comparación si se hace considerando la misma cantidad de m³ captados en el período en análisis, ya que de esa forma es efectivo discriminar que alternativa es más conveniente.

7.1.1. Alternativa 1 (con proyecto): Abastecimiento total subterráneo.

En esta alternativa se considerará que el total de los 575.2 l/s son extraídos desde agua subterránea, considerando los pozos antiguos y nuevos, además del Dren Colmo.

En éste momento ESVAL está construyendo dos pozos (P5 y PColmo) y de acuerdo a lo propuesto en el capítulo anterior se deberían construir seis pozos adicionales, tres el año siguiente y tres el subsiguiente.

Las características físicas de cada uno de los pozos se especifican en la Tabla 7.1 y en las FIGURAS 7.1, 7.2 y 7.3 pueden verse físicamente de acuerdo a lo entregado en el modelo de Visual MODFLOW.

Los costos considerados para el análisis fueron entregados por ESVAL y corresponden en su mayoría a valores promedio acorde a cada costo específico.

Los costos se separarán en tres grupos:

- Costos inversión: Son la inversión para la generación de uno o más pozos nuevos.
- Gasto de energía: Son los relacionados con el funcionamiento de los equipos de bombeo que llevan el agua a la planta de tratamiento.
- Gasto de tratamiento: Específicamente se refiere a los químicos utilizados en el tratamiento de agua.

Tabla 7.1: Características Físicas Pozos Proyectos.

Pozo	H habilitación [m]	Cribas 1		Cribas 2		Ø [in]	Empaque de Grava [m]
		INICIO [m]	FIN [m]	INICIO [m]	FIN [m]		
P5	50	6	13	29	48	14	40
PColmo	38	18	38	-	-	14	30.4
P6	58	15	57.5	-	-	14	46.4
P7	80	17	80	-	-	14	64
P8	93	17.5	91	-	-	14	74.4
P9	78	18	74.5	-	-	14	62.4
P10	52	19	51.5	-	-	14	41.6
P11	51	20	50	-	-	14	40.8

Fuente: Modelo Visual Modflow 2010.1 generado para Memoria.

FIGURA 7.1: Pozos P5, PColmo y P6

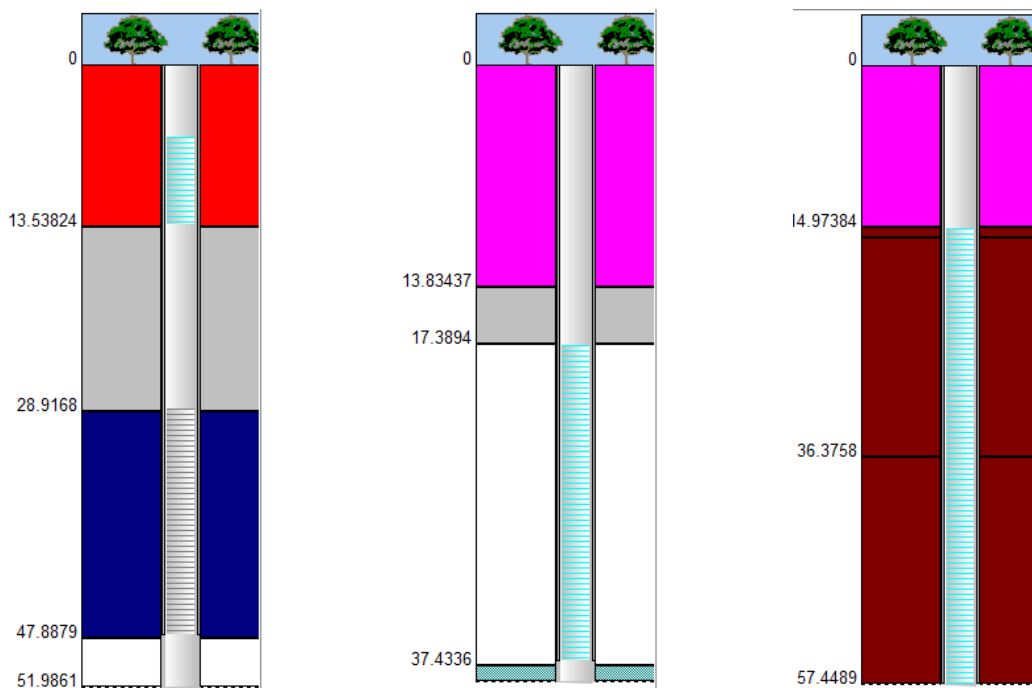


FIGURA 7.2: Pozos P7, P8 y P9

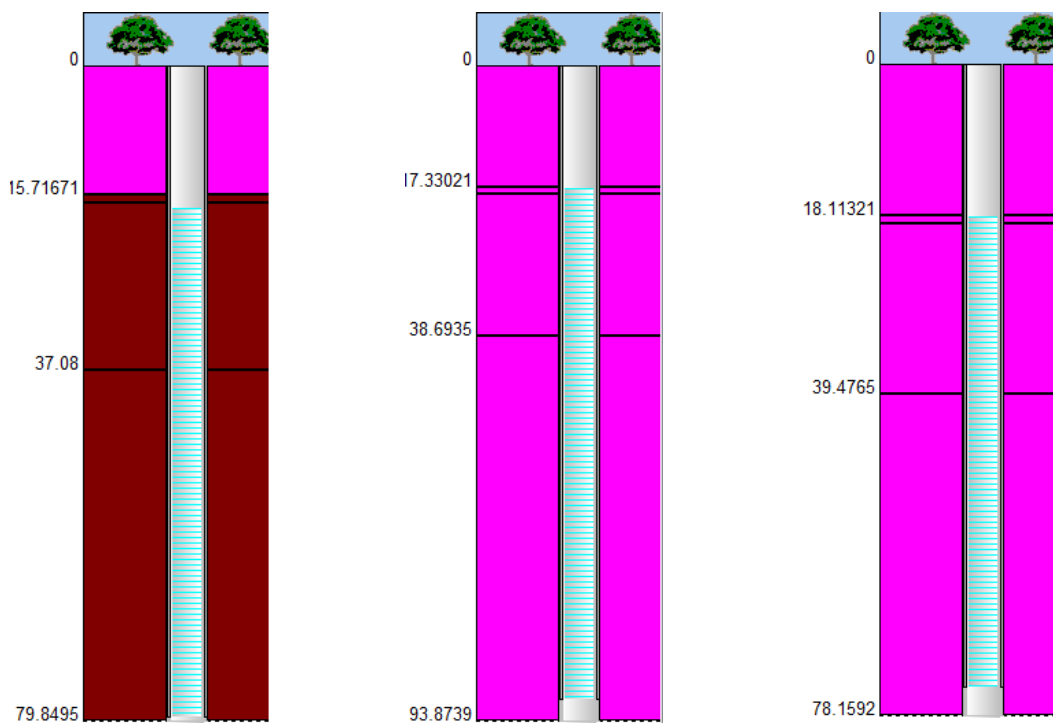
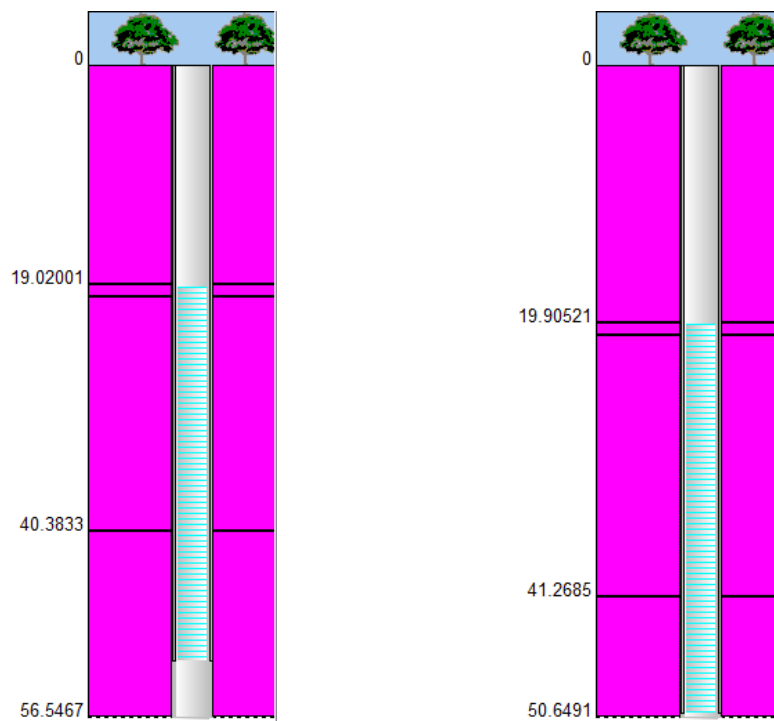


FIGURA 7.3: Pozos P10 y P11



7.1.1.1. Costos de inversión.

Los costos de inversión son los que tienen que ver directamente con la opción de generar nuevos pozos para abastecimiento de agua, dentro de ellos se encuentran: Costos de construcción, costos de instalaciones eléctricas, costos de habilitación de pozos y los costos de conducción pozos – PTA.

Para la construcción de los pozos, ESVAL ha contratado a la empresa especializada HIDROCIVIL. En la siguiente Tabla se muestra el listado de cobros por cada tarea específica realizada por HIDROCIVIL, que será utilizada como base para la estimación de los costos de construcción de todos los pozos de 14 [in].

Tabla 7.2: Costos de construcción - HIDROCIVIL.

COSTO CONSTRUCCIÓN POZO D=14"					
Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Cantidad	P5*
Instalación de Faenas	Gl	1.00	\$ 986,708.00	1.00	\$ 986,708.00
Perforación (26" - 24" - 20")	ml	1.00	\$ 396,500.00	50.00	\$ 19,825,000.00
SUBTOTAL			\$ 1,383,208.00		\$ 20,811,708.00
Sistema Captante					
Entubación Definitiva de 14 ", e=7.92 mm	ml	1.00	\$ 104,050	24.00	\$ 2,497,200.00
Instalación de Cribas de Acero Inoxidable 16"	ml	1.00	\$ 136,690	26.00	\$ 3,553,940.00
Suministro de Cribas de Acero Inoxidable 16"	ml	1.00	\$ 62,880	26.00	\$ 1,634,880.00
Suministro y Colocación de Empaque de Grava	ml	1.00	\$ 36,500	40.00	\$ 1,460,000.00
Desarrollo	Gl	1.00	\$ 1,450,000	1.00	\$ 1,450,000.00
Desinfección de Pozo	Gl	1.00	\$ 160,000	1.00	\$ 160,000.00
Sello de Fondo	Gl	1.00	\$ 55,750	1.00	\$ 55,750.00
Sello Sanitario en Concreto 170 kg/m3	ml	1.00	\$ 39,400	3.00	\$ 118,200
SUBTOTAL			\$ 2,045,270		\$ 10,929,970
Pruebas de Bombeo					
Transporte e instalación de grupo de prueba	Gl	1.00	\$ 700,000	1.00	\$ 700,000.00
Prueba de Gasto Variable	Hr	1.00	\$ 45,470	24.00	\$ 1,091,280
Prueba de Gasto Constante	Hr	1.00	\$ 45,470	24.00	\$ 1,091,280
Prueba de Recuperación	Gl	1.00	\$ 235,000	1.00	\$ 235,000.00
Análisis Físico, Químico y Bacteriológico	Gl	1.00	\$ 300,000	1.00	\$ 300,000.00
Plano de Construcción e Informe Final	Gl	1.00	\$ 420,000	1.00	\$ 420,000.00
Monitoreo Televisivo Pozo	Gl	1.00	\$ 750,000	1.00	\$ 750,000.00
SUBTOTAL			\$ 2,495,940		\$ 4,587,560
			TOTAL DIRECTO NETO	\$ 5,924,418	\$ 36,329,238
			Gastos Generales	\$ 6,677,287	\$ 6,677,287
			Utilidades	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
			TOTAL NETO	\$ 14,601,705	\$ 45,006,525
			19% IVA	\$ 2,774,324	\$ 8,551,240
			TOTAL	\$ 17,376,029	\$ 53,557,765

Fuente: Datos de construcción de Hidrocivil

La tabla anterior indica que la variación en el precio de la obra, radica principalmente en la cantidad de metros lineales del sondaje (entubación, cribas, empaque de grava, etc.). Las especificaciones generales de cada pozo fueron ilustradas en la Tabla 7.1 y son las que se utilizarán para la estimación de la construcción de cada pozo. A modo de ejemplo se especificó en detalle los costos del pozo P5.

Para los costos de las instalaciones eléctricas (empalmes, conducciones, etc.) se estimó un valor de \$12.000.000 por cada pozo. El valor adoptado fue establecido de acuerdo a antecedentes de instalaciones eléctricas anteriores realizadas en pozos de ESVAL.

Para los costos de la habilitación de cada pozo se estimó un valor de \$10.000.000 por cada uno. Además se incluye un costo por concepto de cambio de equipo de bombeo, mantención de pozos y tuberías igual a \$7.000.000 cada 5 años, por cada fuente subterránea (antigua o nueva). Debe también incluirse un costo anual de \$2.000.000 por cada fuente subterránea por concepto de mantención.

Para los costos de la conducción del agua desde los pozos a la planta de tratamiento de ESVAL, se consideró un costo igual a \$80.000 por cada metro adicional de tubería. En la zona prevista para la construcción de los nuevos sondajes, se cuenta con una tubería principal, la cual llevaba antiguamente el agua de los pozos, pertenecientes a ESVAL, a la planta de tratamiento. Actualmente esta tubería se encuentra habilitada, por lo que, debe considerarse la conducción sólo desde los pozos hacia ella. La estimación de las distancias fue realizada en base a un plano generado el año 2006 por el ingeniero Juan Carlos Castillo (ANEXO 7.1), donde se muestra de buena forma la ubicación de los pozos antiguos y nuevos en el sector y la tubería principal de conducción.

Todos los costos iniciales, específicos por cada sondaje, se muestran en la Tabla 7.3

Tabla 7.3: Costos de inversión.

Pozo	Costo Construcción [\$]	Instalación Eléctrica [\$]	Cañería [m]	Costo Conducción [\$]	Costo Habilitación [\$]	TOTAL [\$]
P5	\$ 53,557,764.75	\$ 12,000,000.00	5.00	\$ 400,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 75,957,764.75
Pcolmo	\$ 45,310,921.95	\$ 12,000,000.00	60.00	\$ 4,800,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 72,110,921.95
P6	\$ 60,533,354.35	\$ 12,000,000.00	165.00	\$ 13,200,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 95,733,354.35
P7	\$ 76,675,585.35	\$ 12,000,000.00	180.00	\$ 14,400,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 113,075,585.35
P8	\$ 86,291,677.85	\$ 12,000,000.00	115.00	\$ 9,200,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 117,491,677.85
P9	\$ 75,073,773.95	\$ 12,000,000.00	155.00	\$ 12,400,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 109,473,773.95
P10	\$ 55,614,251.35	\$ 12,000,000.00	290.00	\$ 23,200,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 100,814,251.35
P11	\$ 54,756,511.25	\$ 12,000,000.00	325.00	\$ 26,000,000.00	\$ 10,000,000.00	\$ 102,756,511.25
TOTAL						\$ 787,413,840.80

Fuente: ESVAL S.A.

7.1.1.2. Gasto de energía.

Se ejecutó un cálculo simple, considerando la cantidad de m³ de agua subterránea captada por los pozos de ESVAL y el costo energético asociado al proceso en los últimos tres años. Lo anterior nos entregó un costo eléctrico igual a 12.11 \$/m³, por lo que el costo total dependerá exclusivamente de la cantidad de m³ que se capten en cada período.

El cálculo del costo eléctrico unitario se muestra a continuación en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Gasto de energía.

Mes	Agua Subterránea [m ³ /mes]			Costo eléctrico [\$/mes]		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Ene	301642	275178	260444	\$ 195,437	\$ 3,645,975	\$ 1,967,892
Feb	234442	244090	60631	\$ 6,951,207	\$ 1,290,674	\$ 2,219,714
Mar	179674	213987	0	\$ 308,089	\$ 1,613,494	\$ 468,793
Abr	212833	58674	0	\$ 559,265	\$ 593,692	\$ 874,262
May	159968	0	373137	\$ 6,104,346	\$ 303,525	\$ 719,169
Jun	0	0	313775	\$ 2,777,375	\$ 335,191	\$ 1,206,057
Jul	0	0	238068	\$ 300,391	\$ 326,804	\$ 427,200
Ago	0	0	290817	\$ 91,032	\$ 287,729	\$ 481,322
Sep	0	0	335685	\$ 394,263	\$ 482,088	\$ 9,126,261
Oct	0	0	0	\$ 1,662,175	\$ 620,192	\$ 0
Nov	269639	0	0	\$ 1,529,793	\$ 454,774	\$ 0
Dic	333558	30203	0	\$ 1,515,344	\$ 1,373,817	\$ 0
Total Anual	1691757	822133	1872558	\$ 22,388,717	\$ 11,327,955	\$ 17,490,670
\$/m ³	2011	2012	2013	\$/m³ promedio		
	13.2	13.8	9.3	12.1		

Fuente: ESVAL S.A.

7.1.1.3. Gasto de tratamiento.

El gasto unitario de tratamiento de aguas se obtuvo directamente de información entregada por ESVAL.

En éste caso, sólo se consideró el costo de los químicos, pues las fuentes de agua, involucran químicos diferentes, siendo efectivamente comparable un escenario frente a otro. No se consideró ningún otro costo relacionado con el tratamiento, puesto que en ambos casos (Agua de Embalse o Subterránea) los costos adicionales son exactamente los mismos (electricidad en tratamiento, etc.).

El costo promedio asociado al tratamiento del agua subterránea se considera igual a 8 [\$/m³] durante todo el año.

7.1.1.4. Ingresos por venta de agua.

El Ingreso por venta de agua se incluirá en el cálculo de factibilidad económica, por la simple razón de obtener números positivos en el balance, que ayuden a dimensionar con mayor exactitud los beneficios que pudiera traer la mejor alternativa.

Se asumirá que toda el agua captada se vende al mismo precio, el cuál ha sido calculado en base al promedio de los precios de venta, publicados en la página web de ESVAL, para las localidades de Puchuncaví, Concón, Reñaca, Quintero y Viña del Mar, como lo indica la Tabla 7.5.

Debe considerarse además que la distribución del agua tiene pérdidas cercanas al 40%, producto de diversos factores, dentro de los que destacan las filtraciones y los robos.

Tabla 7.5: Precio promedio establecido para la venta del agua.

Localidad	\$/m³
Viña del Mar	626.31
Con con	626.31
Puchuncaví	498.7
Quintero	498.7
Reñaca	626.31
Promedio	575.266

7.1.1.5. Análisis VAN.

Se procedió a ejecutar un análisis del tipo VAN, para determinar el comportamiento de la inversión en el tiempo y saber si los resultados serían favorables y en qué medida. Se debe tener en cuenta que se considera como año 0 al año presente, y que el resultado de lo hecho en un año se percibe al siguiente, es decir, todos los gastos ejecutados durante el año 0 se cargan al año 1, salvo el caso de las inversiones (costos de inversión), que se cargan de manera inmediata.

El análisis detallado del cálculo de cada uno de los gastos se muestra en el ANEXO 7.2. El cálculo del VAN se realizó en base a la (Ec. 7 – 1) y puede verse en la Tabla 7.6.

Se calculó el VAN para 20 años a modo de poder percibir su evolución en el tiempo. Para el análisis se utilizó una tasa de descuento de un 7%, entregada por ESVAL y amparada en la tasa comparativa que entrega una empresa sanitaria modelo en servicios económicos que funcionan como monopolio.

De la variable Q_n que involucra el flujo de caja puede desprenderse cierto equilibrio en tiempo, sin embargo, existen variaciones en aquellos años que se generan inversiones de algún tipo, como por ejemplo, los cambios de equipos de bombeos.

Tabla 7.6: Análisis VAN de la opción de extraer los 575.2 l/s desde los acuíferos en la desembocadura del río Aconcagua.

n [año]	l/s	Ventas [\$/año]	Inversión [\$/año]	Gastos [\$/año]	r	Q_n [\$/año]	VAN acumulado [\$/año]
0	0	\$ 0.00	-\$ 148,068,686.70	-\$ 6,000,000.00	0.07	-\$ 154,068,686.70	-\$ 154,068,686.70
1	398	\$ 2,148,302,067.68	-\$ 326,300,617.55	-\$ 133,166,313.15	0.07	\$ 1,688,835,136.98	\$ 1,424,281,908.61
2	338.9	\$ 1,829,295,403.86	-\$ 313,044,536.55	-\$ 114,580,059.11	0.07	\$ 1,401,670,808.20	\$ 2,648,555,476.77
3	425.2	\$ 2,295,120,701.45	\$ 0.00	-\$ 141,720,392.84	0.07	\$ 2,153,400,308.60	\$ 4,406,371,576.78
4	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 6,630,889,073.07
5	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,873,888,658.30	\$ 8,679,931,967.81
6	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 21,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,894,888,658.30	\$ 10,608,918,514.08
7	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 21,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,894,888,658.30	\$ 12,411,709,678.82
8	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 14,108,783,425.85
9	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 15,694,833,656.72
10	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 17,177,123,592.11
11	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,873,888,658.30	\$ 18,542,487,391.29
12	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 19,837,176,827.39
13	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 21,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,894,888,658.30	\$ 21,038,452,701.18
14	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 21,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,894,888,658.30	\$ 22,161,140,433.70
15	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 23,217,992,671.62
16	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 24,205,705,043.51
17	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,873,888,658.30	\$ 25,115,504,593.77
18	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 25,978,210,831.77
19	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,915,888,658.30	\$ 26,784,478,343.93
20	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 21,000,000.00	-\$ 188,893,626.44	0.07	\$ 2,894,888,658.30	\$ 27,532,572,584.26

Cabe destacar que la columna de Inversión presenta cierta variabilidad en el tiempo específicamente por lo señalado en el punto 7.1.1.1 donde se señala que existe un costo por concepto de cambio de equipo de bombeo, mantención de pozos y tuberías igual a \$7.000.000 cada 5 años, por cada fuente subterránea (antigua o nueva).

7.1.2. Alternativa 2 (sin proyecto): Abastecimiento total desde embalse Los Aromos.

En ésta alternativa se considerará que el total de los 575.2 l/s extraídos, provienen desde el embalse Los Aromos, a través del estero Limache, sin considerar los pozos antiguos en el sector.

Para este caso no se realizan inversiones iniciales, ya que el enlace existe hace muchísimo tiempo y la alternativa no exige más que abrir la compuerta de enlace para que ESVAL pueda hacer uso del recurso.

A futuro podrían existir nuevas inversiones que consideraran por ejemplo una conducción desde el embalse a la planta de tratamiento de ESVAL, pudiendo evitar las pérdidas en el trayecto, sin embargo, no se considerará en esta memoria.

Los costos asociados dicen relación con el volumen de agua extraído del estero, existiendo un costo fijo por cada m³, así como costos por concepto de tratamiento de agua.

Los ingresos por venta son exactamente los mismos que los percibidos en el análisis de la alternativa uno.

7.1.2.1. Gasto por volumen de agua extraído.

El precio de compra de agua al embalse es fijo y su valor es igual a 0.002 UF/m³. Para concepto de cálculo, se estableció el precio en pesos, considerando el valor de UF de noviembre del año 2013 igual a \$23.221,95.

Deben considerarse también las pérdidas que se producen en el estero Limache por diversos factores, dentro de los cuales predomina la infiltración. El cobro del agua por parte del embalse, se realiza al momento del salir el agua de éste, por lo que, producto de la eficiencia de la canalización (estimada en 70%), el precio de compra finalmente es de 0.0029 UF/m³ aproximadamente.

Tomando en cuenta lo anterior, el precio unitario de compra del agua al embalse Los Aromos es establecido a 66.35 \$/m³ durante todo el período de análisis.

7.1.2.2. Gasto de tratamiento.

Se realizan las mismas suposiciones que en el escenario anterior. Para éste caso, los costos de tratamiento son los que se muestran en la Tabla 7.7.

Es importante destacar que el encarecimiento principal en algunos períodos en el tratamiento del agua, radica en la utilización de carbón activado para combatir el sabor y olor que trae el agua cruda. El agua subterránea no requiere este tipo de tratamiento.

Tabla 7.7: Gastos de tratamiento Alternativa 2.

Costo Tratamiento [\$/m3]	15 Ago - 15 Nov	1 Ene - 31 Mar
Embalse Los Aromos	38.5	15.7

Fuente: ESVAL S.A.

7.1.2.3. Análisis VAN.

Se ejecutó el mismo análisis económico que en la alternativa anterior, el desarrollo detallado se encuentra en el ANEXO 7.2. El cálculo del VAN se puede ver en la Tabla 7.8.

La variable Qn como era de esperarse es prácticamente invariante, la diferencia que presenta al inicio se debe a que los primeros años se considera una compra igual al volumen de agua extraído en la alternativa anterior, el cuál va creciendo con los años. Lo anterior con el fin de realizar una comparación más efectiva. Finalmente se llega al valor fijo de 575.2 l/s.

Tabla 7.8: Análisis VAN de la opción de extraer los 575.2 l/s desde el Embalse los Aromos en la desembocadura del río Aconcagua.

n [año]	l/s	Ventas [\$/año]	Inversión [\$/año]	Gastos [\$/año]	r	Qn [\$/año]	VAN acumulado [\$/]
0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	0.07	\$ 0.00	\$ 0.00
1	398	\$ 2,148,302,067.68	\$ 0.00	-\$ 582,806,836.58	0.07	\$ 1,565,495,231.10	\$ 1,463,079,655.23
2	338.9	\$ 1,829,295,403.86	\$ 0.00	-\$ 496,264,414.36	0.07	\$ 1,333,030,989.50	\$ 2,627,400,547.45
3	425.2	\$ 2,295,120,701.45	\$ 0.00	-\$ 622,636,851.54	0.07	\$ 1,672,483,849.91	\$ 3,992,645,563.27
4	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 5,718,691,872.64
5	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 7,331,819,264.57
6	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 8,839,414,957.97
7	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 10,248,382,895.73
8	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 11,565,175,360.92
9	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 12,795,822,524.65
10	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 13,945,960,060.85
11	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 15,020,854,954.49
12	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 16,025,429,621.45
13	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 16,964,284,450.38
14	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 17,841,718,869.94
15	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 18,661,751,037.75
16	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 19,428,136,241.32
17	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 20,144,384,095.12
18	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 20,813,774,612.68
19	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 21,439,373,227.23
20	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 842,287,669.35	0.07	\$ 2,262,494,615.40	\$ 22,024,044,829.62

7.1.3. Alternativa 3 (sin proyecto): Abastecimiento mixto.

Esta alternativa considera el “Escenario 4” de explotación, descrito en el subcapítulo 6.1.3, ya que sólo se tomará en cuenta la construcción de los 2 nuevos sondaes que se realizó durante el año 2013, además de los pozos existentes con anterioridad (P1, P3 y P4).

De acuerdo a la modelación ejecutada con anterioridad, en el escenario descrito ESVAL logra captar 339 l/s desde aguas subterráneas. Para poder realizar las comparaciones económicas, se debe considerar que el restante del caudal necesario para llegar a los 575.2 l/s de las alternativas anteriores, se obtiene por compra al embalse Los Aromos, es decir 237 l/s.

Lo anterior lleva a realizar un análisis económico considerando los mismos factores utilizados en las alternativas anteriores (gastos, costos, ingresos), siendo consecuente con los flujos de dinero asociados a cada una de ellas.

Para el caso del caudal proveniente de los pozos antiguos, se considerarán los mismos costos y gastos asociados a la alternativa 1 en el subcapítulo 7.1.1.

Para el caso de los pozos P5 y PColmo se considerarán los costos de inversión y gastos asociados a ellos de acuerdo a lo descrito en la alternativa 1 en el subcapítulo 7.1.1.

Para el caso del caudal que debe comprarse al embalse Los Aromos (237 l/s adicionales) se tomarán en cuenta los costos asociados a la alternativa 2 en el subcapítulo 7.1.2.

El ingreso por venta de agua es indiferente de la alternativa económica siendo un valor constante.

7.1.3.1. Análisis VAN.

Se ejecutó el mismo análisis económico que en la alternativa anterior, el desarrollo detallado se encuentra en el ANEXO 7.2. El cálculo del VAN se puede ver en la Tabla 7.9.

La variable Q_n como era de esperarse es prácticamente invariante, a excepción de los años iniciales, el único cambio que presenta es en los años donde se realizan cambios de equipos de bombeo.

Tabla 7.9: Análisis VAN de la opción de extraer los 575.2 l/s en régimen mixto.

n [año]	l/s	Ventas [\$/año]	Inversión [\$/año]	Gastos [\$/año]	r	Qn [\$/año]	VAN acumulado [\$/año]
0	0	\$ 0.00	-\$ 148,068,686.70	-\$ 4,000,000.00	0.07	-\$ 152,068,686.70	-\$ 152,068,686.70
1	398	\$ 2,148,302,067.68	\$ 0.00	-\$ 131,166,313.15	0.07	\$ 2,017,135,754.53	\$ 1,733,104,915.66
2	378.9	\$ 1,829,295,403.86	\$ 0.00	-\$ 112,580,059.11	0.07	\$ 1,716,715,344.75	\$ 3,232,550,583.18
3	425.2	\$ 2,295,120,701.45	\$ 0.00	-\$ 238,952,496.29	0.07	\$ 2,056,168,205.16	\$ 4,910,996,323.59
4	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 6,929,753,590.51
5	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,604,178,970.65	\$ 8,786,497,205.49
6	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 10,549,757,985.41
7	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 12,197,665,256.36
8	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 13,737,765,509.59
9	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 15,177,111,540.64
10	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 16,522,294,747.23
11	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,604,178,970.65	\$ 17,759,521,416.69
12	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 18,934,456,525.95
13	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 20,032,526,721.52
14	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 21,058,760,549.15
15	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 22,017,857,584.33
16	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 22,914,209,953.65
17	575.2	\$ 3,104,782,284.75	-\$ 42,000,000.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,604,178,970.65	\$ 23,738,626,323.94
18	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 24,521,535,197.48
19	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 25,253,225,733.51
20	575.2	\$ 3,104,782,284.75	\$ 0.00	-\$ 458,603,314.10	0.07	\$ 2,646,178,970.65	\$ 25,937,048,664.37

7.2. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ECONÓMICAS.

El VAN se vuelve una herramienta válida para este análisis, ya que aunque en él no fueron considerados todos los costos asociados a la distribución de agua potable, si se tomaron en cuenta los que eran contrastables entre las alternativas, es decir, los que variarían si se opta por una alternativa sobre la otra. Por lo anterior la magnitud de los valores de flujo de caja (Qn) y VAN acumulado son tan elevados. Por otra parte, la diferencia entre el VAN acumulado entre las alternativas, sí es comparable y es la que permitirá determinar la más conveniente de ellas.

Gráficamente, en la FIGURA 7.4 se muestra la evolución en el tiempo del VAN en las 3 alternativas analizadas.

Puede notarse que al cabo de 20 años la alternativa 1 es la que entrega mayores beneficios (mayor VAN acumulado), seguida por la alternativa 3 y finalmente la alternativa 2. Sin embargo, entre las alternativas 1 y 3 no existe gran diferencia en los beneficios obtenidos si se considera que las inversiones realizadas en la primera de ellas son considerablemente superiores a la tercera. La diferencia entre el VAN acumulado de la alternativa 1 y 3 se muestra en la Tabla 7.10.

FIGURA 7.4: Comparación gráfica entre alternativas económicas en base a la utilización del VAN Acumulado.

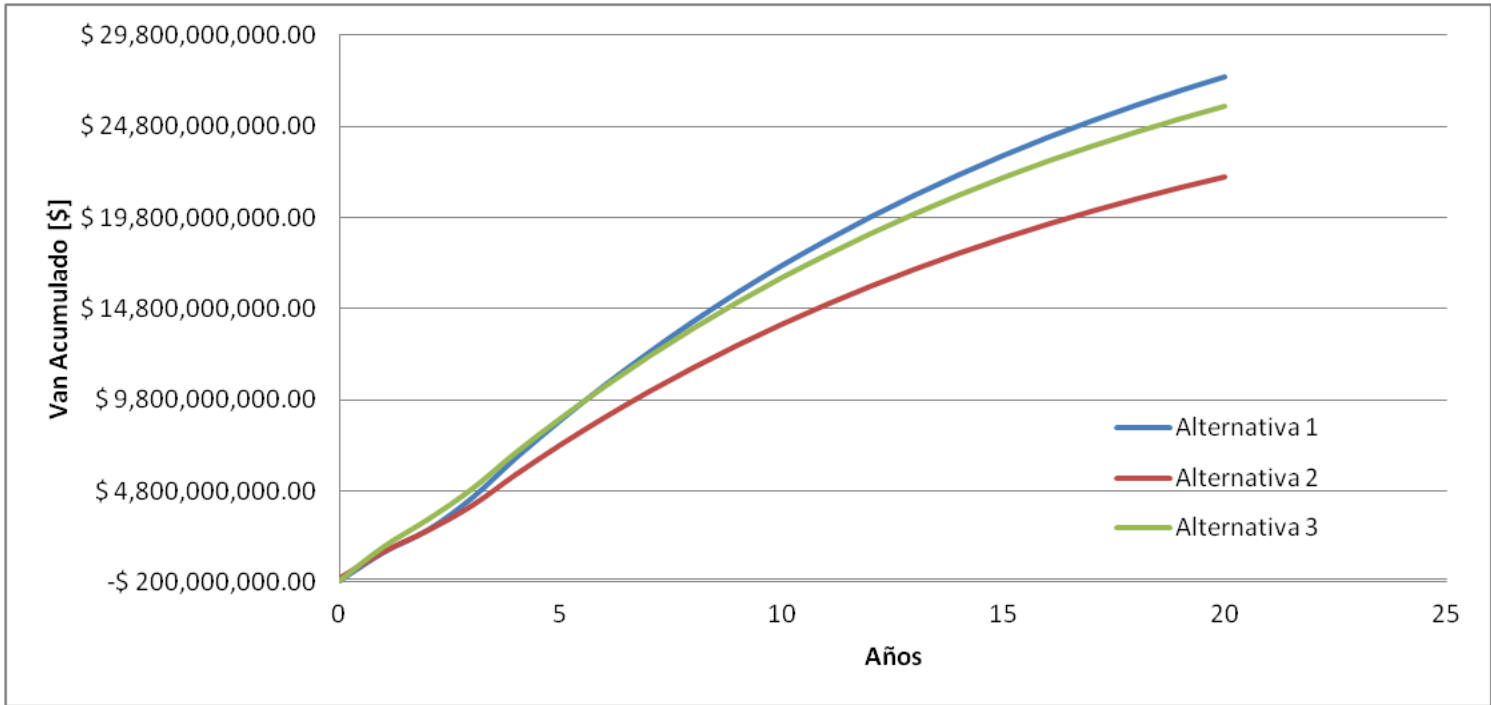


Tabla 7.10: Diferencia entre VAN Acumulado entre alternativas 1 y 3.

n [año]	0	1	2	3	4	5
VAN1 - VAN3	-\$ 2,000,000	-\$ 308,823,007	-\$ 583,995,106	-\$ 504,624,747	-\$ 298,864,517	-\$ 106,565,238
n [año]	6	7	8	9	10	
VAN1 - VAN3	\$ 59,160,529	\$ 214,044,422	\$ 371,017,916	\$ 517,722,116	\$ 654,828,845	
n [año]	11	12	13	14	15	
VAN1 - VAN3	\$ 782,965,975	\$ 902,720,301	\$ 1,005,925,980	\$ 1,102,379,885	\$ 1,200,135,087	
n [año]	16	17	18	19	20	
VAN1 - VAN3	\$ 1,291,495,090	\$ 1,376,878,270	\$ 1,456,675,634	\$ 1,531,252,610	\$ 1,595,523,920	

De acuerdo a lo que indica la Tabla 7.10, la alternativa 1 comienza a predominar sobre la 3 luego del sexto año. Al cabo de 20 años la generación de nuevos pozos, según lo planteado en el escenario de explotación 5 del capítulo anterior, debería permitir un ahorro cercano a los 1.600 millones de pesos para ESVAL.

8. CONCLUSIONES.

- La realización de modelos computacionales para interpretar el comportamiento de sistemas físicos, puede ser muy útil a la hora de entender las variables que afectan su funcionamiento, sin embargo, quien manipula la herramienta, debe ser lo suficientemente criterioso, para entender que lo que se modela es una aproximación de la realidad, por lo que, los resultados físicos pudieran ser mejores o peores de lo que se presenta computacionalmente.

El modelo Visual MODFLOW de la zona acuífera de la desembocadura del río Aconcagua, es una buena interpretación de la realidad, lo demuestran los resultados a la hora de la calibración y los resultados finales obtenidos producto de las modelaciones en diferentes escenarios, en donde, las depresiones de las napas, son acordes a los bombeos realizados en la diferentes zonas.

Lo anterior fue posible gracias a la gran cantidad de información respecto a las características de los acuíferos presentes en la zona de estudio, recopilada de trabajos realizados anteriormente, especialmente del “Estudio y Modelos de Simulación Hidrogeológica, Zona de Desembocadura del Río Aconcagua, 1997” ejecutado por INGENDESA.

- Se debe tener cuidado al momento de incluir nuevas extracciones en los acuíferos, ya que existen muchos sectores, sobretodo aguas abajo del Puente Colmo, donde se han asignado una gran cantidad de derechos de agua y existe además una gran cantidad de derechos de agua solicitados (Eugenio Celedón Cariola, Aguas de Chile, etc.), que de ser asignados y explotados influirían de sobremanera a las extracciones vecinas, pudiendo llegar a generar depresiones muy difíciles de recuperar.

Por lo anterior, se hace imprescindible generar una regla de explotación general de la zona, acorde a las necesidades de cada uno de los sectores donde se realizan extracciones de agua, a modo de proteger los niveles de los acuíferos y permitir su estabilidad en el tiempo. La regla final de explotación propuesta en esta memoria, podría ser de gran utilidad, sin embargo, además de tomar en cuenta la sustentabilidad de los acuíferos, considera sobretodo los intereses de ESVAL, situación que pudiera ser difícil a la hora de llegar a acuerdos.

- La construcción de nuevos pozos de ESVAL y la extracción en mayor medida de los acuíferos es factible computacionalmente, de acuerdo a lo señalado en el capítulo 5 de esta memoria, pero debe ir acompañado de mecanismos de control bien ejecutados, primero para ir verificando el buen comportamiento de las napas subterráneas en los pozos existentes por efecto de las nuevas extracciones en la zona; y segundo para ir controlando la intrusión salina que se puede ir generando por la explotación continua de los estratos confinados.

- Se propone realizar estudios sobre la posibilidad de explotar la zona aguas arriba del modelo. Las características de la formación geológica, sobretudo la configuración de la roca basal (FIGURA 3.8), podría propiciar la extracción de una buena cantidad de agua de la napa más profunda.

- Del análisis económico, se desprende que la mejor alternativa es la construcción de pozos para la extracción de agua subterránea, de hecho, considerando que la demanda actual de la planta de tratamiento de ESVAL en Concón llega a 1700 l/s en algunos períodos. Se recomienda, de ser posible, la construcción de más pozos aguas arriba de la zona modelada que pudieran aportar mayor caudal al sistema, en vez de seguir comprando agua al Embalse Los Aromos.

ANEXO 3.2

ESTADÍSTICA DE TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES CONCÓN

ANEXO 3.3

**REGISTRO DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEAS DE
POZOS DE LA RED DE MONITOREO DE LA D.G.A.**

[illegible]

[illegible]

[illegible]

☹️🔌🔥🔥🔥🔥💧💻

☹️📱👉🔒🔗📧














අනුයාත	දිනය	අනුයාත	දිනය	අනුයාත	දිනය	අනුයාත	දිනය	අනුයාත	දිනය	අනුයාත	දිනය
001	2023-01-01	002	2023-01-02	003	2023-01-03	004	2023-01-04	005	2023-01-05	006	2023-01-06
007	2023-01-07	008	2023-01-08	009	2023-01-09	010	2023-01-10	011	2023-01-11	012	2023-01-12
013	2023-01-13	014	2023-01-14	015	2023-01-15	016	2023-01-16	017	2023-01-17	018	2023-01-18
019	2023-01-19	020	2023-01-20	021	2023-01-21	022	2023-01-22	023	2023-01-23	024	2023-01-24
025	2023-01-25	026	2023-01-26	027	2023-01-27	028	2023-01-28	029	2023-01-29	030	2023-01-30
031	2023-01-31	032	2023-02-01	033	2023-02-02	034	2023-02-03	035	2023-02-04	036	2023-02-05
037	2023-02-06	038	2023-02-07	039	2023-02-08	040	2023-02-09	041	2023-02-10	042	2023-02-11
043	2023-02-12	044	2023-02-13	045	2023-02-14	046	2023-02-15	047	2023-02-16	048	2023-02-17
049	2023-02-18	050	2023-02-19	051	2023-02-20	052	2023-02-21	053	2023-02-22	054	2023-02-23
055	2023-02-24	056	2023-02-25	057	2023-02-26	058	2023-02-27	059	2023-02-28	060	2023-03-01
061	2023-03-02	062	2023-03-03	063	2023-03-04	064	2023-03-05	065	2023-03-06	066	2023-03-07
067	2023-03-08	068	2023-03-09	069	2023-03-10	070	2023-03-11	071	2023-03-12	072	2023-03-13
073	2023-03-14	074	2023-03-15	075	2023-03-16	076	2023-03-17	077	2023-03-18	078	2023-03-19
079	2023-03-20	080	2023-03-21	081	2023-03-22	082	2023-03-23	083	2023-03-24	084	2023-03-25
085	2023-03-26	086	2023-03-27	087	2023-03-28	088	2023-03-29	089	2023-03-30	090	2023-03-31
091	2023-04-01	092	2023-04-02	093	2023-04-03	094	2023-04-04	095	2023-04-05	096	2023-04-06
097	2023-04-07	098	2023-04-08	099	2023-04-09	100	2023-04-10	101	2023-04-11	102	2023-04-12
103	2023-04-13	104	2023-04-14	105	2023-04-15	106	2023-04-16	107	2023-04-17	108	2023-04-18
109	2023-04-19	110	2023-04-20	111	2023-04-21	112	2023-04-22	113	2023-04-23	114	2023-04-24
115	2023-04-25	116	2023-04-26	117	2023-04-27	118	2023-04-28	119	2023-04-29	120	2023-04-30
121	2023-05-01	122	2023-05-02	123	2023-05-03	124	2023-05-04	125	2023-05-05	126	2023-05-06
127	2023-05-07	128	2023-05-08	129	2023-05-09	130	2023-05-10	131	2023-05-11	132	2023-05-12
133	2023-05-13	134	2023-05-14	135	2023-05-15	136	2023-05-16	137	2023-05-17	138	2023-05-18
139	2023-05-19	140	2023-05-20	141	2023-05-21	142	2023-05-22	143	2023-05-23	144	2023-05-24
145	2023-05-25	146	2023-05-26	147	2023-05-27	148	2023-05-28	149	2023-05-29	150	2023-05-30
151	2023-05-31	152	2023-06-01	153	2023-06-02	154	2023-06-03	155	2023-06-04	156	2023-06-05
157	2023-06-06	158	2023-06-07	159	2023-06-08	160	2023-06-09	161	2023-06-10	162	2023-06-11
163	2023-06-12	164	2023-06-13	165	2023-06-14	166	2023-06-15	167	2023-06-16	168	2023-06-17
169	2023-06-18	170	2023-06-19	171	2023-06-20	172	2023-06-21	173	2023-06-22	174	2023-06-23
175	2023-06-24	176	2023-06-25	177	2023-06-26	178	2023-06-27	179	2023-06-28	180	2023-06-29
181	2023-06-30	182	2023-07-01	183	2023-07-02	184	2023-07-03	185	2023-07-04	186	2023-07-05
187	2023-07-06	188	2023-07-07	189	2023-07-08	190	2023-07-09	191	2023-07-10	192	2023-07-11
193	2023-07-12	194	2023-07-13	195	2023-07-14	196	2023-07-15	197	2023-07-16	198	2023-07-17
199	2023-07-18	200	2023-07-19	201	2023-07-20	202	2023-07-21	203	2023-07-22	204	2023-07-23
205	2023-07-24	206	2023-07-25	207	2023-07-26	208	2023-07-27	209	2023-07-28	210	2023-07-29
211	2023-07-30	212	2023-07-31	213	2023-08-01	214	2023-08-02	215	2023-08-03	216	2023-08-04
217	2023-08-05	218	2023-08-06	219	2023-08-07	220	2023-08-08	221	2023-08-09	222	2023-08-10
223	2023-08-11	224	2023-08-12	225	2023-08-13	226	2023-08-14	227	2023-08-15	228	2023-08-16
229	2023-08-17	230	2023-08-18	231	2023-08-19	232	2023-08-20	233	2023-08-21	234	2023-08-22
235	2023-08-23	236	2023-08-24	237	2023-08-25	238	2023-08-26	239	2023-08-27	240	2023-08-28
241	2023-08-29	242	2023-08-30	243	2023-08-31	244	2023-09-01	245	2023-09-02	246	2023-09-03
247	2023-09-04	248	2023-09-05	249	2023-09-06	250	2023-09-07	251	2023-09-08	252	2023-09-09
253	2023-09-10	254	2023-09-11	255	2023-09-12	256	2023-09-13	257	2023-09-14	258	2023-09-15
259	2023-09-16	260	2023-09-17	261	2023-09-18	262	2023-09-19	263	2023-09-20	264	2023-09-21
265	2023-09-22	266	2023-09-23	267	2023-09-24	268	2023-09-25	269	2023-09-26	270	2023-09-27
271	2023-09-28	272	2023-09-29	273	2023-09-30	274	2023-10-01	275	2023-10-02	276	2023-10-03
277	2023-10-04	278	2023-10-05	279	2023-10-06	280	2023-10-07	281	2023-10-08	282	2023-10-09
283	2023-10-10	284	2023-10-11	285	2023-10-12	286	2023-10-13	287	2023-10-14	288	2023-10-15
289	2023-10-16	290	2023-10-17	291	2023-10-18	292	2023-10-19	293	2023-10-20	294	2023-10-21
295	2023-10-22	296	2023-10-23	297	2023-10-24	298	2023-10-25	299	2023-10-26	300	2023-10-27
301	2023-10-28	302	2023-10-29	303	2023-10-30	304	2023-10-31	305	2023-11-01	306	2023-11-02
307	2023-11-03	308	2023-11-04	309	2023-11-05	310	2023-11-06	311	2023-11-07	312	2023-11-08
313	2023-11-09	314	2023-11-10	315	2023-11-11	316	2023-11-12	317	2023-11-13	318	2023-11-14
319	2023-11-15	320	2023-11-16	321	2023-11-17	322	2023-11-18	323	2023-11-19	324	2023-11-20
325	2023-11-21	326	2023-11-22	327	2023-11-23	328	2023-11-24	329	2023-11-25	330	2023-11-26
331	2023-11-27	332	2023-11-28	333	2023-11-29	334	2023-11-30	335	2023-12-01	336	2023-12-02
337	2023-12-03	338	2023-12-04	339	2023-12-05	340	2023-12-06	341	2023-12-07	342	2023-12-08
343	2023-12-09	344	2023-12-10	345	2023-12-11	346	2023-12-12	347	2023-12-13	348	2023-12-14
349	2023-12-15	350	2023-12-16	351	2023-12-17	352	2023-12-18	353	2023-12-19	354	2023-12-20
355	2023-12-21	356	2023-12-22	357	2023-12-23	358	2023-12-24	359	2023-12-25	360	2023-12-26
361	2023-12-27	362	2023-12-28	363	2023-12-29	364	2023-12-30	365	2023-12-31	366	2024-01-01
367	2024-01-02	368	2024-01-03	369	2024-01-04	370	2024-01-05	371	2024-01-06	372	2024-01-07
373	2024-01-08	374	2024-01-09	375	2024-01-10	376	2024-01-11	377	2024-01-12	378	2024-01-13
379	2024-01-14	380	2024-01-15	381	2024-01-16	382	2024-01-17	383	2024-01-18	384	2024-01-19
385	2024-01-20	386	2024-01-21	387	2024-01-22	388	2024-01-23	389	2024-01-24	390	2024-01-25
391	2024-01-26	392	2024-01-27	393	2024-01-28	394	2024-01-29	395	2024-01-30	396	2024-01-31
397	2024-02-01	398	2024-02-02	399	2024-02-03	400	2024-02-04	401	2024-02-05	402	2024-02-06
403	2024-02-07	404	2024-02-08	405	2024-02-09	406	2024-02-10	407	2024-02-11	408	2024-02-12
409	2024-02-13	410	2024-02-14	411	2024-02-15	412	2024-02-16	413	2024-02-17	414	2024-02-18
415	2024-02-19	416	2024-02-20	417	2024-02-21	418	2024-02-22	419	2024-02-23	420	2024-02-24
421	2024-02-25	422	2024-02-26	423	2024-02-27	424	2024-02-28	425	2024-02-29	426	2024-03-01
427	2024-03-02	428	2024-03-03	429	2024-03-04	430	2024-03-05	431	2024-03-06	432	2024-03-07
433	2024-03-08	434	2024-03-09	435	2024-03-10	436	2024-03-11	437	2024-03-12	438	2024-03-13
439	2024-03-14	440	2024-03-15	441	2024-03-16	442	2024-03-17	443	2024-03-18	444	2024-03-19
445	2024-03-20	446	2024-03-21	447	2024-03-22	448	2024-03-23	449	2024-03-24	450	2024-03-25
451	2024-03-26	452	2024-03-27	453	2024-03-28	454	2024-03-29	455	2024-03-30	456	2024-03-31
457	2024-04-01	458	2024-04-02	459	2024-04-03	460	2024-04-04	461	2024-04-05	462	2024-04-06
463	2024-04-07	464	2024-04-08	465	2024-04-09	466	2024-04-10	467	2024-04-11	468	2024-04-12
469	2024-04-13	470	2024-04-14	471	2024-04-15	472	2024-04-16	473	2024-04-17	474	2024-04-18
475	2024-04-19	476	2024-04-20	477	2024-04-21	478	2024-04-22	479	2024-04-23	480	2024-04-24
481	2024-04-25	482	2024-04-26	483	2024-04-27	484	2024-04-28	485	2024-04-29	486	2024-04-30
487	2024-05-01	488	2024-05-02	489	2024-05-03	490	2024-05-04	491	2024-05-05	492	2024-05-06
493	2024-05-07	494	2024-05-08	495	2024-05-09	496	2024-05-10	497	2024-05-11	498	2024-05-12
499	2024-05-13	500	2024-05-14	501	2024-05-15	502	2024-05-16	503	2024-05-17	504	2024-05-18
505	2024-05-19	506	2024-05-20	507	2024-05-21	508	2024-05-22	509	2024-05-23	510	2024-05-24
511	2024-05-25	512	2024-05-26	513	2024-05-27	514	2024-05-28	515	2024-05-29	516	2024-05-30
517	2024-05-31	518	2024-06-01	51							



၁၉၅၆ ခုနှစ်မှ ၁၉၆၀ ခုနှစ်အတွင်း မြန်မာနိုင်ငံတော်အတွင်း နယ်စပ်ဒေသများတွင် နယ်စပ်ဒေသများတွင် နယ်စပ်ဒေသများတွင်

[illegible][illegible]

କାହାଣୀ ଓ କାହାଣୀକାରଙ୍କ ଛବି

[illegible]

କାହାଣୀ ଓ କାହାଣୀକାରଙ୍କ ଛବି

[illegible]

**ANEXO 3.4.1
(DIGITAL)**

**CATASTRO DE CAPTACIONES Y SONDAJES HASTA EL AÑO 1996,
DESEMBOCADURA DEL RÍO ACONCAGUA.
AC INGENIEROS CONSULTORES**

**ANEXO 3.4.2
(DIGITAL)**

**DERECHOS DE AGUA OTORGADOS POR LA D.G.A
1990 - 2013**

**ANEXO 5.1
(DIGITAL)**

**COORDENAS UTM (X,Y,Z) DE ESTRATOS MODELO
VISUAL MODFLOW**

ANEXO 5.3

INFLUENCIA DEL RÍO ACONCAGUA

Se estimó el comportamiento fluviométrico del río Aconcagua en la zona de estudio, es base al relleno de estadísticas de la estación Tabolango, ubicada 1 [km] aguas arriba del extremo oriente del modelo Visual MODFLOW generado.

La estación Tabolango estuvo activa entre los años 1962 y 1973, y su información estadística había sido completada el año 1982 en el contexto de un estudio realizado por CICA para la DGA.

En este estudio hubo que completar las estadísticas para obtener una aproximación del caudal del río hasta el año 2013. De las estaciones fluviométricas del río Aconcagua, la que posee mayor cantidad de datos y de manera actualizada es la estación Chacabuquito, al oriente de la localidad de Los Andes. La información de ambas estaciones consideradas se adjuntan a continuación.

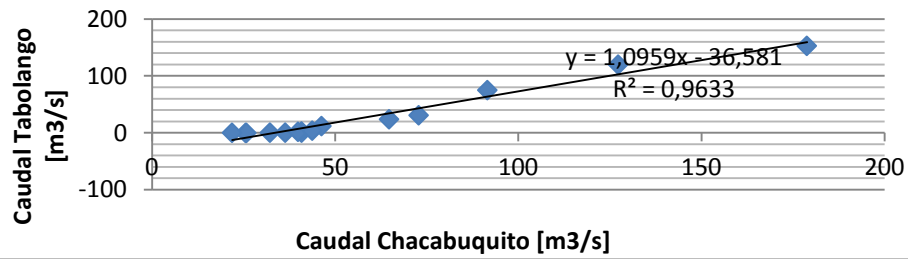
Para efectuar el relleno estadístico se procedió a verificar las correlaciones entre los caudales medidos en ambas estaciones para cada mes del año en el período en que se cuenta con información. De lo anterior se verificó que existía una correlación lineal de buen coeficiente para cada uno de los meses y se procedió, en base a las ecuaciones de la recta obtenidas en cada correlación, a completar las estadísticas. Cabe destacar que el objetivo de este procedimiento es obtener la variabilidad del comportamiento del río de manera aproximada, no con exactitud, por lo que se considera este método como apropiado.

A continuación se muestra cada uno de los gráficos y su respectiva correlación lineal.

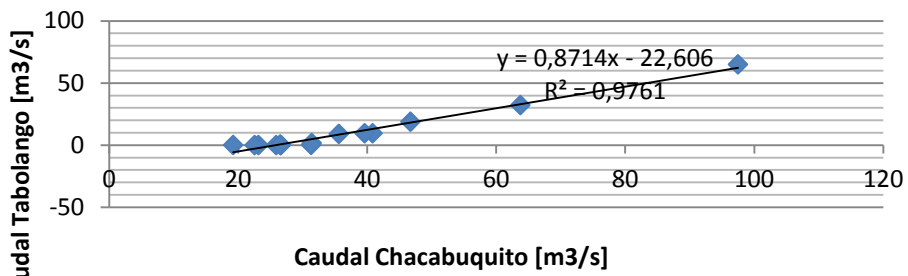
CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTACIÓN ACONCAGUA EN TABOLANGO [m3/s]												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962					13	39	48	42.5	12	10	46	17
1963	0.5	1.66	1	4.68	11.7	25.3	52	85	80	34.2	35	145
1964	120.01	32.2	7.58	12	13	31.5	32	23	11	0.38	0.88	0.22
1965	0.01	0.01	0.09	7.5	8.72	15.5	44	165	57	45	85	75
1966	75.2	18.8	3.5	9	15	42	74	54	28	17.5	35	20
1967	12	9	1.5	7	9	24	28	16	6	1	1	1
1968	0	0	0	1.5	4.45	6.64	7.16	5.31	1.3	0.56	0.73	0.34
1969	0.18	0.05	0.01	0	0.49	11.7	11.7	8.58	0.88	0.29	3	29
1970	2.54	0.16	0.16	1	6.5	14	26	30	8.5	2	17	6
1971	0.5	0	0	1.5	3	10	24	30	11	8	33	1.5
1972	0.5	0	0	0.5	21.5	78	69	125	63	39	94	165
1973	153	65	15.9	18	26	47	60	47	22	11	25	29
1974	24	9.5	2.6	7	12	60	66	50	18	25	48	42
1975	31	9.5	1.7	5.5	10.5	22	40	40	15	2.5	1	11
1976	2	0	0.1	3	6.5	17.5	18	14	7	1	17	13
1977	4	0.5	0.8	3								

CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTACIÓN ACONCAGUA EN CHACABUQUITO [m3/s]												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	32.88	31.32	19.78	12.15	8.44	13.26	11.33	13.14	16.29	30.31	71.94	83.75
1961	44.6	32.07	28.25	14.62	10.88	14.01	12.95	14.51	18.09	45.51	85.64	96.65
1962	52.89	46.98	20.25	16.18	11.72	12.53	15.17	15.28	16.52	32.86	77.39	67.46
1963	40.87	31.4	20.9	12.73	9.98	10.47	15.23	13.59	27.74	33.08	43.33	148.94
1964	127.32	63.75	31.82	18.07	13.24	10.92	9.32	8.71	11.34	14.18	18.25	20.19
1965	25.58	23.14	19.33	14.95	11.67	9.81	12	25.84	27.75	47.88	95.55	83.69
1966	91.6	46.71	26.62	16.436	11.66	10.96	13.97	13.42	20.24	29.17	52.18	53.35
1967	46.3	35.6	20.66	14.05	10.01	9.96	10.2657055	6.79	9.09	16.18	22.19	33.14
1968	25.8	22.55	13.96	9.09	6.95	6.22	5.92	5.85	6.58	7.41	15.48	16.2
1969	21.87	19.22	5.92	6.45	5.59	7.34	4.88	6.21	8.72	11.21	36.16	71.08
1970	40.84	31.3	19.05	11.46	9.45	8.64	8.82	10.9	12.46	23.39	47.28	46.43
1971	32.23	26.56	15.27	9.57	7.41	5.71	9.89	11.71	15.68	30.27	63.33	45.04
1972	36.4	26.61	14.05	10	17.52	25.44	20.66	25.3	36.08	41.46	75.72	190.74
1973	178.84	97.48	57.75	28.49	18.79	16.97	18.71	16.89	16.57	23.89	52.85	57.24
1974	64.76	40.84	27.33	17.36	12.73	15.73	20.22	18.61	18.42	40.08	65.96	72.24
1975	72.84	39.6	24.11	15.38	11.21	10.33	11.41	13.81	17.86	23.65	32.01	53.87
1976	39.89	25.88	18.49	13.59	9.36	9.35	8.07	8.24	11.12	17.26	28.63	52.8
1977	43.78	26.51	20.92	11.73	10.66	10.94	18.33	22.58	46.38	57.51	93.29	122.95
1978	74.14	46.75	27.14	16.56	13.07	11.41	24.71	23.13	25.16	45.02	90.29	168.35
1979	124.72	56.35	32.38	18.67	15.06	11.35	10.53	14.08	18.58	28.78	38.8	59.85
1980	62.92	40.42	31.73	37.24	31.16	23.38	22.42	23.9	25.81	38.83	64.55	110.92
1981	70.49	54.87	34	19.08	18.9	15.47	10.84	12.38	12.64	20.12	37.17	32.94
1982	34.07	25.99	16.29	13.78	14.11	26.94	39.55	33.27	44.91	50.85	88.78	180.25
1983	167.23	112.8	55.63	29.4	18.99	15.41	17.74	19.77	20.16	52.36	94.2	116.44
1984	75.09	49.69	26.53	17.28	12.7	10.04	17.31	18.6	24.91	66.68	90.74	118.38
1985	100.92	63.21	45.83	24.04	18.93	15.31	16.19	14.51	14.52	20.97	58.08	57.44
1986	45.11	34.59	23.27	16.27	14.45	47.61	24.91	22.23	25.63	41.96	78.32	148.31
1987	100.61	61.48	37.66	19.23	14.49	17.79	39.76	49.95	35.55	55.05	146.78	176.06
1988	149.87	78.47	43.25	24.16	15.16	10.95	9.47	10.45	10.51	18.39	32.64	31.72
1989	31.08	29.2	17.41	10.72	9.05	6.47	6.69	14.71	23.03	38.5	77.97	58.26
1990	36.33	25.82	16.75	10.51	7.68	7.14	7.01	7.25	11.44	18.97	33.49	29.46
1991	25.46	20.2	15.7	11.9	13.63	16.24	27.45	20.81	33.91	38.25	77.61	85.12
1992	80.22	48.99	32.76	18.95	16.67	21.08	17.68	16.54	21.97	41.38	65.86	74.67
1993	64.99	38.04	26.25	19.82	43.25	32.01	16.26	14.57	17.46	27.67	45.65	54.48
1994	44.13	26.95	21.74	13.75	11.51	10.52	11.72	14.59	18.74	24.56	50.16	56.82
1995	39.52	25.98	18.21	13.11	11.86	10.83	10.5	9.9	16	18.38	42.56	39.14
1996	25.94	22.74	18.99	11.85	9.13	8.04	7.41	6.52	6.56	8.96	12.11	14.5
1997	19.48	15.36	13.28	9.46	7.39	25.6	22.25	28.84	37.97	39.7	73.64	132.56
1998	145.96	63.65	35.56	26.05	17.26	12.64	11.75	10.56	9.05	16.52	22.13	27.34
1999	25.48	23.07	15.99	10.48	8.79	8.21	8.75	10.36	22.25	37	56.3	51.57
2000	37.12	22.74	16.81	13.37	9.94	13.81	23.18	21.87	24.11	55.88	72.39	122.25
2001	77.65	48.9	27.59	15.68	11.81	9.56	13.03	19.29	22.34	43.04	60.24	106.63
2002	57.31	38.14	22.25	13.65	14.95	24.58	25.54	30.12	31.51	51.08	98.41	135.17
2003	126.71	76.42	39.59	19.93	15.7	16.78	16.66	14.87	15.66	32.77	57.7	52.92
2004	44.96	30.85	19.56	13.6	9.92	9.21	8.94	11.33	17.12	16.11	33.13	43.32
2005	34.35	23.93	18.61	11.1	10.55	32.21	19.91	29.07	37.39	53.64	109.96	162.8
2006	134.8	74.84	28.71	16.4	12.06	12.02	28.15	21.85	24.63	46.84	85.78	107.85
2007	81.04	36.95	25.3	14.28	10.82	10.55	12.91	11.62	17.16	31.15	57.66	53.72
2008	42.42	26.77	17.53	12.72	21.03	22.86	13.51	24	25.88	45.12	111.4	102.35
2009	60.69	39.01	23.89	15.87	10.81	8.95	10.51	13.13	22.22	28.46	46.67	71.08
2010	53.25	34.21	25.9	14.51	10.18	9.28	8.59	8.55	8.54	11.83	20.44	18.35
2011	17.25	16.09	12.42	7.85	5.98	5.3	5.61	6.42	10.26	16.42	33.93	30.1666667
2012	21.2	19.28	14.56	9.88	10.83							

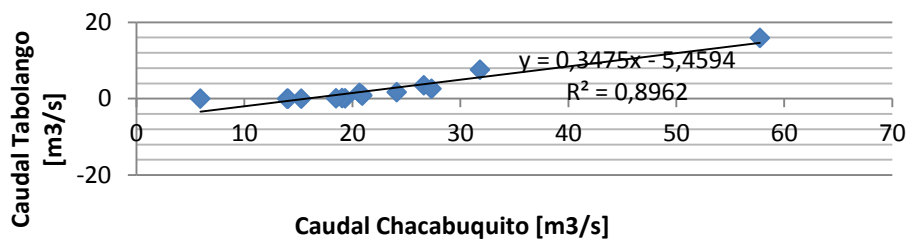
ENERO



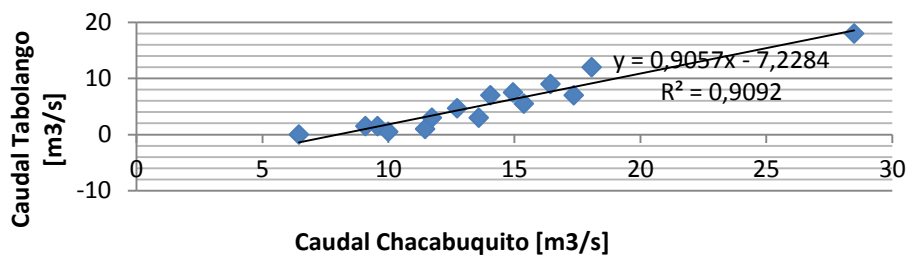
FEBRERO

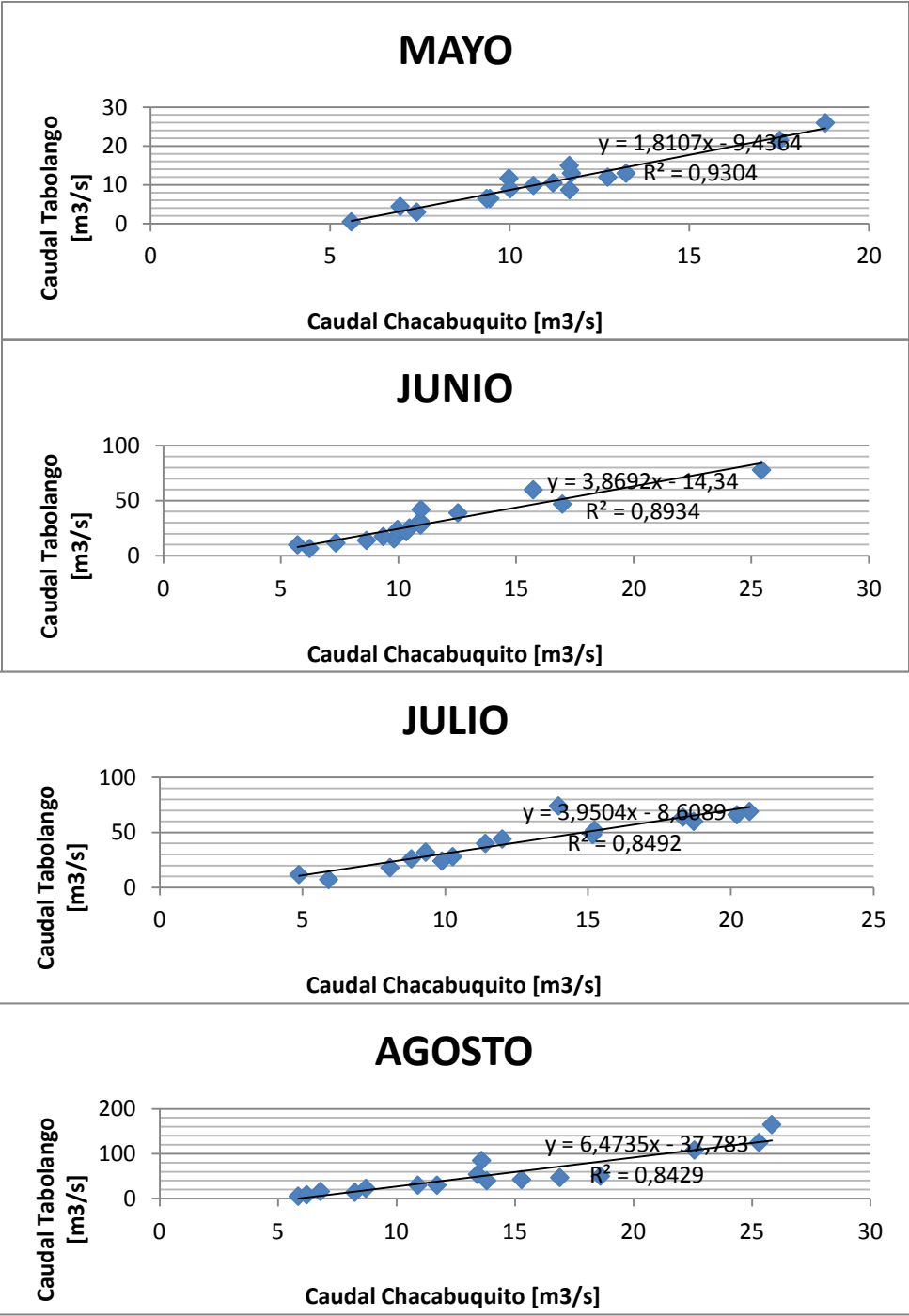


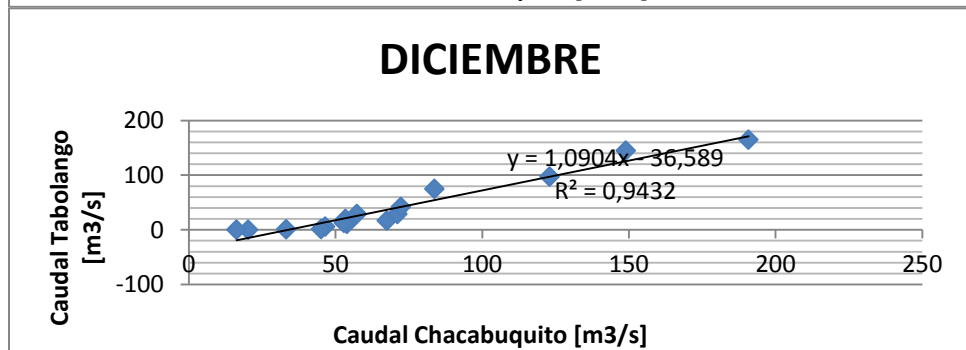
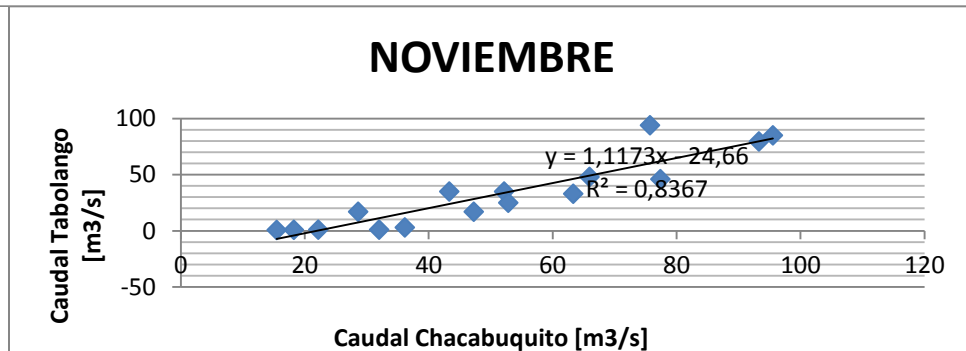
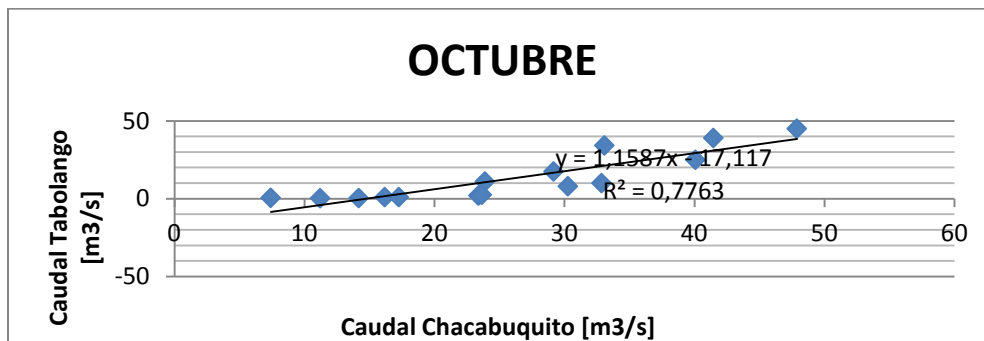
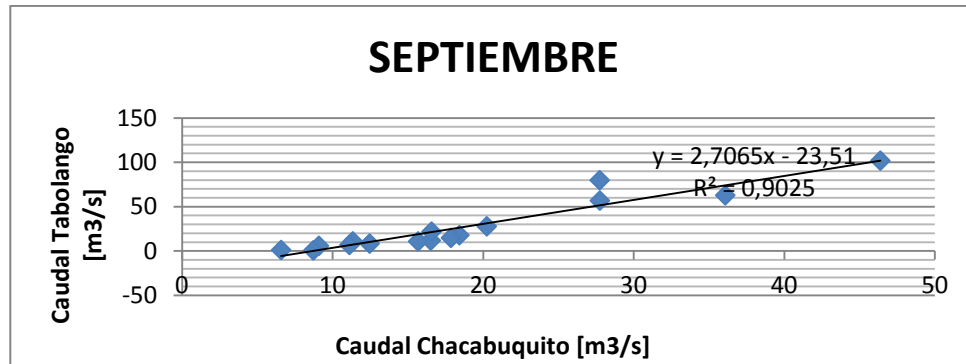
MARZO



ABRIL





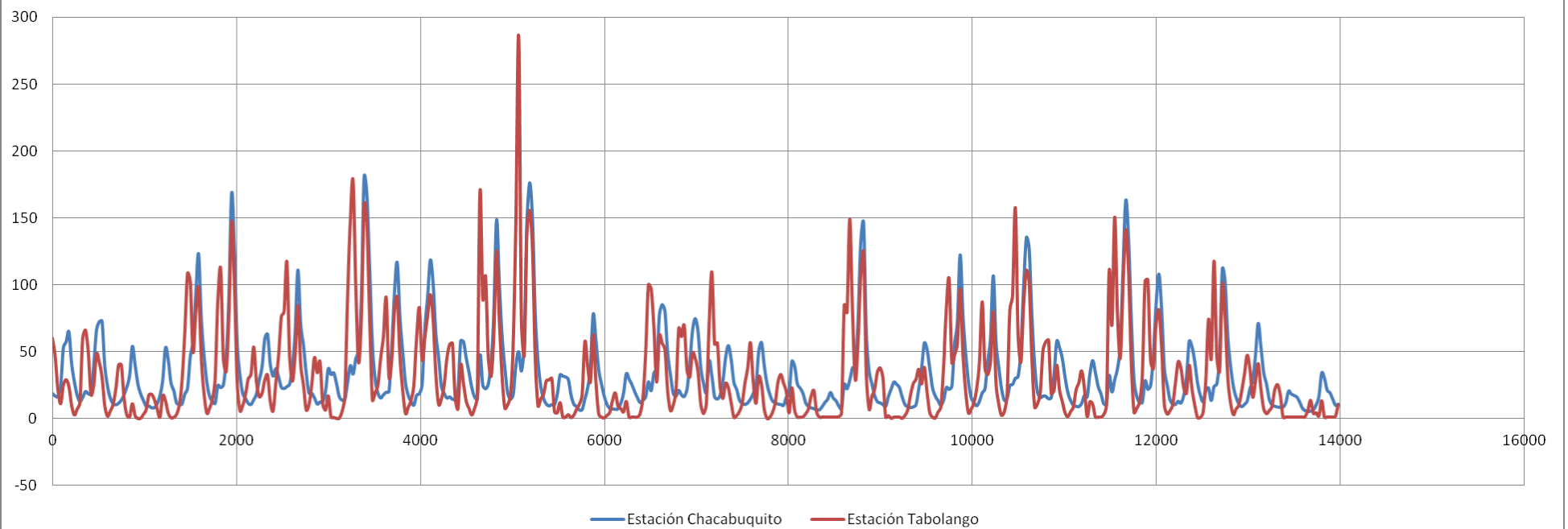


De acuerdo a las relaciones gráficas, para la estación Tabolango, el relleno estadístico quedaría de acuerdo a la tabla a continuación.

Es importante destacar que producto de la metodología utilizada para el relleno estadístico, hubo algunos caudales obtenidos con valores negativos, para esos casos se optó por imponer un caudal de valor unitario.

CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTACIÓN ACONCAGUA EN TABOLANGO [m3/s]												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962					13	39	48	42.5	12	10	46	17
1963	0.5	1.66	1	4.68	11.7	25.3	52	85	80	34.2	35	145
1964	120.01	32.2	7.58	12	13	31.5	32	23	11	0.38	0.88	0.22
1965	0.01	0.01	0.09	7.5	8.72	15.5	44	165	57	45	85	75
1966	75.2	18.8	3.5	9	15	42	74	54	28	17.5	35	20
1967	12	9	1.5	7	9	24	28	16	6	1	1	1
1968	0	0	0	1.5	4.45	6.64	7.16	5.31	1.3	0.56	0.73	0.34
1969	0.18	0.05	0.01	0	0.49	11.7	11.7	8.58	0.88	0.29	3	29
1970	2.54	0.16	0.16	1	6.5	14	26	30	8.5	2	17	6
1971	0.5	0	0	1.5	3	10	24	30	11	8	33	1.5
1972	0.5	0	0	0.5	21.5	78	69	125	63	39	94	165
1973	153	65	15.9	18	26	47	60	47	22	11	25	29
1974	24	9.5	2.6	7	12	60	66	50	18	25	48	42
1975	31	9.5	1.7	5.5	10.5	22	40	40	15	2.5	1	11
1976	2.0	0.0	0.1	3.0	6.5	17.5	18.0	14.0	7.0	1.0	17.0	13.0
1977	4.0	0.5	0.8	3.0	9.9	28.0	63.8	108.4	102.0	49.5	79.6	97.5
1978	44.7	18.1	4.0	7.8	14.2	29.8	89.0	111.9	44.6	35.0	76.2	147.0
1979	100.1	26.5	5.8	9.7	17.8	29.6	33.0	53.4	26.8	16.2	18.7	28.7
1980	32.4	12.6	5.6	26.5	47.0	76.1	80.0	116.9	46.3	27.9	47.5	84.4
1981	40.7	25.2	6.4	10.1	24.8	45.5	34.2	42.4	10.7	6.2	16.9	1.0
1982	0.8	0.0	0.2	5.3	16.1	89.9	147.6	177.6	98.0	41.8	74.5	160.0
1983	146.7	75.7	13.9	19.4	24.9	45.3	61.5	90.2	31.1	43.6	80.6	90.4
1984	45.7	20.7	3.8	8.4	13.6	24.5	59.8	82.6	43.9	60.1	76.7	92.5
1985	74.0	32.5	10.5	14.5	24.8	44.9	55.3	56.1	15.8	7.2	40.2	26.0
1986	12.9	7.5	2.6	7.5	16.7	169.9	89.8	106.1	45.9	31.5	62.8	125.1
1987	73.7	31.0	7.6	10.2	16.8	54.5	148.5	285.6	72.7	46.7	139.3	155.4
1988	127.7	45.8	9.6	14.7	18.0	28.0	28.8	29.9	4.9	4.2	11.8	1.0
1989	1.0	2.8	0.6	2.5	7.0	10.7	17.8	57.4	38.8	27.5	62.5	26.9
1990	3.2	1.0	0.4	2.3	4.5	13.3	19.1	9.1	7.5	4.9	12.8	1.0
1991	1.0	1.0	1.0	3.5	15.2	48.5	99.8	96.9	68.3	27.2	62.1	56.2
1992	51.3	20.1	5.9	9.9	20.7	67.2	61.2	69.3	36.0	30.8	48.9	44.8
1993	34.6	10.5	3.7	10.7	68.9	109.5	55.6	56.5	23.7	14.9	26.3	22.8
1994	11.8	0.9	2.1	5.2	11.4	26.4	37.7	56.7	27.2	11.3	31.4	25.4
1995	6.7	0.0	0.9	4.6	12.0	27.6	32.9	26.3	19.8	4.2	22.9	6.1
1996	1.0	1.0	1.1	3.5	7.1	16.8	20.7	4.4	1.0	1.0	1.0	1.0
1997	1.0	1.0	1.0	1.3	3.9	84.7	79.3	148.9	79.3	28.9	57.6	108.0
1998	123.4	32.9	6.9	16.4	21.8	34.6	37.8	30.6	1.0	2.0	0.1	1.0
1999	1.0	1.0	0.1	2.3	6.5	17.4	26.0	29.3	36.7	25.8	38.2	19.6
2000	4.1	1.0	0.4	4.9	8.6	39.1	83.0	103.8	41.7	47.6	56.2	96.7
2001	48.5	20.0	4.1	7.0	11.9	22.6	42.9	87.1	37.0	32.8	42.6	79.7
2002	26.2	10.6	2.3	5.1	17.6	80.8	92.3	157.2	61.8	42.1	85.3	110.8
2003	102.3	44.0	8.3	10.8	19.0	50.6	57.2	58.5	18.9	20.9	39.8	21.1
2004	12.7	4.3	1.3	5.1	8.5	21.3	26.7	35.6	22.8	1.5	12.4	10.6
2005	1.1	1.0	1.0	2.8	9.7	110.3	70.0	150.4	77.7	45.0	98.2	140.9
2006	111.1	42.6	4.5	7.6	12.4	32.2	102.6	103.7	43.2	37.2	71.2	81.0
2007	52.2	9.6	3.3	5.7	10.2	26.5	42.4	37.4	22.9	19.0	39.8	22.0
2008	9.9	0.7	0.6	4.3	28.6	74.1	44.8	117.6	46.5	35.2	99.8	75.0
2009	29.9	11.4	2.8	7.1	10.1	20.3	32.9	47.2	36.6	15.9	27.5	40.9
2010	21.8	7.2	3.5	5.9	9.0	21.6	25.3	17.6	1.0	1.0	1.0	1.0
2011	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	6.2	13.6	3.8	4.3	1.9	13.2	1.0
2012	1.0	1.0	1.0	1.7	10.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Estadística Fluviométrica 1973 - 2013 [m3/s]



**ANEXO 5.3.3
(DIGITAL)**

INFLUENCIA DE VARIACIÓN DEL RÍO ACONCAGUA EN EL MODELO

**ANEXO 5.3.4
(DIGITAL)**

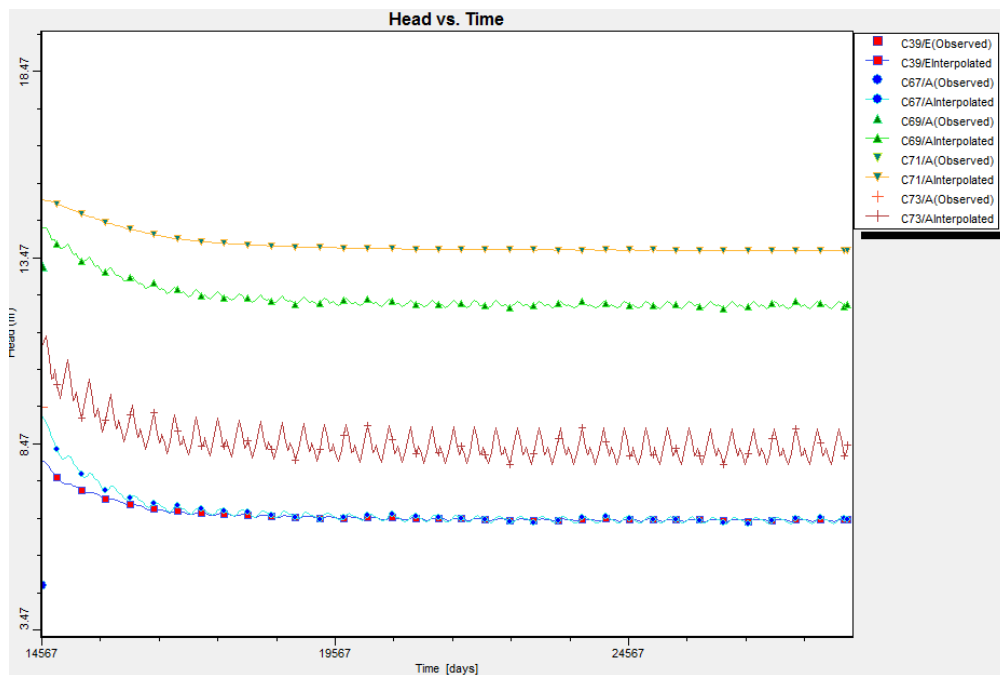
INFLUENCIA DE PRECIPITACIONES Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

**ANEXO 6
(DIGITAL)**

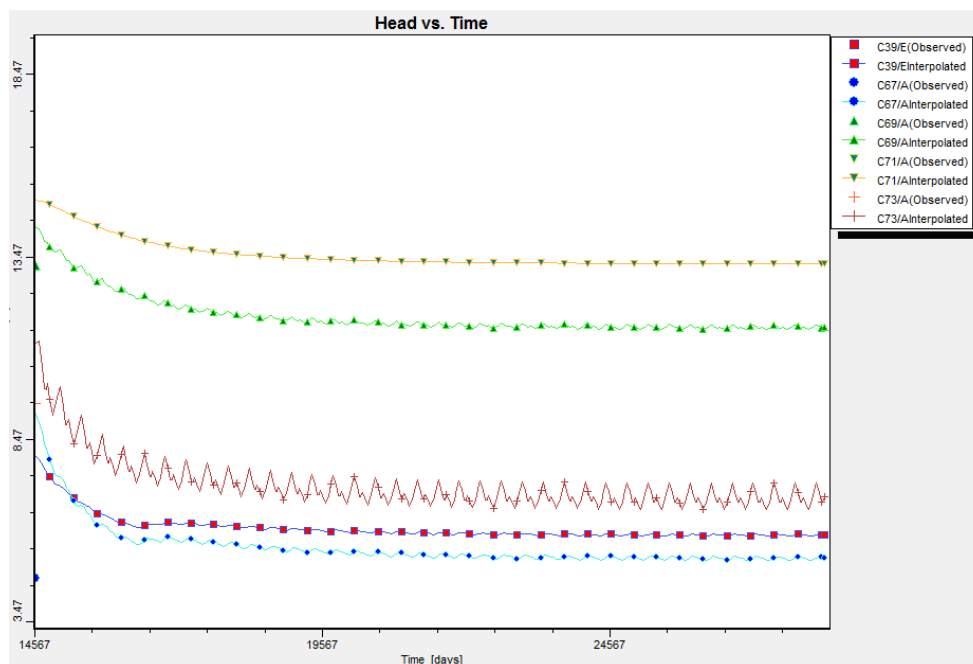
ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL MODELO

ANEXO 6.1
TANTEO DE ESCENARIO 6.1.2

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	2	233	140	60
ESVAL DREN	-	415	127	31
ENAMI	7	159	31	19
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	12	8
EMB.WILLIAMSON	3	37	13.5	36
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	28	8
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCC	1	40	18	45

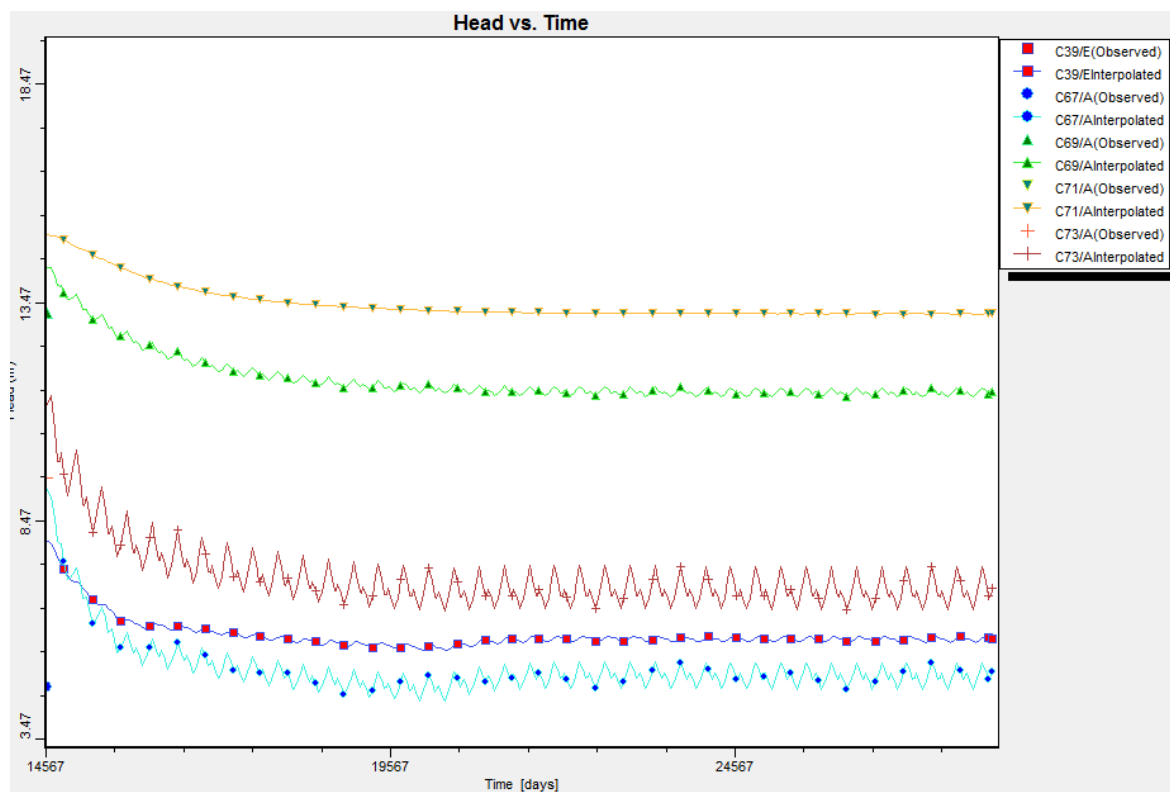


Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	2	233	140	60
ESVAL DREN	-	415	127	31
ENAMI	7	159	31	19
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	30	20
EMB.WILLIAMSON	3	37	13.5	36
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	60	17
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45



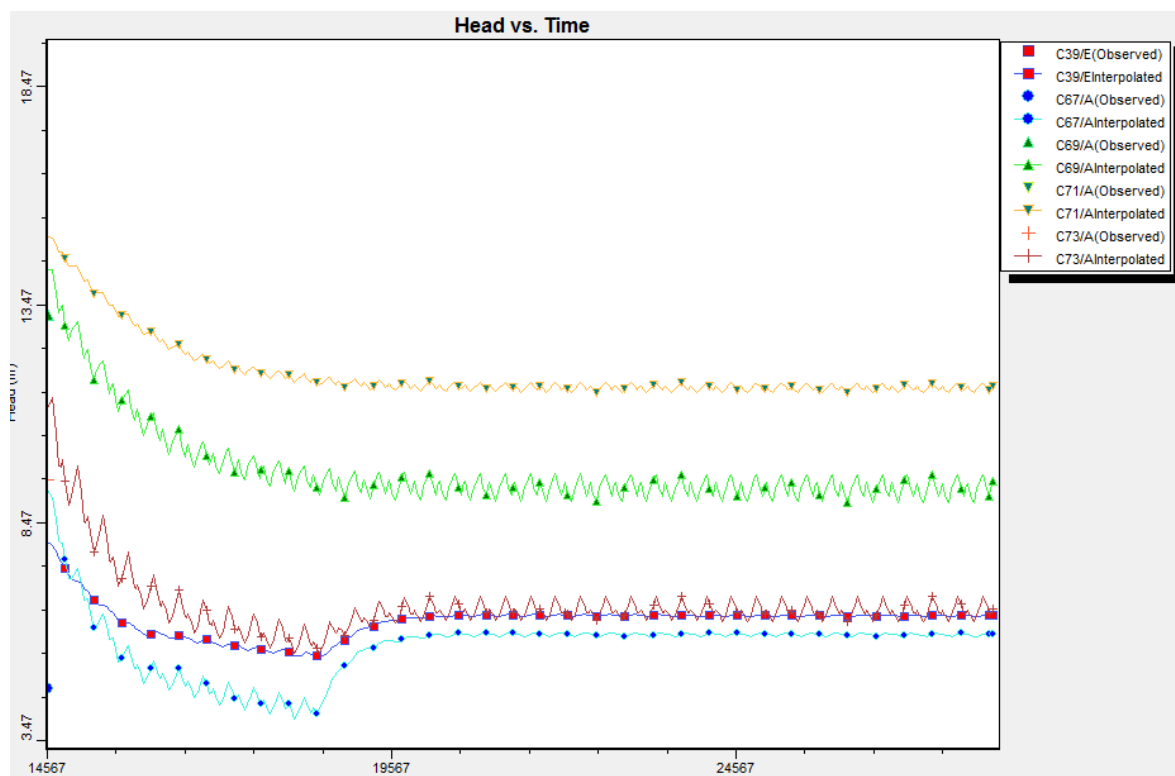
TANTEO DE ESCENARIO 6.1.3

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	2	233	140	60
ESVAL DREN	-	415	133.1	32
ENAMI	7	159	55	35
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
P5 ESVAL	1	50	50	100
PCOLMO ESVAL	1	50	50	100
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	16	11
EMB.WILLIAMSON	3	37	19	51
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	34	9
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45



TANTEO DE ESCENARIO 6.1.5

Dueño	N° Pozos	Derechos [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
ESVAL P1, P3, P4	2	233	140	60
ESVAL DREN	-	415	70	17
ENAMI	7	159	31	19
RPC-BOCATOMA	4	250	38	15
RPC-LAJ	3	150	23	15
AG.LASDICHAS	4	290	290	100
APR-VICTORIA	1	7	7	100
BASF	1	4.2	4.2	100
CORA	1	50	10	20
CURAUMA	2	130	30	23
DANIELSL	5	3.8	3.8	100
DOS (CEDIDOS)	3	91	7.4	8
LIPIGAS	1	30	10	33
LUISFERNANDEZ	1	0.96	0.96	100
LUISGAT	1	4	4	100
MAC	1	3.2	3.2	100
MEGARIDOS	1	10	10	100
EMB.WILLIAMSON	2	24	24	100
SGM	1	6	5	83
VICTORSAAV	1	2	2	100
YAROSLAV	1	6.5	6.5	100
TERMoeLECTRICA	1	7.6	7.6	100
P5 ESVAL	1	50	50	100
PCOLMO ESVAL	1	50	50	100
P6 ESVAL	1	50	50	100
P7 ESVAL	1	50	50	100
P8 ESVAL	1	50	50	100
P9 ESVAL	1	50	50	100
P10 ESVAL	1	50	50	100
P11 ESVAL	1	50	50	100
Dueño	N° Pozos	D. Solicitados [l/s]	Explotado [l/s]	% Derechos
AGUAS DE CHILE	2	151	16	11
EMB.WILLIAMSON	3	37	19	51
EUGENIO CELEDÓN CARIOLA	4	360	34	9
INVERNADERO SAN RAFAEL	1	4.5	4.5	100
JULIO BERMUDEZ Y OTRO	1	40	8	20
LUCIO CARRASCO	2	3	3	100
MAGGI S.A.	1	11	11	100
SOC. AGROFORESTAL MAUCO	1	40	18	45



**ANEXO 7.1
(DIGITAL)**

**PLANO DE UBICACIÓN POZOS DE ESVAL, HASTA 2006.
UBICACIÓN POZOS PROYECTADOS EN ESCENARIOS 6.4 Y 6.5**

ANEXO 7.2

CÁLCULO DE COSTOS Y VENTAS ALTERNATIVAS ECONÓMICAS 1, 2 y 3.

ALTERNATIVA 1: AGUA DESDE POZOS.

Captación Subterránea	Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		Gasto Eléctrico (\$/m3)		m3/año/(l/s)		(l/s)/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		Gasto Eléctrico (\$/año)		Cambio Equipo Bombeo
		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	
P1, P3, P4	0	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	190	\$ 12,082,176.00	\$ 11,688,192.00	\$ 18,289,393.92	\$ 17,693,000.64	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	20	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
DREN	0	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	208	\$ 13,226,803.20	\$ 12,795,494.40	\$ 20,022,073.34	\$ 19,369,179.65	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 7,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 7,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 7,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00
	20	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	75.2	\$ 4,781,998.08	\$ 4,626,063.36	\$ 7,238,749.59	\$ 7,002,703.41	\$ 0.00

Captación Subterránea	Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		Gasto Eléctrico (\$/m3)		m3/año/(l/s)		l(s)/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		Gasto Eléctrico (\$/año)		Cambio Equipo Bombeo
		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	
P5 y Pcolmo	0	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
20	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00	
P6 - P11	0	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	150	\$ 9,538,560.00	\$ 9,227,520.00	\$ 14,438,995.20	\$ 13,968,158.40	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 21,000,000.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 21,000,000.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 21,000,000.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 21,000,000.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 0.00
20	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	300	\$ 19,077,120.00	\$ 18,455,040.00	\$ 28,877,990.40	\$ 27,936,316.80	\$ 21,000,000.00	

Captación Subterránea	Mantenión Anual	Construcción Pozos	Instalación Eléctrica	Costo Conducción	Costo Habitación	Inversión	Costo Total Anual	Eficiencia Distribución	m3/año/(l/s)	Ingreso [\$ /m3]	Ingreso por Venta
P5 y Pcolmo	\$ 2,000,000.00	\$ 98,868,686.70	\$ 24,000,000.00	\$ 5,200,000.00	\$ 20,000,000.00	\$ 148,068,686.70	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
P6 - P11	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 223,500,617.55	\$ 36,000,000.00	\$ 36,800,000.00	\$ 30,000,000.00	\$ 326,300,617.55	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 185,444,536.55	\$ 36,000,000.00	\$ 61,600,000.00	\$ 30,000,000.00	\$ 313,044,536.55	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 49,173,233.60	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 809,661,583.30
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 21,000,000.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 21,000,000.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 21,000,000.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 21,000,000.00	\$ 96,346,467.20	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 1,619,323,166.59

ALTERNATIVA 2: AGUA DESDE EMBALSE.

Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		o Abast. (\$)	m3/año/(l/s)		(l/s)	m3/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		G. Abast. (\$/año)	Gasto Total Anual	Ef. Distrib.	m3/año	Ingreso [\$/m3]	Venta Anual
	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar			15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar						
0	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	0.6	0	\$ 575.27	\$ 0.00
1	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	398	6224083	\$ 121,799,462.40	\$ 48,049,234.56	\$ 412,958,139.62	\$ 582,806,836.58	0.6	3734449.92	\$ 575.27	\$ 2,148,302,067.68
2	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	339	5299854	\$ 103,713,160.32	\$ 40,914,285.41	\$ 351,636,968.63	\$ 496,264,414.36	0.6	3179912.26	\$ 575.27	\$ 1,829,295,403.86
3	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	425	6649448	\$ 130,123,445.76	\$ 51,333,001.34	\$ 441,180,404.44	\$ 622,636,851.54	0.6	3989668.61	\$ 575.27	\$ 2,295,120,701.45
4	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
5	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
6	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
7	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
8	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
9	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
10	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
11	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
12	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
13	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
14	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
15	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
16	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
17	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
18	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
19	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75
20	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	575	8995208	\$ 176,027,765.76	\$ 69,442,009.34	\$ 596,817,894.24	\$ 842,287,669.35	0.6	5397124.61	\$ 575.27	\$ 3,104,782,284.75

ALTERNATIVA 3: RÉGIMEN MIXTO.

AGUA SUBTERRÁNEA

Captación Subterránea	Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		Gasto Eléctrico (\$/m3)		m3/año/(l/s)		(l/s)/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		Gasto Eléctrico (\$/año)		Cambio Equipo Bombeo
		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	
P1, P3, P4	0	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	190	\$ 12,082,176.00	\$ 11,688,192.00	\$ 18,289,393.92	\$ 17,693,000.64	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 21,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
	20	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	140	\$ 8,902,656.00	\$ 8,612,352.00	\$ 13,476,395.52	\$ 13,036,947.84	\$ 0.00
DREN	0	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	208	\$ 13,226,803.20	\$ 12,795,494.40	\$ 20,022,073.34	\$ 19,369,179.65	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 7,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 7,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 7,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00
	20	\$ 8.00	\$ 8.00	12.11	12.11	7948.8	7689.6	138.9	\$ 8,832,706.56	\$ 8,544,683.52	\$ 13,370,509.56	\$ 12,934,514.68	\$ 0.00

Captación Subterránea	Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		Gasto Eléctrico (\$/m3)		m3/año/(l/s)		(l/s)/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		Gasto Eléctrico (\$/año)		Cambio Equipo Bombeo
		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar	
P5 y Pcolmo	0	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	1	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
	2	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	3	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	4	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	5	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	6	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	7	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	8	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	9	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	10	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	11	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	12	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	13	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	14	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	15	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	16	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	17	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 14,000,000.00
	18	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	19	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00
	20	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 12.11	\$ 12.11	7948.8	7689.6	60	\$ 3,815,424.00	\$ 3,691,008.00	\$ 5,775,598.08	\$ 5,587,263.36	\$ 0.00

Captación Subterránea	Mantención Anual	Construcción Pozos	Instalación Eléctrica	Costo Conducción	Costo Habilitación	Inversión	Gasto Total Anual	Eficiencia Distribución	m3/año/(l/s)	Ingreso [\$ /m3]	Ingreso por Venta
P5 y Pcolmo	\$ 2,000,000.00	\$ 98,868,686.70	\$ 24,000,000.00	\$ 5,200,000.00	\$ 20,000,000.00	\$ 148,068,686.70	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,000,000.00	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 0.00
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 14,000,000.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32
	\$ 2,000,000.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 20,869,293.44	0.6	9383.04	\$ 575.27	\$ 323,864,633.32

COMPRA A EMBALSE.

Año	Gasto Tratamiento (\$/m3)		G. Fijo Abast. (\$/m3)	m3/año/(l/s)		(l/s)	m3/año	Gasto Tratamiento (\$/año)		G. Abast. (\$/año)	Gasto Total Anual	Ef. Distrib.	m3/año	Ingreso [\$/m3]	Venta Anual
	15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar		15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar			15 Ago - 15 Nov	01 Ene - 31 Mar						
0	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	0.6	0	\$ 575.27	\$ 0.00
1	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	0.6	0	\$ 575.27	\$ 0.00
2	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	0.6	0	\$ 575.27	\$ 0.00
3	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	86.3	1349593.92	\$ 26,410,285.44	\$ 10,418,715.94	\$ 89,543,435.80	\$ 126,372,437.18	0.6	809756.352	\$ 575.27	\$ 465,825,297.59
4	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
5	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
6	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
7	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
8	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
9	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
10	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
11	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
12	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
13	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
14	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
15	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
16	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
17	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
18	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
19	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89
20	\$ 38.50	\$ 15.70	\$ 66.35	7948.8	7689.6	236.3	3695353.92	\$ 72,314,605.44	\$ 28,527,723.94	\$ 245,180,925.61	\$ 346,023,254.98	0.6	2217212.352	\$ 575.27	\$ 1,275,486,880.89

BIBLIOGRAFÍA

CON RESPALDO DIGITAL:

- Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona de Desembocadura del río Aconcagua, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1997.
- Prueba de bombeo, Pozo – Dren, Santa Rosa de Colmo, 1997.
- Estudio hidrológico conducción AP Colmo – Concón, Ing. Juan Carlos Castillo, 2007.
- Niveles de Pozos de ESVAL S.A., 2007 – 2013.
- Apuntes del curso Hidrología – Hidrogeología, Profesor Francisco Javier Sánchez San Román, Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, España 2011.
- Apuntes “Análisis Económico” del Curso de “Evaluación de Proyectos”, DUOC UC.
- Manual de Usuario, Visual MODFLOW 2011.
- Apuntes de Clases UTFSM, Hidrología V.4, Prof. Ing. Ludwig Stowhas B.

SIN RESPLADO DIGITAL.

- Memoria de título, Calibración conjunta de modelos integrados de hidrología superficial y subterránea, Ana Paulina Cortés Báez, Noviembre de 2002.
 - Escurrimientos en medios permeables, parte 1 y parte 2, Prof. Ing. Hernán Baeza, 1973.
 - Apuntes de Clases UTFSM, Hidráulica Aplicada, Prof. Ing. Pedro Kamann Ch.
 - Apuntes de Clases UTFSM, Hidráulica Aplicada, Prof. Ing. Ludwig Stowhas B.
-

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Porosidad.	2-2
FIGURA 2.2: Tipos de Acuífero.	2-3
FIGURA 2.3: Superficie Piezométrica.	2-4
FIGURA 2.4: Prisma elemental esquemático.	2-8
FIGURA 3.1: Cuarta Sección Río Aconcagua (Desembocadura) – Google Earth.	3-2
FIGURA 3.2: Ubicación y sectores de referencia de la zona de estudio	3-3
FIGURA 3.3: Plano geológico de Zona de Estudio	3-5
FIGURA 3.4: Estaciones de Mediciones Geofísicas.	3-10
FIGURA 3.5: Curvas de Nivel de Basamento Rocoso.	3-11
FIGURA 3.6: Sectorización Hidrogeológica.	3-12
FIGURA 3.7: Ubicación de Perfiles.	3-12
FIGURA 3.8: Perfil Longitudinal Sectorización Hidrogeológica y Basamento Rocoso.	3-13
FIGURA 3.9: Perfil Transversal N°1.	3-14
FIGURA 3.10: Perfil Transversal N°2.	3-14
FIGURA 3.11: Perfil Transversal N°3.	3-15
FIGURA 3.12: ISOYETAS Acuífero Libre y Acuífero Freático, Desembocadura del Río Aconcagua.	3-19
FIGURA 3.13: Ubicación Pozos de Observación (Google Earth).	3-20
FIGURA 3.14: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C6 (Acuífero Confinado).	3-21
FIGURA 3.15: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C38 (Acuífero Confinado).	3-21
FIGURA 3.16: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C39 (Acuífero Libre).	3-22
FIGURA 3.17: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C67 (Acuífero Libre).	3-22
FIGURA 3.18: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C69 (Acuífero Libre).	3-23
FIGURA 3.19: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C71 (Acuífero Libre).	3-23
FIGURA 3.20: Limnigrama Pozo de Observación DGA – C73 (Acuífero Libre).	3-24
FIGURA 3.21: Distribución de Permeabilidades Acuífero Libre.	3-26
FIGURA 3.22: Distribución de Permeabilidades Acuífero Confinado.	3-26
FIGURA 3.23: Dinámica del Flujo Subterráneo.	3-28
FIGURA 4.1: Celda (i,j,k) y sus seis celdas adyacentes.	4-4
FIGURA 4.2: Flujo entre celdas.	4-5
FIGURA 4.3: Esquema de Simulación VM.	4-7
FIGURA 4.4: Parámetros utilizados método iterativo WHS.	4-11
FIGURA 5.1: Reticulado malla de diferencias finitas del modelo. (COORDENADA UTM MODELO (0,0) = COORDENADA UTM (6354000, 265667) PSAD56).	5-3
FIGURA 5.2: Corte Longitudinal Modelo Acuífero Desembocadura Río Aconcagua. (FILA 16: COORDENADA UTM MODELO 1542 [m] NORTE).	5-4
FIGURA 5.3: Corte Transversal Modelo Acuífero Desembocadura Río Aconcagua. (COL. 48: COORDENADA UTM MODELO 3799.6 [m] ESTE).	5-5
FIGURA 5.4: Esquema de posicionamiento de pozos en calibración 1973 – 1996.	5-9
FIGURA 5.5: Esquema de posicionamiento de pozos en calibración 1996 – 2013.	5-10
FIGURA 5.6: Condiciones de borde de nivel constante (Constant Head Boundary)	5-14
FIGURA 5.7: Nivel de acuífero en pozo DGA – 73 por variación del río Aconcagua.	5-17
FIGURA 5.8: Nivel de acuífero en pozo DGA – 71 por variación del río Aconcagua.	5-17
FIGURA 5.9: Nivel de acuífero en pozo DGA – 69 por variación del río Aconcagua.	5-17

FIGURA 5.10: Nivel de acuífero en pozo DGA – 39 por variación del río Aconcagua.	5-18
FIGURA 5.11: Nivel de acuífero en pozo DGA – 38 por variación del río Aconcagua.	5-18
FIGURA 5.12: Nivel de acuífero en pozo DGA – 38 por variación de PP y ET.	5-20
FIGURA 5.13: Nivel de acuífero en pozo DGA – 39 por variación de PP y ET.	5-20
FIGURA 5.14: Nivel de acuífero en pozo DGA – 67 por variación de PP y ET.	5-21
FIGURA 5.15: Nivel de acuífero en pozo DGA – 69 por variación de PP y ET.	5-21
FIGURA 5.16: Simbología de permeabilidades en estratos.	5-22
FIGURA 5.17: Mapa de Permeabilidades en acuífero libre.	5-23
FIGURA 5.18: Mapa de Permeabilidades en capa arcillosa.	5-23
FIGURA 5.19: Mapa de Permeabilidades en acuífero confinado.	5-23
FIGURA 5.20: Mapa de Permeabilidades en zona confinada inferior.	5-24
FIGURA 5.21: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C6.	5-26
FIGURA 5.22: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C38.	5-26
FIGURA 5.23: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C39.	5-27
FIGURA 5.24: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C67.	5-27
FIGURA 5.25: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C69.	5-28
FIGURA 5.26: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C71.	5-28
FIGURA 5.27: Niveles Históricos y Simulados Pozo DGA – C73.	5-29
FIGURA 5.28: Niveles Históricos v/s Niveles Simulados.	5-29
FIGURA 6.1: Comportamiento de pozos de observación en escenario 1.	6-1
FIGURA 6.2: Pozos con derechos de agua vigentes y pozos con resolución pendiente.	6-4
FIGURA 6.3: Comportamiento de pozos de observación en escenario 3.	6-6
FIGURA 6.4: Pozos con derechos de agua vigentes, pozos con resolución pendiente pozos de ESVAL en construcción.	6-9
FIGURA 6.5: Comportamiento de pozos de observación en escenario 4.	6-10
FIGURA 6.6: Pozos con derechos de agua vigentes, pozos con resolución pendiente más pozos pozos de ESVAL en construcción más pozos sugeridos a ESVAL.	6-13
FIGURA 6.7: Comportamiento de pozos de observación en escenario 5.	6-14
FIGURA 6.8: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C73 (NL).	6-16
FIGURA 6.9: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C71 (NL).	6-16
FIGURA 6.10: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C69 (NL).	6-17
FIGURA 6.11: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C67 (NL).	6-17
FIGURA 6.12: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C6 (NC).	6-18
FIGURA 6.13: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C39 (NL).	6-18
FIGURA 6.14: Niveles Simulados en pozo de observación DGA – C38 (NC).	6-19
FIGURA 6.15: Perfil longitudinal de modelo MODFLOW, considerando límite impermeable de acuífero confinado.	6-20
FIGURA 6.16: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C73 (NL).	6-21
FIGURA 6.17: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C71 (NL).	6-21
FIGURA 6.18: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C69 (NL).	6-22
FIGURA 6.19: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C67 (NL).	6-22
FIGURA 6.20: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C6 (NC).	6-23
FIGURA 6.21: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C39 (NL).	6-23
FIGURA 6.22: Nivel piezométrico de escenario 5 en pozo DGA – C38 (NC).	6-24
FIGURA 7.1: Pozos P5, PColmo y P6	7-3
FIGURA 7.2: Pozos P7, P8 y P9	7-4

FIGURA 7.3: Pozos P10 y P11	7-4
FIGURA 7.4: Comparación gráfica entre alternativas económicas en base a la utilización del VAN Acumulado.	7-14

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Rendimiento específico S en distintos materiales.	2-5
Tabla 2.2: Valores de conductividad hidráulica K en distintos materiales.	2-6
Tabla 3.1: Promedios Térmicos Valparaíso y Quillota.....	3-4
Tabla 3.2: Simbología y Edad Geológica.	3-6
Tabla 3.3: Pozos con derechos de aguas cedidos y en funcionamiento.	3-17
Tabla 3.4: Pozos con derechos de aguas en espera de resolución.	3-18
Tabla 3.5: Registro de niveles históricos de pozos zona de estudio.	3-20
Tabla 5.1: Regla de Explotación ENAMI 1973 – 1996.	5-7
Tabla 5.2: Regla de Explotación RPC y ESVAL 1973 – 1996.	5-8
Tabla 5.3: Regla de Captación Pozos 1996 – 2013. (10 de Julio de 1973 corresponde al día 0).	5-11
Tabla 5.4: Regla de Captación Dren 1996 – 2013. (10 de Julio de 1973 corresponde al día 0). _	5-12
Tabla 5.5: Parámetros de almacenamiento.	5-24
Tabla 6.1: Escenario de explotación actual.	6-32
Tabla 6.2: Extracción ESVAL y total en Escenario 1.	6-1
Tabla 6.3: Pozos considerados en escenario 3.	6-3
Tabla 6.4: Explotación sustentable en escenario 3.	6-5
Tabla 6.5: Explotación sustentable en escenario 4.	6-8
Tabla 6.6: Explotación sustentable en escenario 5.	6-12
Tabla 7.1: Características Físicas Pozos Proyectados.	7-3
Tabla 7.2: Costos de construcción - HIDROCIVIL.	7-5
Tabla 7.3: Costos de inversión.	7-6
Tabla 7.4: Gasto de energía.	7-7
Tabla 7.5: Precio promedio establecido para la venta del agua.	7-8
Tabla 7.6: Análisis VAN de la opción de extraer los 576 l/s desde los acuíferos en la desembocadura del río Aconcagua.	7-9
Tabla 7.7: Gastos de tratamiento Alternativa 2.	7-11
Tabla 7.8: Análisis VAN de la opción de extraer los 575.2 l/s desde el Embalse los Aromos en la desembocadura del río Aconcagua.	7-11
Tabla 7.9: Análisis VAN de la opción de extraer los 575.2 l/s en régimen mixto.	7-13
Tabla 7.10: Diferencia entre VAN Acumulado entre alternativas 1 y 3.	7-14
