



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

SIMULACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO  
UBICADO EN LA QUEBRADA POTRERO GRANDE, REGIÓN DE ATACAMA.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

PABLO ANDRÉS LUCHINGER MOYANO

PROFESOR GUÍA:  
CARLOS PARRAGUEZ DECKER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
SOFÍA ARAVENA FERNÁNDEZ  
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

SANTIAGO DE CHILE  
2013

## RESUMEN

Este trabajo consiste en determinar los efectos que produciría la extracción de 50 l/s, por un período de 15 años, desde el acuífero freático ubicado en la quebrada Potrero Grande, al sur del salar de Pedernales, III Región de Atacama. El objetivo de la extracción es abastecer al proyecto minero Arqueros, que pertenece a la empresa Laguna Resources Chile Ltda.

En base a los antecedentes disponibles se ha realizado una caracterización geológica, hidrológica e hidrogeológica del sector.

Se ha identificado un acuífero freático albergado en depósitos principalmente aluviales y fluviales, con una alta importancia hidrogeológica de acuerdo al SERNAGEOMN (Aguirre, 2005), cuyas recargas fueron calculadas mediante el modelo hidrológico nivopluvial a escala mensual.

Para simular la evolución del acuífero frente a la extracción, se implementaron 2 modelos hidrogeológicos matemáticos en el programa Visual Modflow 2011. Estos modelos se diferencian en los espesores y conductividades asignadas, dado que no es posible determinar el espesor real del acuífero con la información disponible.

En base a los modelos implementados, se han realizado simulaciones en régimen permanente y transiente de los escenarios en condiciones naturales y con la extracción programada.

La discretización temporal de las simulaciones en régimen transiente es de 27 años, considerando un escenario de extracción durante los primeros 15 años.

Los resultados indican que el descenso máximo del nivel del agua, producto de la explotación, es de aproximadamente 5 m, siendo la quebrada Potrero Grande la zona más afectada.

Por otro lado, la disminución máxima del caudal de salida es de 50 l/s, que corresponde a un 15% del caudal en condiciones naturales. Una vez terminada la extracción, el caudal de salida vuelve paulatinamente a su condición natural, mostrando una disminución de sólo 10 l/s después de 5 años y de aproximadamente 2 l/s después de 12 años.

En base a los resultados obtenidos, se determina que el acuífero ubicado en la quebrada Potrero Grande no se ve afectado de forma permanente y la extracción programada de 50 l/s atiende a un carácter sustentable con respecto a la estabilidad del acuífero.

Este estudio fue incluido en los antecedentes presentados a la autoridad ambiental, en el marco de la evaluación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Arqueros.

*A Rosa de las Mercedes*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. ANTECEDENTES GENERALES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
1.3.1. Objetivos generales .....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
<b>1.4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. ESTUDIOS ANTERIORES .....</b>	<b>4</b>
<b>2. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. GEOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
2.2.1. Geología de superficie.....	6
2.2.2. Geología de subsuperficie .....	14
<b>3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. GENERALIDADES CLIMÁTICAS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. VARIABLES FLUVIOMÉTRICAS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4. GENERALIDADES DEL MODELO NIVOPLUVIAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. DEFINICIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS .....</b>	<b>24</b>
4.1.1. Unidad 1 .....	25
4.1.2. Unidad 2 .....	25
<b>4.2. PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO Y GRADIENTES HIDRÁULICOS ...</b>	<b>26</b>
<b>4.3. CONSTANTES ELÁSTICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>4.4. DINÁMICA DEL FLUJO SUBTERRÁNEO .....</b>	<b>30</b>
4.4.1. Mecanismos de recarga .....	32
4.4.2. Mecanismos de descarga.....	33
4.4.3. Balance hídrico .....	33
<b>5. MODELO HIDROGEOLÓGICO EN MODFLOW.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2. ANTECEDENTES UTILIZADOS .....</b>	<b>34</b>
5.2.1. Coberturas y discretización .....	34

5.2.2.	Condiciones de borde y propiedades del modelo .....	35
5.2.3.	Topografía superficial y layers .....	38
5.2.4.	Recarga lateral .....	38
5.2.5.	Recarga directa por precipitaciones .....	40
5.2.6.	Conductividades .....	41
5.2.7.	Almacenamiento .....	42
<b>5.3.</b>	<b>CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4.</b>	<b>RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>5.5.</b>	<b>SIMULACIONES.....</b>	<b>47</b>
5.5.1.	Simulación en régimen permanente .....	47
5.5.2.	Simulación en régimen transiente.....	49
<b>6.</b>	<b>DISCUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO – A.....</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXO – B.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO – C.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 - Información básica de las estaciones usadas. ....	18
Tabla 4.1 - Características generales de la unidad que alberga al acuífero freático. ....	26
Tabla 4.2 - Ubicación y niveles estáticos medidos en los pozos de observación. ....	26
Tabla 4.3 - Resumen de datos de la prueba de bombeo y transmisibilidades resultantes de las pruebas de bombeo (CPH, 2012). ....	29
Tabla 4.4. Gastos específicos de pruebas de bombeo (CPH, 2012). ....	29
Tabla 4.5 - Constantes elásticas adoptadas para el acuífero albergado en la Unidad 1. ....	30
Tabla 4.6 - Información de las subcuencas y recargas obtenidas. ....	32
Tabla 4.7 - Balance hídrico del acuífero. ....	33
Tabla 5.1 - Resumen de la recarga estimada de cada subcuenca. ....	39
Tabla 5.2 - Niveles del agua observados y calculados en cada modelo. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del área de estudio (rectángulo negro) y la cuenca Salar de Pedernales (azul). .....	2
Figura 2.1. Unidades morfoestructurales principales entre los 25°S y 31°S (Nalpas et al., 2008), la cuenca Salar de Pedernales (azul) y el área de estudio (rojo). .....	5
Figura 2.2. Mapa geológico simplificado. Área de estudio en rectángulo negro. ....	7
Figura 2.3. Estratigrafías de los pozos Anglo-1 y Anglo-2 (CPH, 2012). .....	14
Figura 2.4. Área de estudio. Perfiles TEM realizados el año 2012 (Geodatos, 2012) y pozos de observación Anglo-1 y Anglo-2, de los cuales se obtuvo la estratigrafía. ....	15
Figura 3.1. Ubicación de la cuenca Salar de Pedernales (azul) y el área de estudio (negro). .....	18
Figura 3.2. Precipitación mensual promedio en la estación El Salvador. ....	19
Figura 3.3. Relación entre precipitación anual y altura, estimada en estudios anteriores. ....	20
Figura 3.4. Temperaturas mensuales promedio en la estación Potrerillos. ....	20
Figura 3.5. Evaporación mensual promedio en la estación Potrerillos. ....	21
Figura 3.6. Velocidad del viento según la estación Potrerillos. ....	21
Figura 3.7. Caudales medios mensuales afluentes a la estación Río La Ola en Vertedero. ....	22
Figura 4.1. Unidades hidrogeológicas identificadas. ....	24
Figura 4.2. Área de estudio. Sentido del escurrimiento según las equipotenciales trazadas cada 10 m y los 4 pozos de observación. ....	27
Figura 4.3. Las 4 subcuencas coloreadas con diferentes tonos y el área de estudio en rectángulo negro. La zona P-1 corresponde al acuífero modelado. ....	31
Figura 5.1. Mapa del área modelada generada en Visual Modflow 2011. Se observan las celdas activas en color blanco que simulan el acuífero y las inactivas en color verde. ....	35
Figura 5.2. Diferencia ilustrativa de espesores y límites verticales del Modelo 1 (rojo) y del Modelo 2 (verde). ....	36
Figura 5.3. Se observan 2 condiciones de borde. Las celdas inactivas de color verde rodeando limitando lateralmente al acuífero y las cargas constantes de color pardo al norte del acuífero. ....	37
Figura 5.4. En rojo, los pozos de inyección que simulan las recargas laterales provenientes de las subcuencas distribuidos en el modelo. En azul, los 4 pozos de observación: Anglo-1, Anglo-2, PU-1 y PU-2. ....	39
Figura 5.5. Precipitaciones directas anuales (Recharge) en la zona modelada. ....	40
Figura 5.6. Distribución y valores finales de las conductividades adoptadas para cada modelo. ....	41
Figura 5.7. Distribución y valores del coeficiente de almacenamiento ( $S_y$ ). ....	42
Figura 5.8. Calibración en régimen permanente de ambos modelos. ....	44

Figura 5.9. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la calibración del Modelo 1.....	45
Figura 5.10. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la calibración del Modelo 2.....	46
Figura 5.11. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la extracción simulada del Modelo 1. ....	47
Figura 5.12. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la extracción simulada del Modelo 2. ....	48
Figura 5.13. Descensos generados por la extracción de 50 l/s desde la quebrada Potrero Grande en régimen permanente.....	49
Figura 5.14. Discrepancia entre los caudales de entrada y salida en el escenario con extracción para el Modelo 1. ....	50
Figura 5.15. Discrepancia entre los caudales de entrada y salida en el escenario con extracción para el Modelo 2. ....	51
Figura 5.16. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1974, el año de menor recarga al sistema. ....	52
Figura 5.17. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1984, el año de mayor recarga al sistema. ....	52
Figura 5.18. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1986, un año de recarga intermedia al sistema.....	53
Figura 5.19. Comparación de los caudales de salida de ambos modelos, en condiciones naturales y con extracción. ....	54
Figura 5.20. Disminución del caudal subterráneo saliente de ambos modelos, producto de la explotación.....	54
Figura 5.21. Comparación de las variaciones que sufre el nivel del agua en los pozos Anglo-1 y Anglo-2 en las condiciones sin y con extracción en ambos modelos.....	55
Figura 5.22. Distribución de pozos virtuales.....	56
Figura 5.23. Descenso de los pozos L-1 a L-9 en el Modelo 1.....	57
Figura 5.24. Descenso de los pozos L-1 a L-9 en el Modelo 2.....	57
Figura 5.25. Descenso de los pozos O-1 a O-6 en el Modelo 1.....	58
Figura 5.26. Descenso de los pozos O-1 a O-6 en el Modelo 2.....	58

# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Este estudio forma parte de una serie de estudios de evaluación ambiental requeridos por la Dirección General de Aguas (DGA), para poner en marcha el proyecto minero Arqueros. Este proyecto se encuentra en la zona sur de la cuenca Salar de Pedernales y pertenece a la empresa Laguna Resources Chile Ltda.

El abastecimiento de agua del proyecto se llevará a cabo a través de la explotación de agua subterránea. La extracción programada tendrá una duración de 15 años, durante los cuales se extraerá un caudal de 25 l/s desde los pozos Anglo-1 y Anglo-2, dando un total de extracción de 50 l/s. Estos pozos se ubican en la quebrada Potrero Grande, aproximadamente 9 km al noroeste del proyecto y aproximadamente 35 km al sur del salar de Pedernales.

La cuenca Salar de Pedernales es considerada como un área sensible desde el punto de vista ambiental, no sólo en base de sus recursos hídricos, sino que también, respecto a su flora y fauna. De acuerdo al Reglamento de la Ley de Caza, redactado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), en la zona habitan 8 especies amenazadas (SAG, 2008).

Existen estudios hidrogeológicos anteriores de la cuenca Salar de Pedernales (CPH, 2001; 4C, 2001; CPH, 2004; Aguirre 2005; DICTUC, 2009; CPH, 2012). Sin embargo, se requiere de un estudio específico para el acuífero que se encuentra en el sector de Quebrada Potrero Grande, dado que en este sector se encuentran los pozos de extracción.

Cabe mencionar que las aguas subterráneas del acuífero en estudio, forman parte de los recursos hídricos que recibe el salar de Pedernales, ubicado en el extremo norte de la cuenca.

Este trabajo considera la determinación y evaluación de los posibles impactos que tendrá la explotación sobre el acuífero que se encuentra en la quebrada Potrero Grande.

En base a los antecedentes recopilados, se han realizado simulaciones computacionales del sistema hidrogeológico, que contemplan la extracción programada. A partir de los resultados obtenidos, será posible determinar el impacto generado por la extracción.

## 1.2. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se ubica en la Región de Atacama, específicamente en la comuna Diego de Almagro, Provincia de Chañaral (Figura 1.1). Se extiende entre las coordenadas 7.055.000N a 7.067.000N y 487.000E a 502.000E, abarcando un área de 180 km<sup>2</sup>.

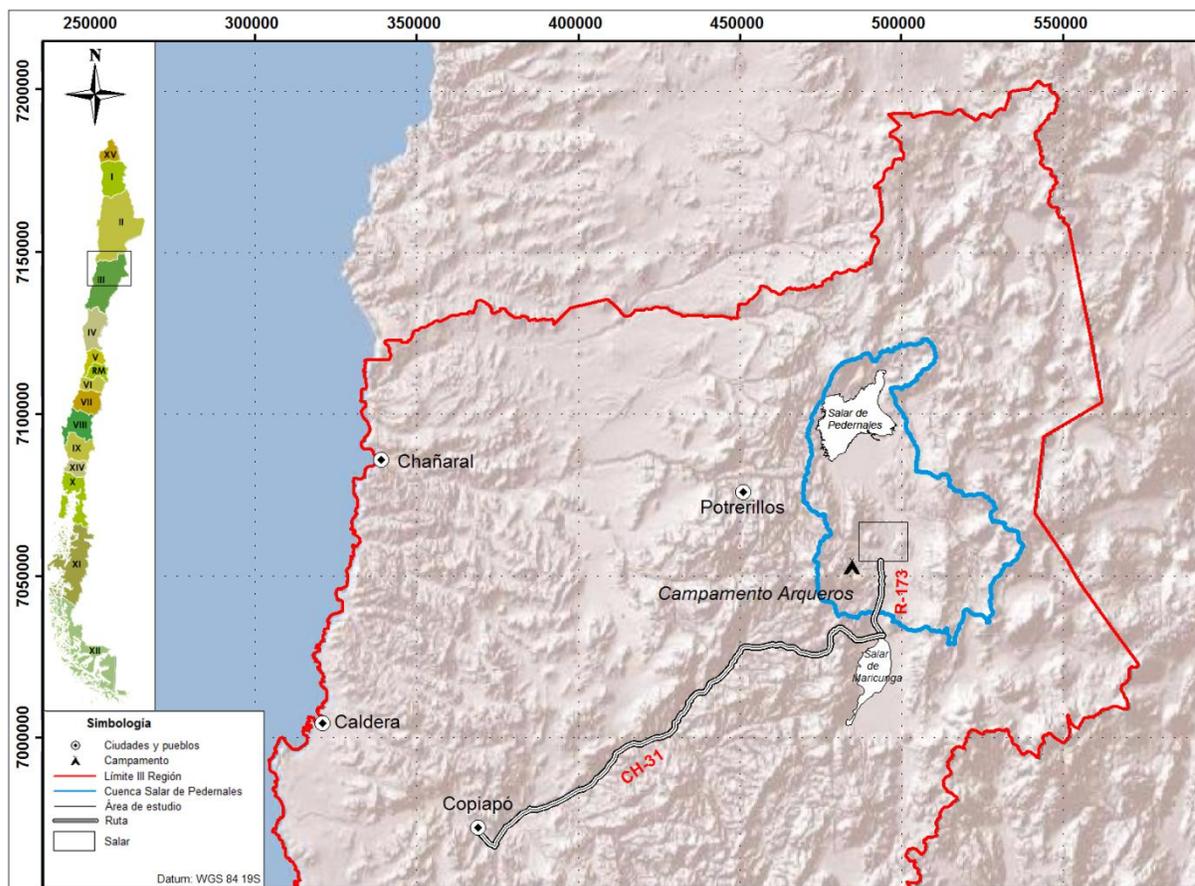


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio (rectángulo negro) y la cuenca Salar de Pedernales (azul).

El acceso se realiza por medio de vehículos terrestres desde la ciudad de Copiapó, siguiendo la ruta CH-31 hasta llegar al salar de Maricunga, donde se dobla en dirección norte, siguiendo la ruta R-173. Para acceder al área de estudio se continúa alrededor de 24 km por este camino hasta el cruce Chimberos, desde donde se puede tomar un camino privado de 10 km hacia el este, para entrar al actual campamento del proyecto Arqueros.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivos generales

- Predecir el comportamiento del acuífero de la quebrada Potrero Grande ante una explotación continua de 50 l/s durante 15 años, como parte de la evaluación ambiental del proyecto Arqueros de la empresa minera Laguna Resources Chile Ltda.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una caracterización hidrogeológica del área de estudio.
- Realizar un modelo hidrogeológico conceptual.
- Implementar un modelo de simulación hidrogeológica en Visual Modflow 2011.

### 1.4. METODOLOGÍA

#### **Trabajo de campo**

Se realizó una visita al área de estudio, con el objetivo de realizar mediciones del nivel del agua en pozos de observación presentes en la zona.

#### **Caracterización geológica**

Se digitalizó un mapa geológico en base a cartas realizadas por el SERNAGEOMIN. En base a la interpretación de perfiles TEM (transiente electromagnético) y estratigrafías de pozos, se realizó un análisis de subsuperficie. La caracterización fue completada con estudios geológicos anteriores de la geología de la zona.

#### **Caracterización hidrológica**

Se recopilaron antecedentes meteorológicos y fluviométricos del sector. En base a las estadísticas recopiladas, más otros antecedentes de estudios anteriores, se implementó el modelo hidrológico nivopluvial para estimar las recargas que recibe el acuífero.

#### **Caracterización hidrogeológica**

Se identificaron las unidades hidrogeológicas, en base a un estudio de la hidrogeología de la cuenca Salar de Pedernales, realizado por el SERNAGEOMIN (Aguirre, 2005). A partir de la interpretación de pruebas de bombeo se cuantificaron las constantes hidráulicas de las unidades hidrogeológicas. Por último, se realizó un balance hídrico del acuífero en base a las recargas estimadas anteriormente.

## **Modelo hidrogeológico en Modflow**

Se implementó un modelo matemático en el programa Visual Modflow 2011, en el cual fueron considerados todos los antecedentes anteriores. Se realizó una calibración del modelo en régimen permanente y simulaciones de la explotación, en régimen permanente y transiente.

### **1.5. ESTUDIOS ANTERIORES**

Las empresas CPH & Asociados S.A. y 4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda., realizaron el año 2001 una estimación de los recursos hídricos afluentes al salar de Pedernales. Este estudio es de tipo preliminar y fue efectuado para la División El Salvador, CODELCO (CPH, 2001; 4C, 2001).

La empresa CPH & Asociados S.A. implementó el año 2004 un modelo matemático hidrogeológico de la cuenca Salar de Pedernales, a petición de la División El Salvador, CODELCO (CPH, 2004).

El SERNAGEOMIN publicó el año 2005 una carta hidrogeológica de la cuenca Salar de Pedernales, en el cual se efectúa una descripción general de las unidades hidrogeológicas identificadas y una caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas (Aguirre, 2005).

La Dirección General de Aguas (DGA) realizó, entre los años 2007 y 2009, un levantamiento hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, regiones XV, I, II y III, incluyendo el salar de Pedernales. Este estudio fue llevado a cabo por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC, 2009).

La empresa Geodatos S.A.I.C. ejerció el año 2012 un estudio geofísico mediante la técnica de Transiente Electromagnético en las modalidades de TEM y NanoTEM, en el sector del proyecto Arqueros, perteneciente a la empresa Laguna Resources Chile Ltda. (Geodatos, 2012).

La empresa GeoInvestment SpA desarrolló el año 2011 un diagnóstico hidrológico, para el proyecto Arqueros, en los sectores propuestos para las obras físicas de rajo, depósitos de relaves y botaderos (GeoInvestment, 2011).

CPH & Asociados S.A. realizó el año 2012 un estudio con el propósito de responder las consultas efectuadas por los servicios con competencia ambiental, en el marco del proceso de evaluación ambiental del proyecto Arqueros. El área de estudio corresponde a la zona de influencia directa e indirecta del proyecto, relacionada con las obras físicas tales como planta, botaderos, pit, depósitos de relaves y acueducto (CPH, 2012).

## 2. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

### 2.1. GEOMORFOLOGÍA

A nivel regional se identifican 5 unidades morfoestructurales longitudinales con orientación N-S. De oeste a este, estas son: la Cordillera de la Costa, el Valle Central, la Precordillera, la Depresión Preandina y la Cordillera Occidental (Figura 2.1).

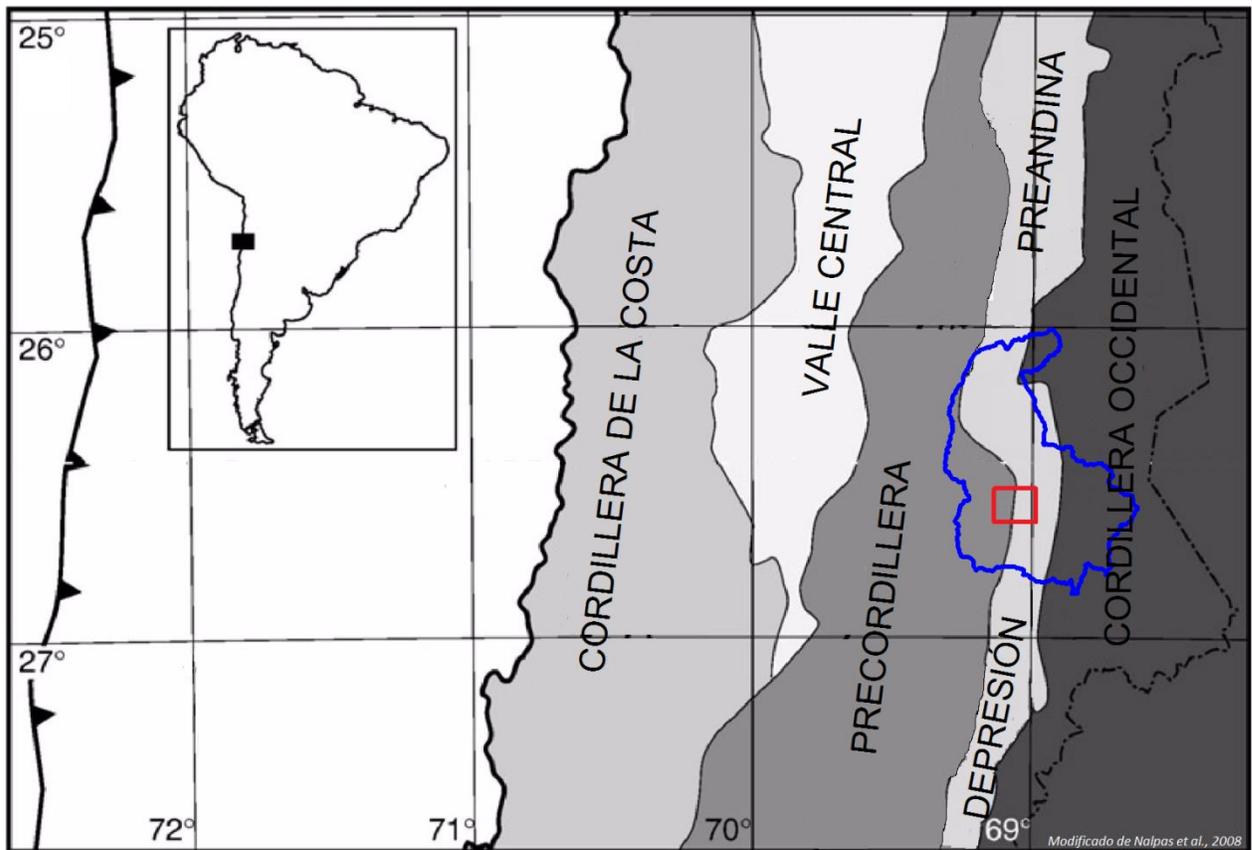


Figura 2.1. Unidades morfoestructurales principales entre los 25°S y 31°S (Nalpas et al., 2008), la cuenca Salar de Pedernales (azul) y el área de estudio (rojo).

La Precordillera o Cordillera de Domeyko es una unidad de cerca de 500 km de largo dominada por ridges elongados del basamento orientados N-S que son limitados por fallas inversas pertenecientes al Sistema de Fallas Domeyko (SFD) y está compuesta en sus partes más altas por rocas intrusivas y volcánicas del Paleozoico tardío (Amilibia, 2008; Mpodozis y Ramos, 1989).

La Depresión Preandina se encuentra limitada por la Cordillera de Domeyko al oeste y por la Cordillera Occidental al este. Está formada por valles tectónicos longitudinales, donde se encuentran principalmente cuencas endorreicas formando salares y lagunas.

La cuenca Salar de Pedernales se encuentra principalmente en la Depresión Preandina y limita con el extremo este de la Precordillera (Cordillera de Domeyko) y con el extremo oeste de la Cordillera Occidental.

La Cordillera Occidental consiste en una continua cadena volcánica que alcanza alturas de hasta 6.893 m s.n.m. (Volcán Ojos del Salado). Forma el borde occidental del Altiplano Boliviano, que yace entre los 3.800 y 4.200 m s.n.m. Se ubica al este de la cuenca Salar de Pedernales.

## 2.2. GEOLOGÍA

### 2.2.1. Geología de superficie

En este estudio se elaboró un mapa geológico simplificado en el cual se agupan unidades por litología y edad (Figura 2.2) con el fin de facilitar la correlación entre las unidades geológicas y unidades hidrogeológicas. Este mapa fue realizado en base a diversas cartas elaboradas por el SERNAGEOMIN (Clavero et al., 1997; Clavero et al., 1998; Cornejo et al., 1998; Tomlinson et al., 1999; Clavero et al., 2012).

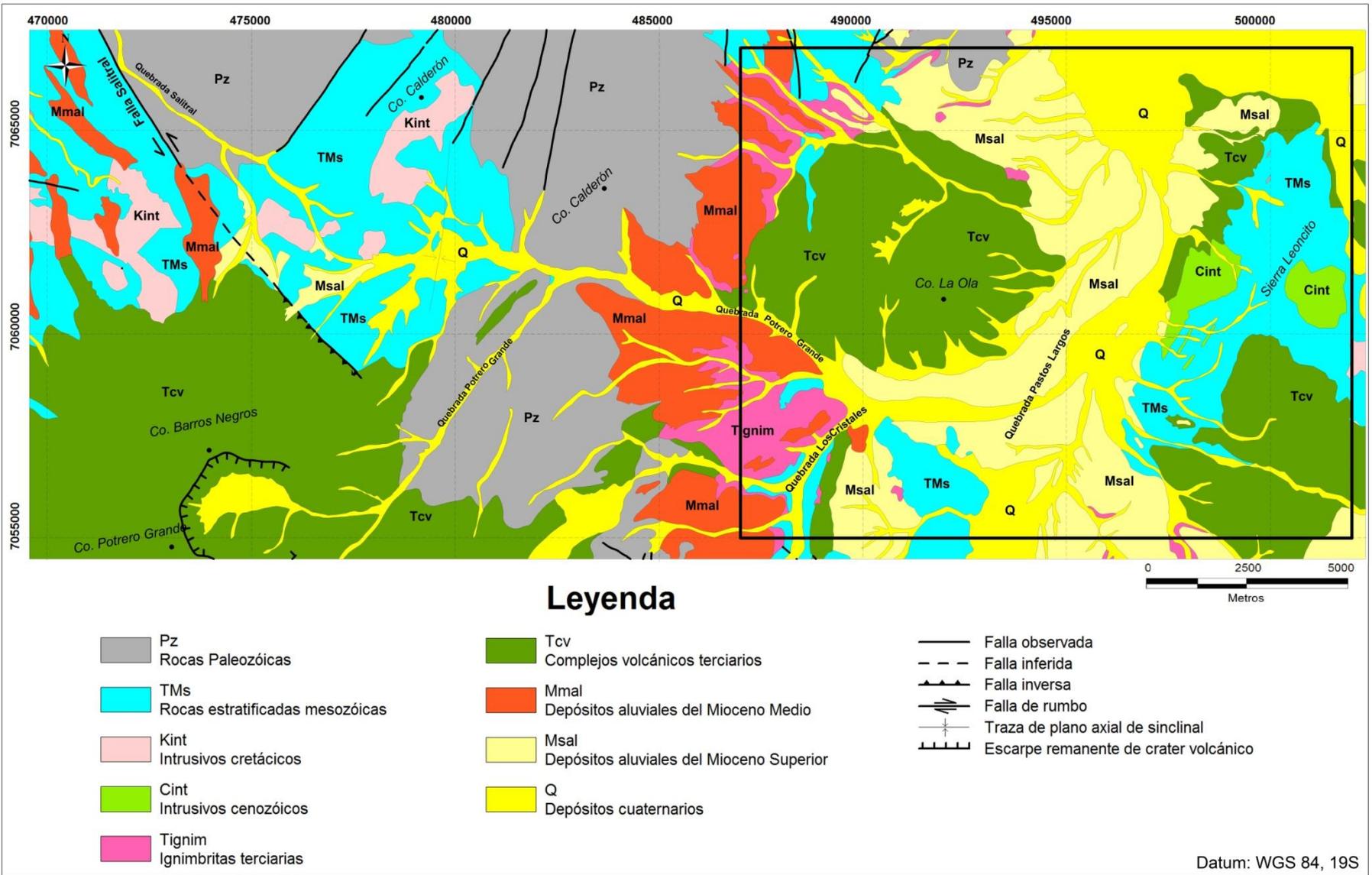


Figura 2.2. Mapa geológico simplificado. Área de estudio en rectángulo negro.

## Rocas del Paleozoico (Pz)

### **Formación Chinchés** (Devónico – Carbonífero?)

Corresponde a metareniscas macizas de grano medio a fino alternadas con filitas micáceas cuya base no se encuentra expuesta. En el área de estudio se encuentra intruida por el Batolito Pedernales, generando aureolas de rocas córneas en la zona de contacto. Las areniscas recrystalizadas contienen fragmentos de cuarzo, plagioclasas, muscovita detrítica, fragmentos líticos metamórficos y presenta una matriz recrystalizada con illita y muscovita (Mercado, 1982).

### **Batolito Pedernales** (Pérmico; 300 – 260 Ma)

Corresponde a un complejo intrusivo multiplutónico que se extiende al suroeste del salar de Pedernales y se divide en 9 facies, de las cuales sólo las facies 1, 2, 4, 5 y 9 se encuentran en el mapa. La facies 1 está compuesta por dioritas y dioritas cuarcíferas de anfíbola. Le sigue la facies 2 con granodioritas cuarcíferas de anfíbola que forman un plutón aislado en el sector nororiental del batolito. La facies 4 corresponde a granitos y granodioritas leucocráticas de grano grueso. La facies 5 está constituida por granitos leucocráticos rosados que forman plutones elongados en el margen oriental y norte del batolito y finalmente la facies 9 corresponde a pórfidos riolíticos y micrograníticos (Cornejo et al., 1993). Las facies mencionadas se encuentran representadas mayoritariamente en el sector norte de la Figura 2.2.

### **Formación La Tabla** (Paleozoico Superior)

Corresponde a una secuencia maciza de tobas y brechas riolíticas y andesíticas. Su nivel basal está compuesto por areniscas y brechas conglomerádicas, mientras que el nivel superior está constituido por brechas y tobas riolíticas. Aflora en el extremo este del área de estudio.

## Rocas estratificadas mesozoicas (TMs)

### **Estratos de Cerro Los Carneros** (85? – 65 Ma)

Secuencia volcánica de hasta 2.000 m de espesor donde se diferencian 3 niveles. El nivel inferior, con un espesor que varía entre los 50 y 300 m, presenta lavas basálticas de olivino, brechas piroclásticas gruesas y tobas riolíticas. El nivel intermedio tiene un espesor de 500 a 700 m y está compuesto por traquiandesitas y andesitas basálticas intercaladas por tobas soldadas dacíticas. El nivel superior tiene más de 1.500 m de

espesor y presenta brechas volcánicas, tobas dacíticas y aglomerados. La base de este último nivel presenta ignimbritas riódacíticas rojizas de 50 m de espesor, seguidas de brechas volcánicas gruesas hacia el techo (Cornejo et al., 1993). Se encuentran en el extremo este del mapa.

#### **Estratos El Mono** (Triásico Superior – Jurásico Inferior)

Consiste en una secuencia sedimentaria detrítica de hasta 2.000 m de espesor. Los niveles inferiores incluyen hasta 1.500 m de brechas volcano-sedimentarias y conglomerados. A pesar de que su base no aflora en la Figura 2.2, se infiere cercana debido a la presencia de conglomerados y brechas gruesas. Los niveles intermedios corresponden a más de 1.300 m de lutitas carbonosas con intercalaciones de areniscas finas. Los niveles superiores están compuestos por alrededor de 1.000 m de conglomerados finos y areniscas cuarcíferas. Los Estratos El Mono representan el relleno sedimentario de una cuenca de “rift” triásica (Mercado, 1982, Cornejo et al., 1993). Se encuentran al final de la quebrada Potrero Grande.

#### **Formación Asientos** (Caloviano?)

Corresponde a una secuencia de calizas fosilíferas y areniscas volcanoclásticas con intercalaciones de lavas basálticas, las cuales se apoyan en concordancia sobre la Formación Montandón. En el techo de esta formación hay una alternancia de niveles calcáreos y volcarenitas, las cuales dan paso a los Estratos de Quebrada Vicuña (Harrington, 1961). En el mapa se encuentran en el sector noroeste.

#### **Formación Montandón** (Pliensbachiano – Bajociano medio?)

Se compone de una alternancia de calizas y calcilitas fosilíferas. En el mapa está representada en la zona oeste, en la quebrada Salitral, donde sus facies consisten principalmente en calcarenitas extraclásticas y biocalcarenitas (Harrington, 1961).

#### **Estratos Quebrada Vicuña** (Caloviano – Titoniano)

Secuencia de hasta 650 m de espesor compuesta por lavas andesíticas, andesíticas basálticas y sills andesíticos. Presenta intercalaciones de calizas y areniscas calcáreas con presencia de fósiles hacia el techo (Cornejo et al., 1993). Se encuentran al sur del cerro Calderón.

#### **Formación Pedernales** (Titoniano – Valanginiano)

Secuencia de calizas y areniscas calcáreas fosilíferas alternadas, con intercalaciones de areniscas verdes. Su espesor varía entre los 150 y 300 m. Subyace concordantemente a la Formación Quebrada Monardes (Cornejo et al., 1993). En el mapa están representadas en sector noroeste.

### **Formación Quebrada Monardes (Cretácico Inferior)**

Corresponde a una secuencia sedimentaria clástica, principalmente arenosa, la cual sobreyace de forma concordante a la Formación Pedernales y subyace en discordancia a los Estratos Cerro Los Carneros. En el área de estudio aflora en la sierra Leoncito, donde presenta un espesor aproximado de 500 m. En este sector presenta facies de areniscas y limolitas rojizas (Mercado, 1982).

### **Estratos El Leoncito (Cretacico Superior)**

Secuencia de conglomerados rojizos, clasto o matriz soportados, con bloques subredondeados de riolitas paleozoicas, calizas arenosas, areniscas rojas, limolitas y clastos de rocas andesíticas. Afloran en la ladera occidental de la sierra Leoncito, en el extremo este del área de estudio, donde tiene un espesor de hasta 500 m y se encuentra intruida por diques dioríticos paleocenos. Sobreyace en discordancia por erosión a la Formación Quebrada Monardes y subyace a los Estratos Río Juncalito (Cornejo et al., 1993).

### *Rocas intrusivas cretácicas (Kint)*

#### **Complejos intrusivos (89? – 68 Ma)**

Corresponde a un conjunto de intrusivos hipabisales cuyos cuerpos de mayor volumen están compuestos por pórfidos andesíticos y microdioríticos de piroxeno. Los cuerpos menores incluyen al Pórfido felsítico Las Tinajas, a un stock de gabros denominado Gabro Las Tinajas y a pórfidos dacíticos del Cerro Calderón – Quebrada Salitral (Cornejo et al., 1998).

### *Rocas intrusivas cenozoicas (Cint)*

#### **Intrusivos Hipabisales (65 – 59? Ma)**

Intrusivos que se encuentran emplazados en las secuencias sedimentarias mesozoicas y en los Estratos de Cerro Los Carneros. En el área de estudio solamente afloran pórfidos dioríticos de piroxeno, los cuales corresponden a enjambres de diques orientados NNE y sills emplazados en los Estratos El Leoncito y en la Formación Quebrada Monardes.

### Ignimbritas terciarias (*Tignim*)

#### **Ignimbrita San Andrés (10 – 9 Ma)**

Depósitos de flujo piroclástico que corresponde a tobas riolíticas cineríticas débilmente soldadas con pómez de tamaño pequeño, escaso material lítico y fragmentos de cristales de biotita, plagioclasas y cuarzo (Clark et al., 1967).

#### **Ignimbrita Los Cristales (16 – 15 Ma)**

Depósitos de flujo piroclástico pumíceo que corresponde a tobas riolíticas pumíceas con cuarzo, plagioclasas y biotita en su matriz y gran cantidad de pómez oxidadas. En el área de estudio se encuentran a lo largo de la quebrada Potrero Grande, cubiertos por depósitos aluviales antiguos y por la Ignimbrita San Andrés. Más al oeste se encuentra intercalada en las Gravas de Atacama (Cornejo et al., 1993).

### Complejos volcánicos (*Tcv*)

Esta unidad agrupa una serie de sistemas volcánicos y sus depósitos asociados, que se describen a continuación:

#### **Cerros La Ola, Carachapampa y Llano Los Arroyos (26 – 23 Ma)**

Corresponde a un centro volcánico menor cuyos aparatos volcánicos centrales y domos extrusivos se encuentran muy erodados. En el mapa se encuentran representados en el cerro La Ola y corresponden a domos de carácter riolítico y dacítico y depósitos de flujos piroclásticos que están compuestos por bloques juveniles dacíticos (Cornejo et al., 1993).

#### **Volcanes Cerros Bravos – Barros Negros (26 – 22 Ma)**

Este complejo incluye 2 estratovolcanes coalescentes (Cerros Bravos y Barros Negros) cuyos productos abarcan un área de 150 km<sup>2</sup> y se emplaza sobre las trazas NW de fallas que limitan por el sur al Batolito Pedernales. Está compuesto por depósitos de flujo piroclástico de 10 a 50 m de espesor (Ignimbrita Cerros Bravos), lavas daciandesíticas y andesíticas, domos dacíticos de hornblenda y biotita, así como también de depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas (Cornejo et al., 1993). En el mapa, los productos de estos volcanes se encuentran en los cerros Barros Negros y Potrero Grande.

### **Domos de Esperanza (24 – 22 Ma)**

Corresponde al conjunto de remanentes de por lo menos 3 domos subcirculares riódacíticos muy erodados y sus productos piroclásticos asociados. Está compuesto por tobas finas riolíticas, domos riódacíticos, extrusivos y subvolcánicos, así como también por pórfidos dacíticos de anfíbola (Cornejo et al., 1993). En el mapa se encuentran principalmente al este de la quebrada Los Cristales.

### **Estratos Río Juncalito (26? – 21 Ma)**

Corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria que aflora en el extremo este del área de estudio, en torno a la sierra Leoncito. El nivel inferior se compone de flujos de tobas riódacíticas, con material lítico y pómez de gran tamaño, contenidas en una matriz pumícea. El nivel superior tiene un espesor mayor a los 300 m y está formado por depósitos de flujos piroclásticos, con intercalaciones de conglomerados gravosos y niveles arenosos (Clavero et al., 1998).

### *Depósitos aluviales del Mioceno Medio (Mmal)*

#### **Gravas de Atacama (Mioceno Medio)**

Corresponden a depósitos semiconsolidados de gravas polimíctas y arenas. Presentan selección y redondeamiento regular, son matriz o clasto soportados, se encuentran localmente imbricados, están cementados por carbonatos, con lentes de arena y niveles cineríticos retrabajados. Además, representan la sedimentación aluvial y fluvial de drenajes exorreicos antiguos activos durante el Mioceno. También presenta intercalaciones de la Ignimbrita Los Cristales (Mortimer, 1973).

### *Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (Msal)*

#### **Depósitos aluviales antiguos (Mioceno Superior-Plioceno)**

Se compone de bancos de gravas y bloques con mala selección y redondeamiento, matriz soportados, con abundantes arenas y limos. Localmente presenta bancos de arena fina. El techo de estos depósitos se encuentra disecado por los cursos aluviales y fluviales actuales.

## Depósitos cuaternarios (Q)

### **Depósitos aluviales**

Arenas, gravas y limos asociados a sistemas de drenaje ocasional o cauces inactivos. Cubren extensas llanuras y pequeñas cuencas cerradas.

### **Depósitos coluviales**

Sedimentos depositados desde laderas con una pendiente alta. Están compuestos por arenas y bloques angulosos, comúnmente monomícticos.

### **Depósitos de remociones en masa**

Sedimentos compuestos por bloques de diverso tamaño y material disgregado in situ, que son el producto de transporte gravitacional.

### **Depósitos fluviales**

Arena y gravas en el lecho de cauces activos, principalmente de los ríos La Ola y Leoncito, asociados al sistema hidrológico de la cuenca de Pedernales.

## Estructuras

En el sector oeste del mapa se encuentra la falla Salitral, que forma parte de un sistema de fallas subverticales de rumbo NNO, espaciadas entre 3 y 10 km. Esta falla forma el rasgo estructural dominante de la región; desplazamientos de contactos señalan movimiento sinistral, acompañado de saltos en la vertical variables entre algunas decenas hasta, posiblemente, 800 m.

Este sistema de fallas, probablemente, es parte de un sistema estructural paleozoico reactivado por una deformación eocena, y constituyen un corredor estructural que, desde Potrerillos, se extiende hacia el sureste en la Franja de Maricunga (Mpodozis et al., 1995) hasta la zona de Valle Ancho en Argentina (Mpodozis et al., 1997).

Dentro del dominio de fallas NNO, las unidades estratificadas mesozoicas ocurren en forma subhorizontal o deformadas en pliegues abiertos de gran longitud de onda, la cual va disminuyendo hacia el este.

Se observa que este sistema de fallas se encuentra al oeste del área de estudio.

En el área de estudio existen fallas NNE, sin embargo, no se encuentran en el área del acuífero modelado y, por lo tanto, no fueron consideradas.

### 2.2.2. Geología de subsuperficie

Las estratigrafías de los pozos Anglo-1 y Anglo-2 (Figura 2.3) muestran que en los primeros 80 m desde la superficie se encuentran principalmente arenas de grano medio a grueso, gravas y gravillas, con una escasa presencia de arcillas en los primeros 60 m. Estos depósitos se asocian a depósitos aluviales de la unidad Q (depósitos cuaternarios).

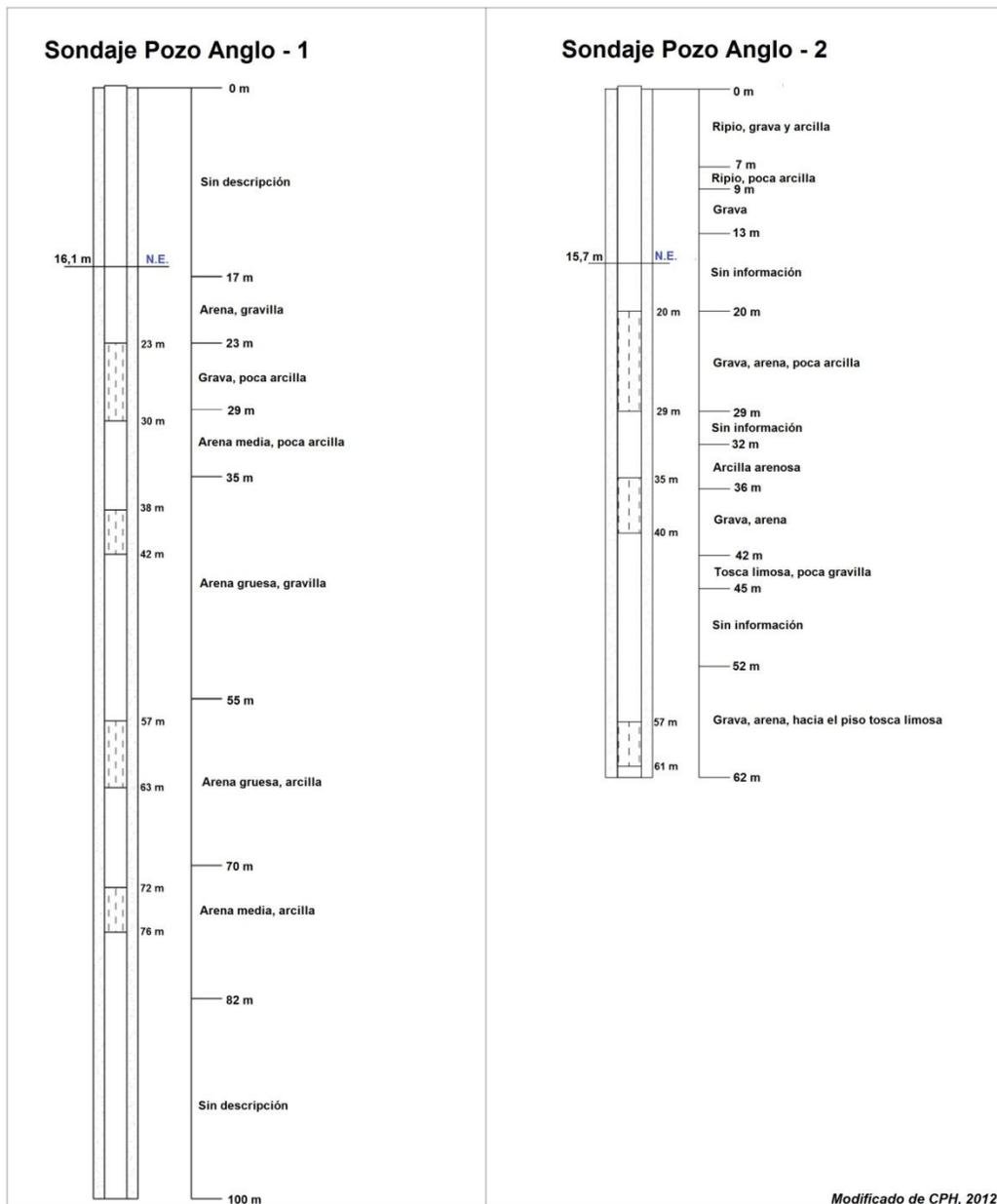


Figura 2.3. Estratigrafías de los pozos Anglo-1 y Anglo-2 (CPH, 2012).

En la zona de estudio existen 5 perfiles TEM (transiente electromagnético), realizados en marzo del año 2012 (Geodatos, 2012), abarcando la quebrada Potrero Grande y parte de la quebrada Pastos Largos (Figura 2.4).

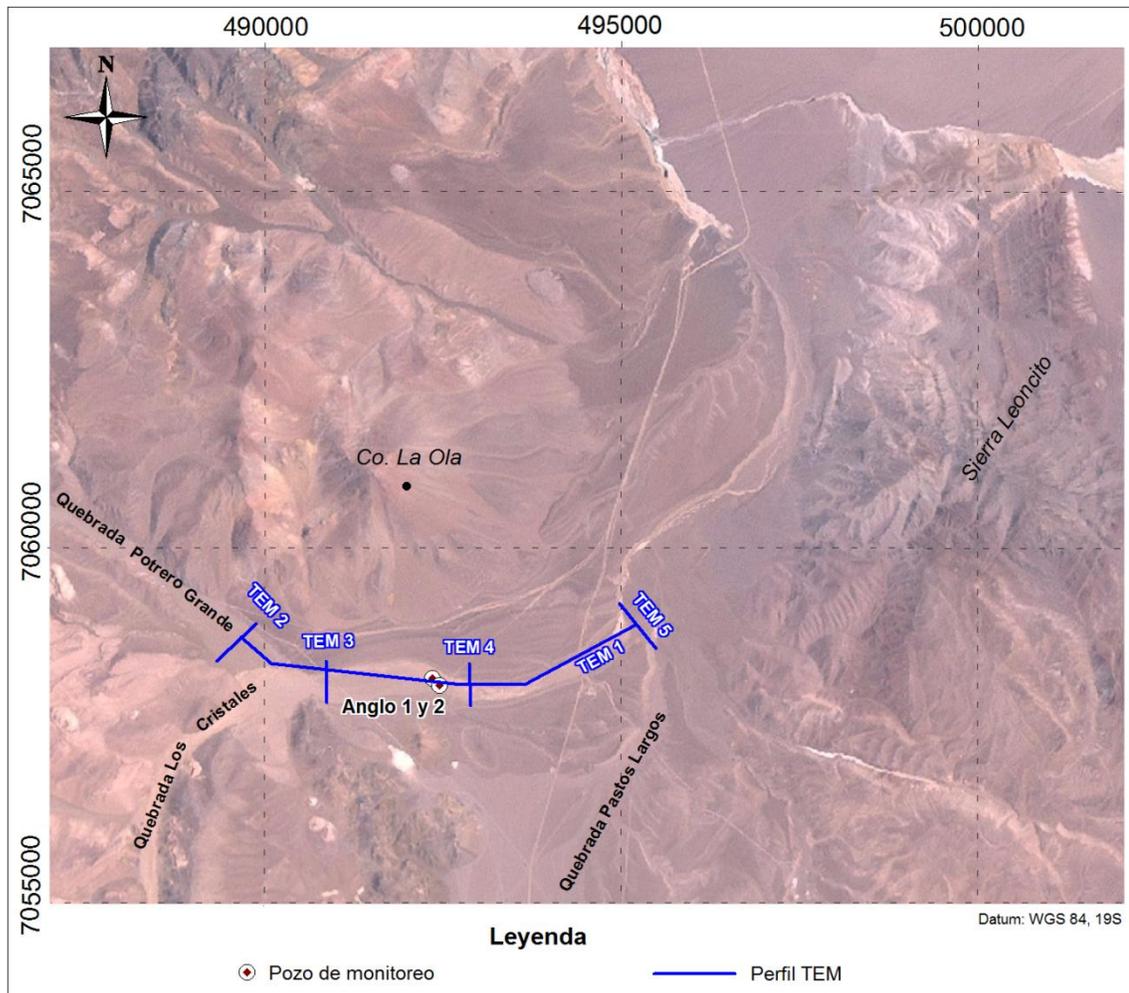


Figura 2.4. Área de estudio. Perfiles TEM realizados el año 2012 (Geodatos, 2012) y pozos de observación Anglo-1 y Anglo-2, de los cuales se obtuvo la estratigrafía.

De acuerdo a la interpretación realizada por Geodatos S.A.I.C. (Anexo A), en el sector de Quebrada Potrero Grande, el espesor del relleno sedimentario aumenta de este a oeste, variando de 90 a 300 m aproximadamente.

Hacia el este, la base está compuesta por una secuencia de arenas, limos y arcillas, que tiene un espesor que varía entre 40 y 160 m. Se identifica una pequeña capa de arcillas a 40 m de profundidad. En el extremo oeste, la base se compone por gravas, gravas arcillosas y arenas con espesores de 100 a 120 m, seguidos por arenas, gravas, gravas arcillosas y arcillas con espesores cercanos a los 50 m. También se identifican

sectores con sedimentos compactos entre profundidades de 50 a 80 m. Estos depósitos se asocian a la unidad Msal.

El techo del relleno está compuesto por una secuencia de gravas, gravillas y arenas, con espesores entre 50 y 90 m. Estos depósitos se asocian a la unidad Q.

### 3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca Salar de Pedernales se extiende entre las coordenadas 7.029.088N a 7.122.205N y 469.614E a 541.497E, ubicándose al este de la Región de Atacama cerca de la frontera con Argentina (Figura 3.1).

Abarca una superficie hidrográfica de aproximadamente 3.570 km<sup>2</sup>, siendo la cuenca cerrada más grande de la Región de Atacama, con una altitud media de 3.995 m s.n.m. En el sector norte limita con el cerro Doña Inés (5.070 m s.n.m.) y la cuenca Salar de los Infieles.

Por el sur, limita con el salar de Maricunga, siguiendo la línea del cerro de La Sal, cerro Vertientes y Pico Wheelwright. Hacia el este, marcan su límite la Sierra de Aliste y Sierra Nevada. Hacia el oeste, limita con la Sierra Bórax, cerros Bravos y con la cuenca exorreica del río de La Sal, que desemboca en el océano Pacífico.

El salar de Pedernales se ubica en el extremo norte de la cuenca, abarcando aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, con lo cual corresponde al salar más grande de la Región de Atacama con lagunas superficiales que suman menos de 1 km<sup>2</sup> de extensión.

En el área de estudio se conocen sólo cursos de agua superficial intermitentes en las quebradas, que presentan escurrimiento en los meses de verano, producto de deshielos y lluvias. Desde el este, aparece el río Leoncito, al norte de la sierra Leoncito.

En esa misma zona, un poco más al sur, se encuentra un sector llamado Ojos de Agua de la Ola, que marca el nacimiento del río La Ola producto de los afloramientos de agua subterránea que se originan como consecuencia de un estrechamiento de la sección subterránea presente en el sector (CPH, 2004).

En el modelo realizado sólo se consideran flujos de aguas subterráneas, dado que los escurrimientos superficiales de los ríos La Ola y Leoncito, no forman parte del área del acuífero modelado. Estos flujos subterráneos aportan directamente al río La Ola, cuya cuenca, junto a la del río Juncalito, generan las principales recargas al salar de Pedernales.

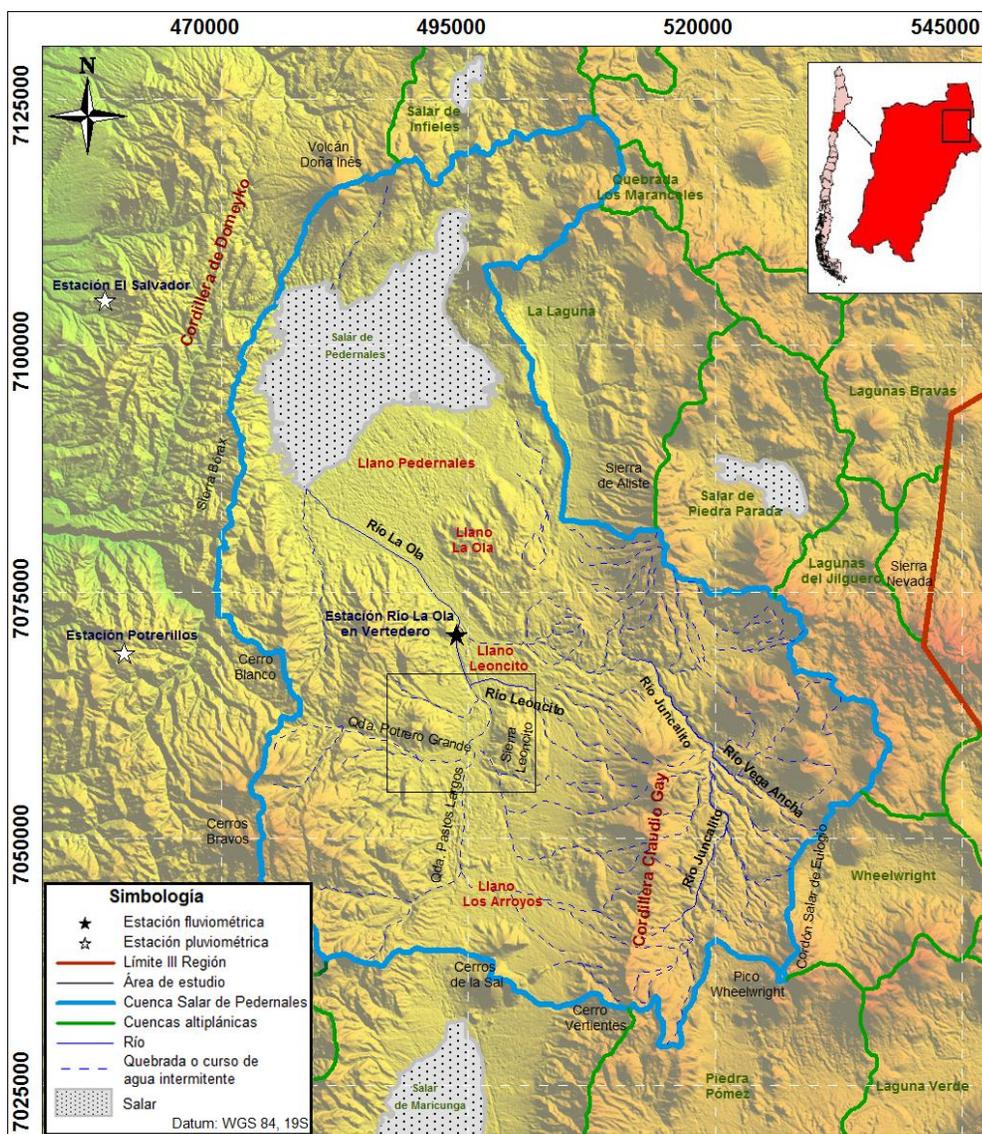


Figura 3.1. Ubicación de la cuenca Salar de Pedernales (azul) y el área de estudio (negro).

Se contó con información de dos estaciones pluviométricas (El Salvador y Potrerillos) y una estación fluviométrica (Río La Ola en Vertedero), cuyas locaciones se muestran en la Figura 3.1. Cabe mencionar que ninguna de estas estaciones se encuentra dentro del área de estudio, sin embargo, es la única información disponible.

Tabla 3.1 - Información básica de las estaciones usadas.

Fuente	Código	Estación	Coordenadas		Altura (m s.n.m.)
			Este (m)	Norte (m)	
DGA	03022001-3	Río La Ola en Vertedero	494.032	7.071.037	3.600
NOAA	85460002	El Salvador	458.238	7.104.657	2.650
NOAA	85460003	Potrerillos	460.346	7.069.222	2.850

### 3.1. GENERALIDADES CLIMÁTICAS

La zona se encuentra inserta en un clima de tundra por efecto de altura con escasa lluvia, presentando temperaturas medias cercanas a los 5°C en las zonas bajas, así como altas oscilaciones térmicas entre el día y la noche, características típicas de zonas desérticas (DGA, 2009).

Por otro lado, entre la precipitación presente, la sólida constituye la más importante, ya que es relativamente abundante y es la principal fuente de alimentación de los cursos superficiales del sector. Se produce entre los meses de mayo y agosto, concentrándose de forma permanente sobre los 6.000 m s.n.m.

Las precipitaciones líquidas, de menor relevancia, son remanentes del Invierno Boliviano provenientes del océano Atlántico y de la cuenca del Amazonas. Éstas son escasas o nulas y se generan en los últimos meses del año.

### 3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS

#### a) Precipitación

La Figura 3.2 muestra la precipitación promedio mensual registrada en la estación El Salvador. Son escasas durante el año, promediando anualmente 22,6 mm y se concentran principalmente en los meses de octubre y noviembre, con máximas de 5,4 mm promedio en octubre. Estas lluvias son remanentes del Invierno Boliviano (DGA, 2009).

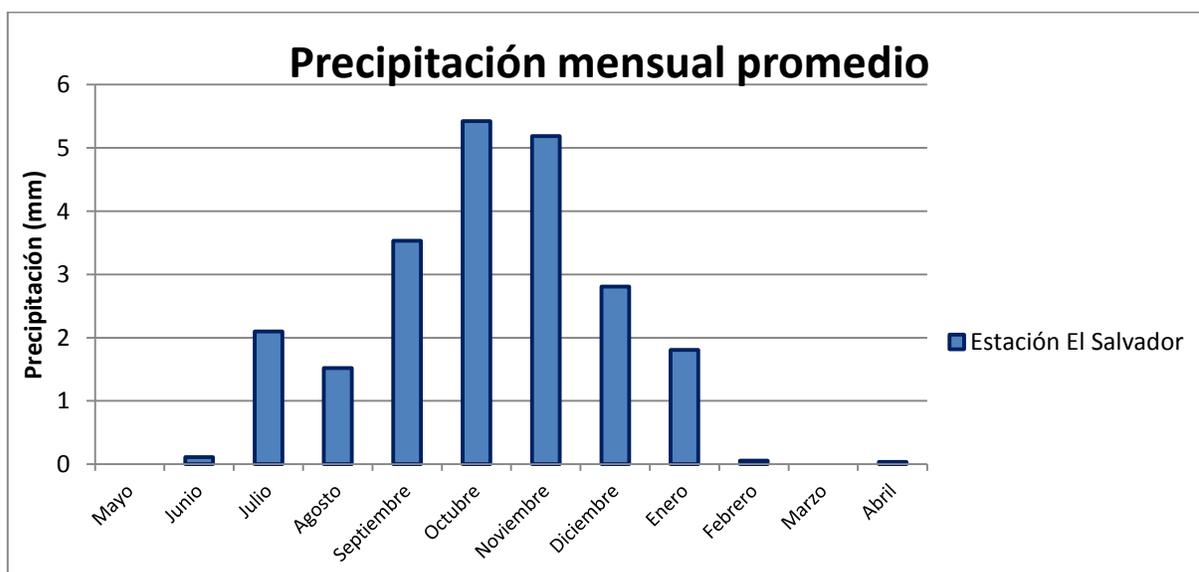


Figura 3.2. Precipitación mensual promedio en la estación El Salvador.

La relación entre la altitud y las precipitaciones juega un papel importante, ya que determinan las recargas de las cuencas afluentes al área del modelo. A continuación, se presenta una comparación entre 2 gradientes de precipitación según distintos estudios.

El gradiente calculado por la DGA corresponde al salar de Pedernales, restringiéndose al sector norte de la cuenca, mientras que el estudio realizado por la consultora 4C, corresponde a la totalidad de la cuenca Salar de Pedernales. En el capítulo 3.4 se detalla cual gradiente fue utilizado en este estudio.

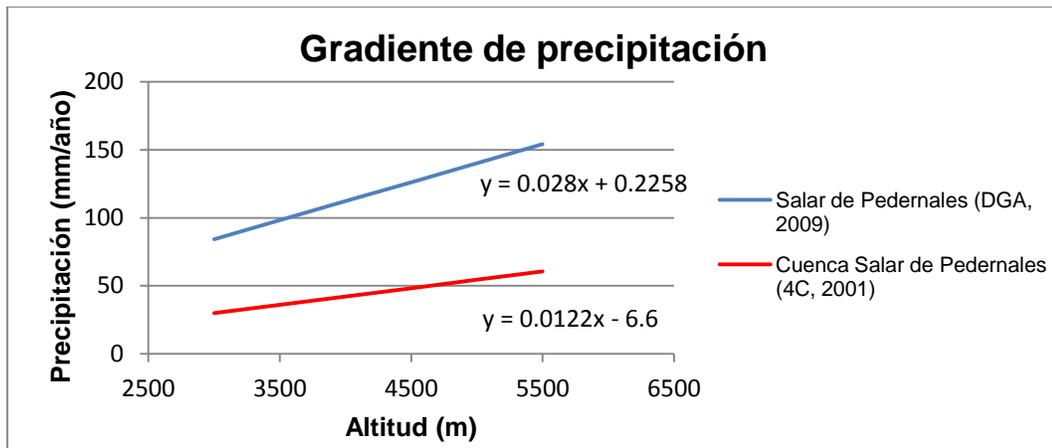


Figura 3.3. Relación entre precipitación anual y altura, estimada en estudios anteriores.

## b) Temperatura

Las temperaturas registradas en la estación Potrerillos son relativamente estables (Figura 3.4), con mínimas promedio de 8,3 °C en agosto y máximas de 13,9 °C en enero.

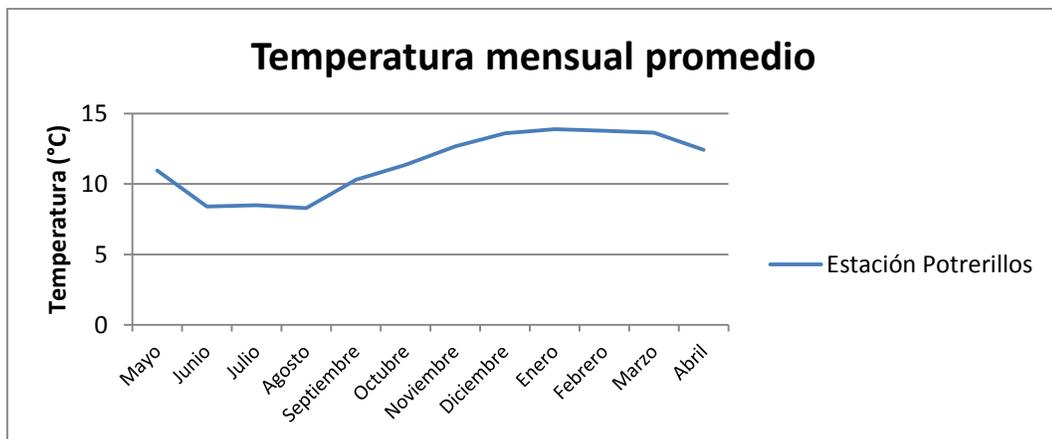


Figura 3.4. Temperaturas mensuales promedio en la estación Potrerillos.

### c) Evaporación

La aridez de la cuenca Salar de Pedernales no sólo está determinada por las escasas precipitaciones; la información recopilada en la estación Potrerillos indica que las tasas de evaporación promedio anual alcanza los 2.661 mm, con máximas mensuales de 280,3 mm en marzo y mínimas de 148,4 mm en octubre (Figura 3.5).

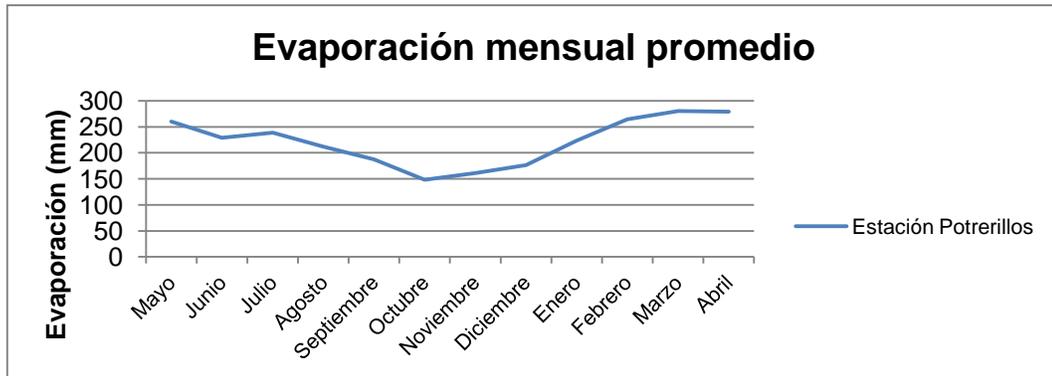


Figura 3.5. Evaporación mensual promedio en la estación Potrerillos.

Cabe mencionar que en el área cubierta por el modelo hidrogeológico no existen zonas de vegas ni bofedales. Por esta razón, la evaporación sólo fue considerada indirectamente al momento de calcular las recargas laterales.

### d) Velocidad del viento

En la zona hay vientos todo el año que promedian los 10,1 km/h, sin sufrir variaciones importantes (Figura 3.6).

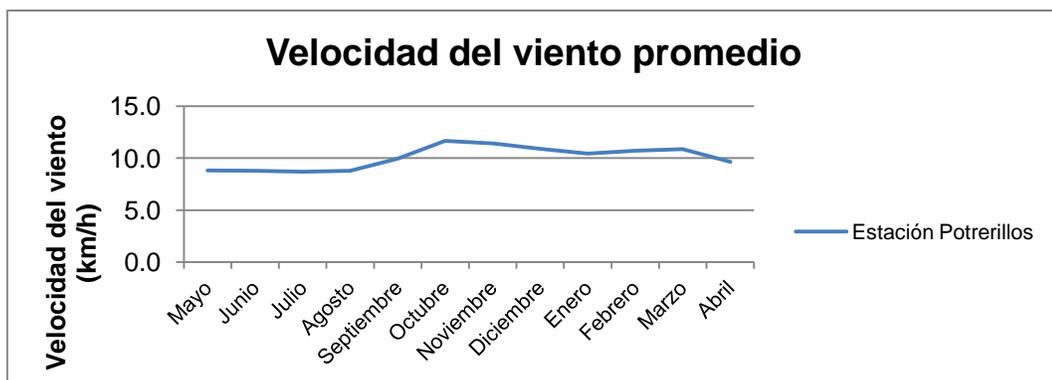


Figura 3.6. Velocidad del viento según la estación Potrerillos.

### 3.3. VARIABLES FLUVIOMÉTRICAS

#### a) Caudales

Las estadísticas de los caudales que se presentan a continuación fueron obtenidas de la estación Río La Ola en Vertedero, que se encuentra ubicada en el embalse La Ola.

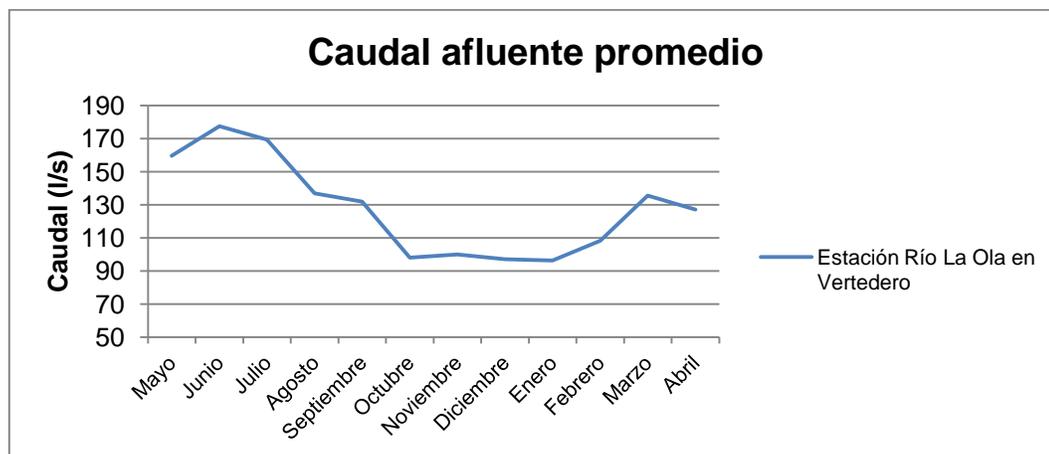


Figura 3.7. Caudales medios mensuales afluentes a la estación Río La Ola en Vertedero.

### 3.4. GENERALIDADES DEL MODELO NIVOPLUVIAL

Dado que en el área de estudio las precipitaciones son preferentemente sólidas, para la determinación de las recargas al acuífero se recurrió al modelo hidrológico nivopluvial a escala mensual. El modelo fue desarrollado en su versión original por CICA Ing. Consultores, en un estudio para la Comisión Nacional de Riego (Stowhas y Seguel, 1985):

- Este modelo considera la variabilidad espacial de las variables hidrometeorológicas, especialmente la de la precipitación, evaporación y temperatura, cuyos montos son notoriamente dependientes de la altitud.
- La modelación se efectúa subdividiendo la superficie de la cuenca en bandas de altura y se postula que dentro de cada banda existe una homogeneidad de las variables meteorológicas.
- Opera en base a la aplicación de la ecuación del balance hídrico sobre un área unitaria de la superficie de la cuenca. Para la aplicación de esta ecuación de

balance, previamente se define para cada banda, dos períodos estacionales: uno invernal y uno estival.

- Durante el período invernal considera que la precipitación cae en forma sólida sin provocar escorrentía y la evapotranspiración potencial corresponde a la evaposublimación desde la superficie de la nieve.
- Durante el período estival considera que la precipitación ocurre en forma líquida, escurriendo un porcentaje en forma directa, y la evapotranspiración potencial corresponde a la evaporación desde agua líquida. Durante este período, las fuentes que satisfacen la evaporación son la precipitación y la humedad del suelo.

Para su operación, el modelo cuenta con a lo menos 17 parámetros que fueron calibrados comparando la escorrentía total generada con la estadística de caudales registrada en la estación Río La Ola en Vertedero. Dos de estos parámetros se refieren a los coeficientes que relacionan la precipitación con la altitud, los cuales pueden ser ingresados como un dato, o bien, determinados durante la calibración.

En esta oportunidad, como la calibración ya fue realizada en un estudio anterior (CPH, 2001), se seleccionó la relación entre precipitación y altitud que fue determinada en el estudio realizado por 4C (4C, 2001) y se utilizó la estadística de la estación El Salvador, que se encuentra a 2.650 m s.n.m, como estación patrón para generar las precipitaciones en el área de estudio.

Como se puede observar en la Figura 3.3, los gradientes de precipitación obtenidos por la DGA son mayores, llegando a más de doble de los valores estimados por la consultora 4C.

En este estudio se consideró el gradiente menor, lo cual implica que las recargas estimadas mediante la aplicación del modelo son más conservadoras en comparación con las que resultarían usando el gradiente obtenido por la DGA.

Como resultado, el modelo nivopluvial entrega una estimación de los valores de escorrentía superficial y percolación de cada banda, así como también la escorrentía subterránea y total de cada cuenca (Anexo C). Estos valores son ingresados en el modelo en Visual Modflow 2011 (Capítulo 5).

## 4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### 4.1. DEFINICIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las unidades hidrogeológicas corresponden a las definidas en un estudio hidrogeológico de la cuenca Salar de Pedernales (Aguirre, 2005). En este estudio, se determinó modelar mediante Visual Modflow 2011 aquellos acuíferos considerados como de alta importancia hidrogeológica según Aguirre. A partir de lo anterior se identificaron 2 unidades (Figura 4.1) que se describen a continuación.

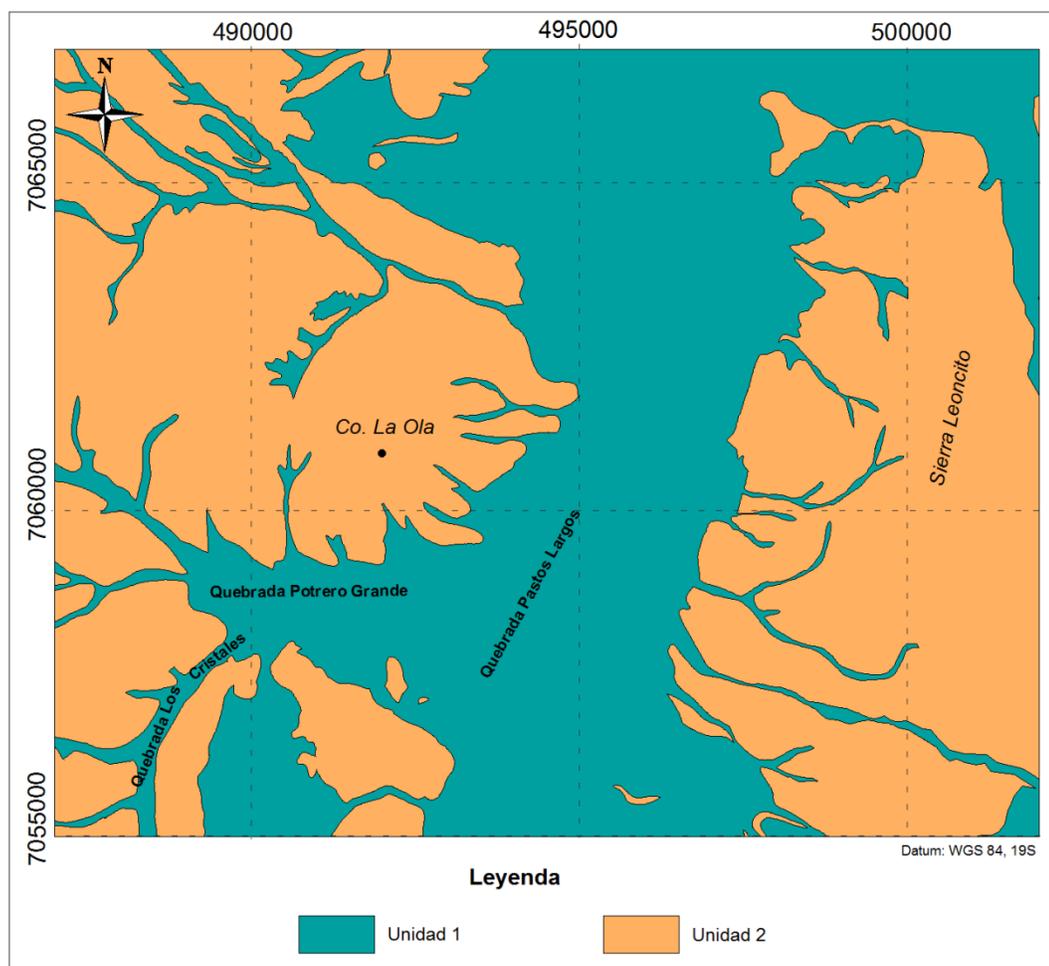


Figura 4.1. Unidades hidrogeológicas identificadas.

#### 4.1.1. Unidad 1

La Unidad 1 corresponde a las unidades geológicas identificadas como formadoras de acuíferos de alta importancia hidrogeológica. Dentro del área de estudio están representadas por depósitos no consolidados correspondientes a las unidades geológicas Q (depósitos cuaternarios) y Msal (depósitos aluviales del Mioceno Superior – Plioceno), agrupadas en esta unidad debido a la continuidad hidráulica que presentan (Aguirre, 2005).

En particular corresponden a depósitos aluviales, fluviales y coluviales asociados a sistemas de drenaje y abanicos aluviales de diversa edad, que han sido disecados por el sistema de drenaje actual.

Esta unidad tiene una gran extensión y su espesor es variable, en base a la interpretación de los perfiles TEM, se estima de hasta 300 m.

Las litologías predominantes corresponden a gravas y arenas polimícticas soportadas en una matriz de arena fina a limo, con moderada a mala selección, esfericidad y redondeamiento (depósitos aluviales y coluviales cuaternarios); gravas y arenas clasto soportadas y polimícticas, con buena esfericidad y redondeamiento, selección moderada, que sobreyacen o disecan a los depósitos aluviales antiguos (depósitos fluviales cuaternarios); gravas y bloques con arenas y limos polimícticos, con mala selección, redondeamiento y esfericidad (depósitos aluviales antiguos).

La Unidad 1 forma acuíferos libres o freáticos de espesor variable. Recibe una recarga importante en las zonas apicales entre los meses de octubre y febrero, que corresponde a la época de deshielo del sector. Debido a la escasez de lluvias, la recarga producida por estas es de menor relevancia y también se concentran entre octubre y febrero.

Como se explicará en el Capítulo 5, los espesores utilizados en el modelo fueron determinados en base a la interpretación de los perfiles TEM.

Dadas sus características físicas y geológicas, se estima que tiene una alta transmisibilidad, permeabilidad y capacidad de almacenamiento, constituyendo un acuífero con un alto potencial hidrogeológico.

#### 4.1.2. Unidad 2

La Unidad 2 está constituida por todas las unidades geológicas mayoritariamente identificadas como de nula importancia hidrogeológica.

En esta unidad se agrupan el resto de las unidades geológicas. Para efectos del modelo, estas unidades se consideran impermeables.

Cabe mencionar que la formación Estratos del Río Juncalito, que se encuentran en la ladera oeste de la Sierra Leoncito, es considerada como de importancia media a nula, sin embargo, no se cuenta con estudios que cuantifiquen sus cualidades hidrogeológicas, por lo tanto, fue considerada en la Unidad 2.

En resumen, se identifica un acuífero libre que se encuentra en la Unidad 1, es decir, en depósitos de gran extensión, con características hidráulicas favorable. Se estima un buen potencial hidrogeológico para la unidad.

Tabla 4.1 - Características generales de la unidad que alberga al acuífero freático.

Unidad	Tipo de depósito	Litología predominante	Espesor (m)	Edad
Unidad 1	Aluvial, fluvial, coluvial, remociones en masa	Arenas, gravas y limos	< 300	Actual a Mioceno Superior

#### 4.2. PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO Y GRADIENTES HIDRÁULICOS

La profundidad del nivel estático de la zona fue determinada a partir de niveles medidos directamente en cuatro pozos de observación que se encuentran dentro del área de modelo; PU-1, PU-2, Anglo-1 y Anglo-2 (Tabla 4.2). También se contó con medidas indirectas resultantes de la interpretación de los perfiles TEM. A partir de estos antecedentes se extrapoló el nivel al resto del área que abarca la Unidad 1 (Figura 4.2).

Tabla 4.2 - Ubicación y niveles estáticos medidos en los pozos de observación.

Pozo	Coordenadas		Profundidad nivel estático (m)
	Este (m)	Norte (m)	
PU - 1	496.247	7.064.652	0,55
PU - 2	495.884	7.065.011	0,53
ANGLO - 1	492.347	7.058.151	15,56
ANGLO - 2	492.453	7.058.052	16,2

Como se observa en la Figura 4.2, el nivel estático del agua aumenta de norte a sur y de este a oeste. En el extremo sur del modelo se tiene que la profundidad promedio del nivel estático es de 30 m, que disminuye considerablemente hacia el extremo norte, donde la profundidad del nivel estático llega a 0,5 m en promedio.

Esto se debe a la variación topográfica de sur a norte, disminuyendo paulatinamente desde los 3.670 m s.n.m., en promedio en el extremo sur, hasta los 3.620 m s.n.m. en el extremo norte del modelo. También se debe a que en la zona norte del valle principal del modelo se produce un estrechamiento que eleva el nivel del agua, permitiendo el nacimiento del río La Ola más al norte (CPH, 2004).

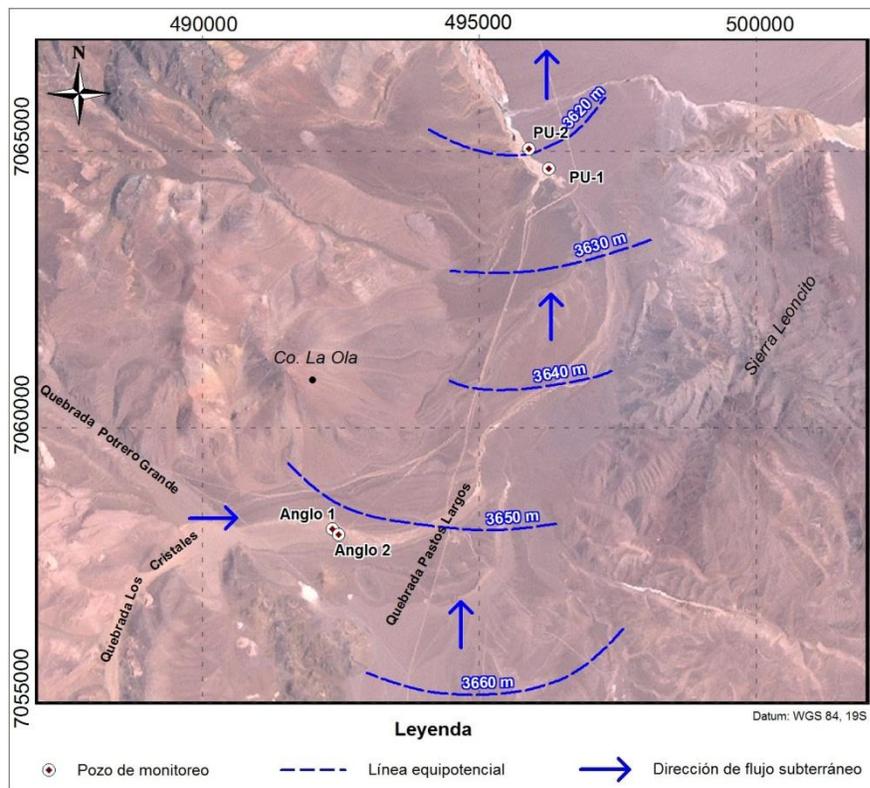


Figura 4.2. Área de estudio. Sentido del escurrimiento según las equipotenciales trazadas cada 10 m y los 4 pozos de observación.

El mismo efecto anterior se aprecia en la quebrada Potrero Grande, donde el gradiente topográfico provoca una disminución del nivel estático de oeste a este, hasta llegar al valle principal.

Por otro lado, el sentido del escurrimiento de acuerdo a las equipotenciales generadas es de oeste a este en la quebrada Potrero Grande, hasta llegar a la quebrada Pastos Largos, donde el sentido es de sur a norte.

La interpretación de los perfiles TEM indica que los niveles inferiores de la Unidad 1 se componen por sedimentos arcillosos de baja permeabilidad.

En base a la interpretación de los perfiles TEM y los niveles estáticos, se estima que los espesores saturados del acuífero varían entre 70 y 280 m aproximadamente.

#### 4.3. CONSTANTES ELÁSTICAS

Las constantes elásticas determinan el comportamiento de un acuífero en su medio y la reacción a los cambios que pueda sufrir, siendo de esta forma una medida indirecta del potencial productivo que pueda tener.

Estas constantes corresponden a los coeficientes de transmisibilidad (T) y almacenamiento (S). El coeficiente de transmisibilidad tiene unidades de  $m^2/día$  y es una medida de la capacidad del acuífero para dejar pasar agua subterránea en una unidad de tiempo a través de su espesor (b).

De esta forma se relaciona directamente con la permeabilidad (k) de los estratos que albergan al acuífero mediante la fórmula  $T=k*b$ . Otra manera de entender la transmisibilidad es la facilidad con que el agua puede ser extraída del acuífero.

Por otro lado, el coeficiente de almacenamiento hace referencia a la capacidad de almacenar y liberar agua del acuífero a través de la porosidad de los estratos. Por lo tanto el volumen de agua capaz de almacenar dependerá directamente de la porosidad.

Sin embargo, no toda el agua almacenada en los poros puede ser extraída o drenada mediante las fuerzas de gravedad, debido a la acción capilar. En el caso de acuíferos libres se utiliza el término porosidad efectiva o coeficiente de rendimiento específico y se refiere al volumen de agua que puede ser extraído o drenado naturalmente mediante fuerzas gravitacionales. Esto se debe a que en los acuíferos libres, los cambios del volumen de agua almacenado corresponden efectivamente a la extracción o drenaje de agua en los poros.

Mediante el programa Acuifer Test 2.57 se interpretaron los datos obtenidos en pruebas de bombeo con un caudal constante de 60 l/s, realizadas en el año 2012 por Laguna Resources (CPH, 2012), en el pozo Anglo-1, usando el pozo Anglo-2 como pozo de observación (Anexo B).

Ésta prueba de bombeo presenta anomalías que se notan en los métodos de interpretación. Se han utilizado dos métodos: el de Neuman y el de Cooper – Jacob (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 - Resumen de datos de la prueba de bombeo y transmisibilidades resultantes de las pruebas de bombeo (CPH, 2012).

Pozo	Caudal de bombeo (l/s)	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del nivel estático (m)	Depresión máxima (m)	Método	Transmisibilidad (m <sup>2</sup> /d)
Anglo - 1	60	100	16,53	23,27	Neuman	116
					Cooper - Jacob	2.270

Como se observa en la Tabla 4.3, existe en los resultados de los distintos métodos fuertes discrepancias, razón por la cual, considerando el tipo de depósito, su granulometría, su espesor y el espesor saturado del acuífero, se estima que el valor de la transmisibilidad más cercano a la realidad, se aproxima al resultado entregado por el método de Cooper – Jacob, es decir, se encuentra en el orden de 2.270 (m<sup>2</sup>/d).

Es más, este valor es coherente con el resultado de la prueba, vale decir, con un caudal de bombeo de 60 l/s y una depresión del nivel del agua del orden de 23 m. Si el acuífero tuviese transmisibilidades menores, los caudales a extraer habrían sido necesariamente menores.

Por otro lado, de acuerdo a las pruebas de bombeo variables y constantes, los gastos específicos varían entre 2,2 y 4,7 l/s/m (Tabla 4.4), valores que son indicadores de una buena permeabilidad del acuífero, y por lo tanto, de una buena a alta transmisibilidad, lo que es coherente con el valor entregado por Cooper – Jacob.

Tabla 4.4. Gastos específicos de pruebas de bombeo (CPH, 2012).

Pozo	Tipo de prueba	Caudal de bombeo (l/s)	Gasto específico (l/s/m)
Anglo - 1	Variable	25	4,699
	Variable	35	4,113
	Variable	50	3,001
	Constante	60	2,605
	Variable	68	2,252

Los coeficientes de almacenamientos obtenidos mediante los métodos anteriores resultan demasiado bajos para el tipo de acuífero, por lo tanto, atendiendo al carácter freático del acuífero, se adoptaron valores de almacenamiento entre 2 y 12% (CPH, 2012).

Es más, el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (DGA, 2008), sugiere valores de almacenamiento de hasta un 20% para acuíferos freáticos. Por lo tanto, los valores adoptados en este estudio son relativamente conservadores.

De acuerdo a los antecedentes anteriores, los valores de las constantes elásticas adoptados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4.5 - Constantes elásticas adoptadas para el acuífero albergado en la Unidad 1.

Unidad	Transmisibilidad (m <sup>2</sup> /d)	Conductividad (m/d)	Coefficiente de almacenamiento
Unidad 1	2.270	8 - 32	0,02 – 0,12

#### 4.4. DINÁMICA DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Los niveles estáticos mencionados anteriormente indican que el agua subterránea en el valle principal fluye de sur a norte, recibiendo aportes provenientes de la quebrada Potrero Grande, al oeste del cerro Calderón, donde el flujo es de oeste a este al llegar al valle principal.

Se identificaron 4 subcuencas aledañas de las cuales el acuífero modelado (P-1 en la Figura 4.3) recibe aportes laterales. Estas fueron delimitadas usando las curvas de nivel generadas a partir de un área mayor de una imagen ASTER GDEM (ver Capítulo 5.2.3) y fueron denominadas A-1, A-2, A-3 y A-4 (Figura 4.3). Para estimar la recarga directa, se simuló una subcuenca con la superficie del acuífero (P-1).

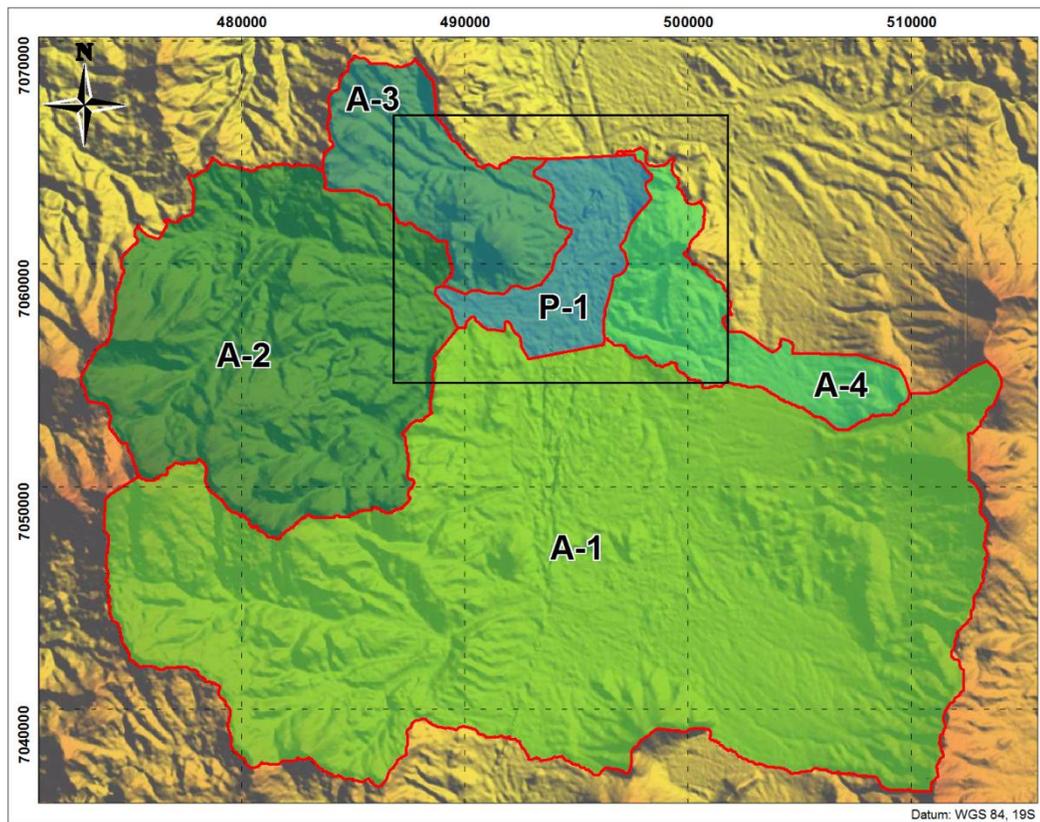


Figura 4.3. Las 4 subcuencas coloreadas con diferentes tonos y el área de estudio en rectángulo negro. La zona P-1 corresponde al acuífero modelado.

Para estimar las recargas generadas por estas subcuencas y por la precipitación directa se utilizó el modelo hidrológico nivopluvial. La tabla siguiente resume la información necesaria para el modelo y los resultados obtenidos, mientras que el detalle se presenta en el Anexo C.

Tabla 4.6 - Información de las subcuencas y recargas obtenidas.

Subcuenca	Banda	Área banda (km <sup>2</sup> )	Área total (km <sup>2</sup> )	Cota (m)		Cota media (m)	Recarga (l/s)
				Desde	Hasta		
A-1	B1	25,76	566,6	3.650	3.700	3.675	221
	B2	280,7		3.700	4.000	3.850	
	B3	129		4.000	4.300	4.150	
	B4	131,2		4.300	5.000	4.650	
A-2	B1	47,54	197,2	3.650	3.800	3.725	86
	B2	74,37		3.800	4.050	3.925	
	B3	36,31		4.050	4.300	4.175	
	B4	39,01		4.300	4.800	4.550	
A-3	B1	12,58	60,94	3.550	3.700	3.625	25
	B2	24,79		3.700	3.850	3.775	
	B3	13,24		3.850	4.000	3.925	
	B4	10,33		4.000	4.250	4.125	
A-4	B1	20,16	55,14	3.700	3.850	3.775	25
	B2	21,33		3.850	4.000	3.925	
	B3	9,558		4.000	4.300	4.150	
	B4	4,096		4.300	4.500	4.400	
<b>Recarga lateral total</b>							<b>357</b>
P-1	B1	0,6505	37,87	3.600	3.700	3.650	13,53
	B2	37,22		3.700	3.775	3.737,5	
<b>Recarga directa total</b>							<b>13,53</b>
<b>Recarga total</b>							<b>370,53</b>

#### 4.4.1. Mecanismos de recarga

**Recarga lateral:** como se mencionó anteriormente, la recarga lateral corresponde a los aportes generados por las subcuencas afluentes al acuífero. Corresponden a los valores de escorrentía subterránea calculados mediante el modelo nivopluvial. Estas recargas se expresan en la forma de un caudal subterráneo, que asciende a un total de 357 l/s, del cual la subcuenca A-1 genera los mayores aportes, con 221 l/s.

**Recarga directa:** corresponde a la recarga generada por las precipitaciones que caen directamente sobre la superficie del acuífero.

Para calcularla, se determinó los valores de la percolación que generan las precipitaciones en el área P-1, mediante el modelo nivopluvial, dando un resultado de 12 mm/año aproximadamente y un caudal de 13,53 l/s.

#### 4.4.2. Mecanismos de descarga

**Caudal de salida:** corresponde al caudal total que sale por el extremo norte del modelo. Fue calculado mediante el modelo en Modflow y está representado por la condición de borde de alturas de carga constante (ver Capítulo 5.2.2). Esta descarga asciende un valor de 370,5 l/s.

#### 4.4.3. Balance hídrico

Con los antecedentes mencionados anteriormente, se realizó el balance hídrico que se observa en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 - Balance hídrico del acuífero.

Recargas	(l/s)	Descargas	(l/s)
Recarga lateral	357	Caudal saliente	370,5
Recarga directa	13,53		
Total recargas	370,53	Total descargas	370,5
Error de cierre (recargas - descargas) = 0,03 (l/s)			

Considerando lo expuesto anteriormente, se observa que el error de cierre o desbalance hídrico corresponde a un 0,008% de la recarga total, que es un valor satisfactorio e indica que el sistema está bien balanceado.

## 5. MODELO HIDROGEOLÓGICO EN MODFLOW

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Visual MODFLOW 2011 es un programa computacional desarrollado y comercializado por Schlumberger Water Services. Este programa sirve como una interfaz gráfica para el código matemático MODFLOW.

Esto permite ingresar con mayor facilidad las dimensiones del modelo, sus unidades, propiedades, condiciones de bordes y realizar simulaciones para luego ser visualizadas en 2 o 3 dimensiones, facilitando con ello su interpretación y permitiendo a la vez realizar modelos más realistas.

El código MODFLOW se basa en el método de diferencias finitas para resolver problemas de flujo de aguas subterráneas en 3 dimensiones, simulando el comportamiento del sistema mediante matrices de celdas discretas, asumiendo que las propiedades dentro de cada celda son uniformes.

Actualmente es el software más usado en Chile y en el extranjero para modelar el comportamiento de aguas subterráneas.

### 5.2. ANTECEDENTES UTILIZADOS

#### 5.2.1. Coberturas y discretización

El área modelada corresponde al área de estudio, es decir, se extiende entre las coordenadas 7.055.000N a 7.067.000N y 487.000E a 502.000E, abarcando un área de 180 km<sup>2</sup>. Está constituido por 60 filas y 75 columnas, formando 4.500 celdas cuadradas de 200 m por lado (Figura 5.1).



Figura 5.1. Mapa del área modelada generada en Visual Modflow 2011. Se observan las celdas activas en color blanco que simulan el acuífero y las inactivas en color verde.

### 5.2.2. Condiciones de borde y propiedades del modelo

Se impusieron 3 tipos de condiciones de borde para el modelo.

La primera corresponde a las celdas inactivas, las cuales representan la Unidad hidrogeológica 2, considerada impermeable, es decir, que no forman parte del acuífero al no tener un flujo de agua subterráneo.

Estas rocas impermeables constituyen los límites laterales del acuífero freático modelado.

La segunda, correspondiente al límite vertical, se identificó mediante la interpretación de los perfiles TEM (Geodatos, 2012). Sin embargo, estas interpretaciones son sólo referenciales, ya que la cantidad de perfiles estratigráficos en la zona de estudio es reducida de tal manera que no es posible establecer una adecuada correlación entre las resistividades y las litologías presentes en profundidad.

Debido a esto, se realizaron 2 modelos extremos en Modflow, donde solamente varían los límites verticales y las conductividades. En el Modelo 1, el límite vertical, que corresponde al basamento rocoso, se simuló con espesores de hasta 300 m.

En el Modelo 2, se consideró que el acuífero se encuentra albergado sobre el techo de la Unidad hidrogeológica 1, conformado por gravas, gravillas y arenas y posee espesores de hasta 90 m. Lo anterior se basa en el hecho que, de acuerdo a la interpretación de los perfiles TEM, los niveles inferiores de esta unidad están compuestos por sedimentos arcillosos, por lo tanto, de baja permeabilidad.

De modo ilustrativo, en la Figura 5.2 se aprecia la diferencia entre ambos límites verticales y corresponde a una sección de la interpretación del perfil TEM 1.

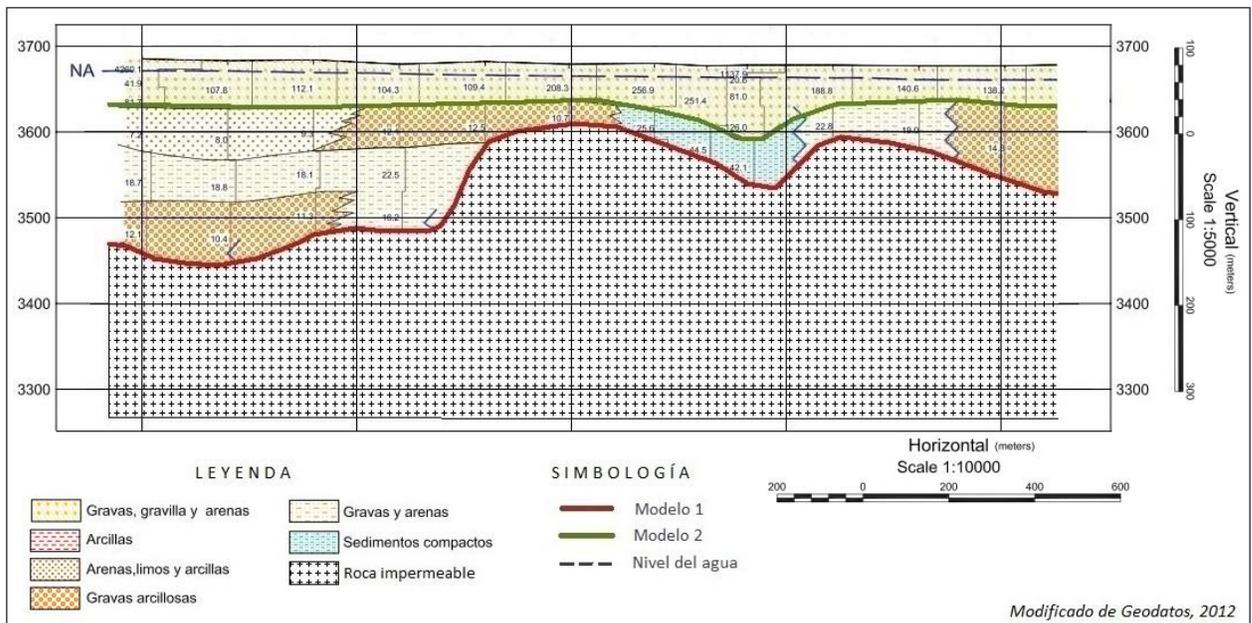


Figura 5.2. Diferencia ilustrativa de espesores y límites verticales del Modelo 1 (rojo) y del Modelo 2 (verde).

La tercera, es una condición de borde de carga constante o “constant heads”, la que fue asignada a las celdas activas localizadas en el límite norte del modelo (Figura 5.3).

Tal como lo indica su nombre, el rol que cumple esta condición de borde es el de mantener el una cota piezométrica constante en las celdas seleccionadas, independiente de las variaciones que pueda experimentar el acuífero en el resto de la zona modelada, obligando de esta forma que el caudal de salida se mantenga relativamente constante.

Los valores de las cotas de los niveles del agua en cada una de estas celdas fueron asignados de acuerdo al gradiente hidráulico del sector.

Éste fue determinado en estudios anteriores (CPH, 2004) y a los datos de niveles estáticos medidos en los pozos PU-1 y PU-2, los cuales indican profundidades poco variables y muy someras por encontrarse en un sector donde más al norte se inician los afloramientos del agua subterránea.

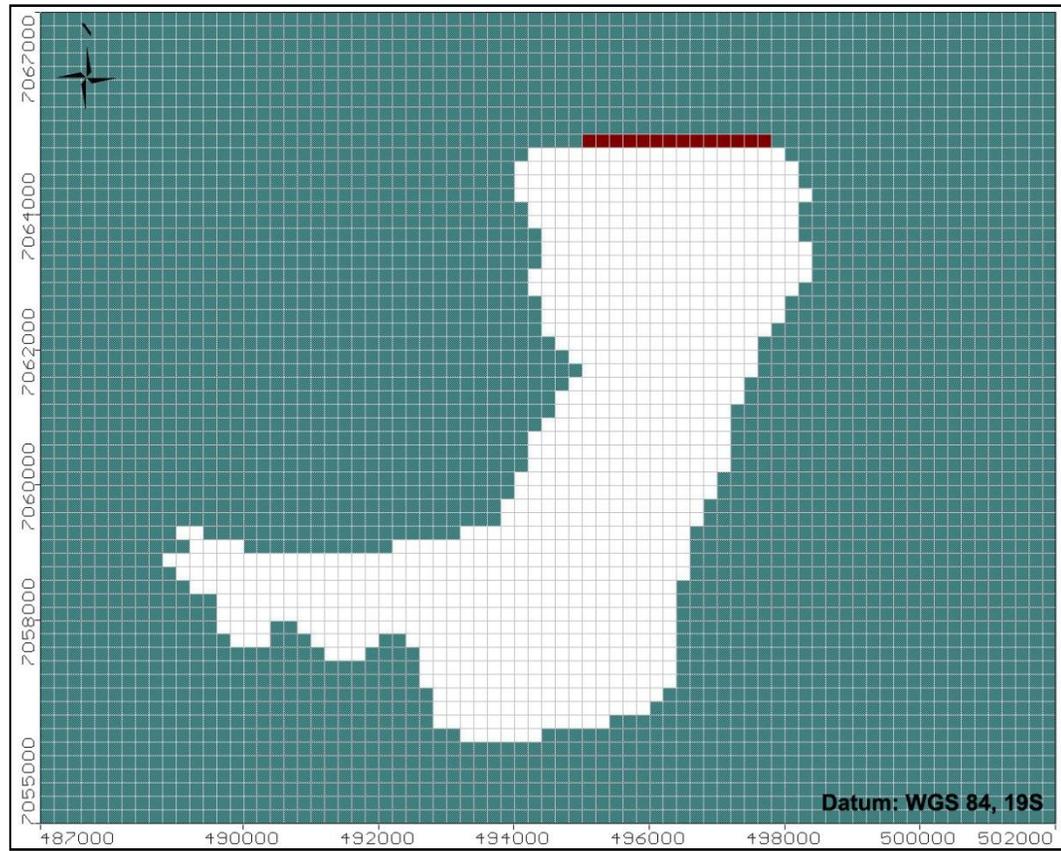


Figura 5.3. Se observan 2 condiciones de borde. Las celdas inactivas de color verde rodeando limitando lateralmente al acuífero y las cargas constantes de color pardo al norte del acuífero.

Por otro lado, los niveles iniciales del agua o “Initial heads” fueron ingresados conforme a las equipotenciales obtenidas en el Capítulo 4.2.

### 5.2.3. Topografía superficial y layers

La topografía de la superficie fue extraída a partir de una imagen ASTER GDEM gratuita que abarca la totalidad de la zona de estudio con una resolución de 30 m por pixel generada por la NASA referenciado con el sistema de coordenadas WGS84.

La información topográfica obtenida tiene un error de 20 m vertical y 30 m horizontal máximo con un 95% de seguridad.

A partir de la imagen ASTER GDEM se generaron curvas de nivel cada 5 metros con el programa Global Mapper 13, las cuales posteriormente fueron interpoladas a una grilla de puntos que simulan la topografía del área.

El modelo se definió considerando la existencia de una capa o layer, es decir, solamente un estrato permeable que sobreyace a la roca basal impermeable. Este layer simula un acuífero freático que se extiende sobre el área modelada y que está compuesto principalmente por depósitos aluviales.

Cabe destacar que al considerarse la existencia de sólo un layer, la conductividad vertical deja de tener relevancia al no tener otros con los cuales interactuar en el eje vertical.

### 5.2.4. Recarga lateral

La recarga lateral consiste en los aportes subterráneos de las subcuencas afluentes al área del acuífero modelado y corresponde a los valores calculados mediante el modelo nivopluvial.

Estos aportes pueden provenir de las zonas saturadas y/o no saturadas de cada subcuenca, generando un flujo que ingresa al área del modelo a través de los bordes del acuífero.

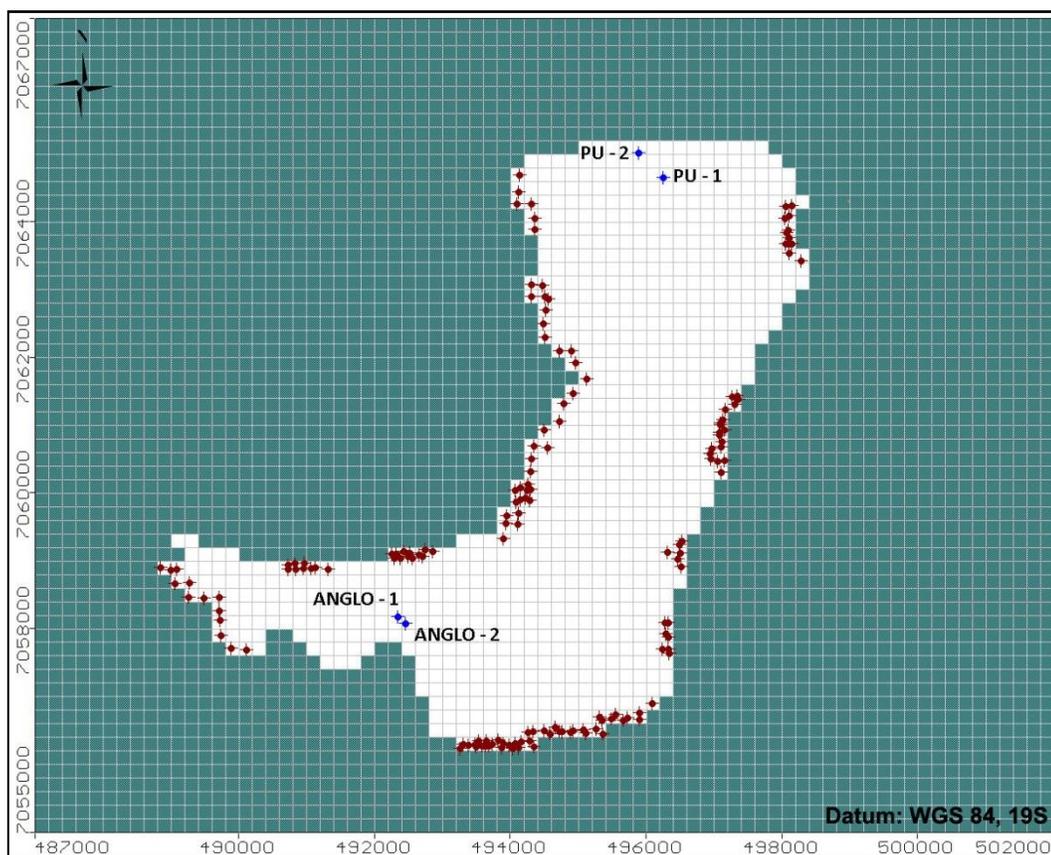


Figura 5.4. En rojo, los pozos de inyección que simulan las recargas laterales provenientes de las subcuencas distribuidos en el modelo. En azul, los 4 pozos de observación: Anglo-1, Anglo-2, PU-1 y PU-2.

En el modelo hidrogeológico, estas recargas fueron representadas mediante pozos de inyección o pumping wells distribuidos en los bordes del modelo que abarca cada subcuenca (Figura 5.4).

La suma del aporte de cada pozo de inyección iguala la recarga total de cada subcuenca. A partir de este modelo se estimaron las recargas promedio anuales que se resumen en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 - Resumen de la recarga estimada de cada subcuenca.

Subcuenca	Recarga (l/s)	Nº de pozos usados	Recarga por pozo (l/s)
A-1	221	43	5,1395
A-2	86	13	6,6154
A-3	25	61	0,4098
A-4	25	44	0,5682
<b>Total</b>		<b>357 (l/s)</b>	

La recarga lateral total proviene de un superficie de 879,88 km<sup>2</sup> y genera un aporte de 357 l/s, distribuido entre todos los pozos de inyección.

### 5.2.5. Recarga directa por precipitaciones

Esta recarga se genera por la infiltración que se produce debido a las precipitaciones que caen directamente sobre el área modelada. Sus montos corresponden a las percolaciones, determinadas mediante el modelo nivopluvial.

Su incorporación al modelo hidrogeológico se realiza a través de la función “recharge”, expresándola en mm/año (Figura 5.5).

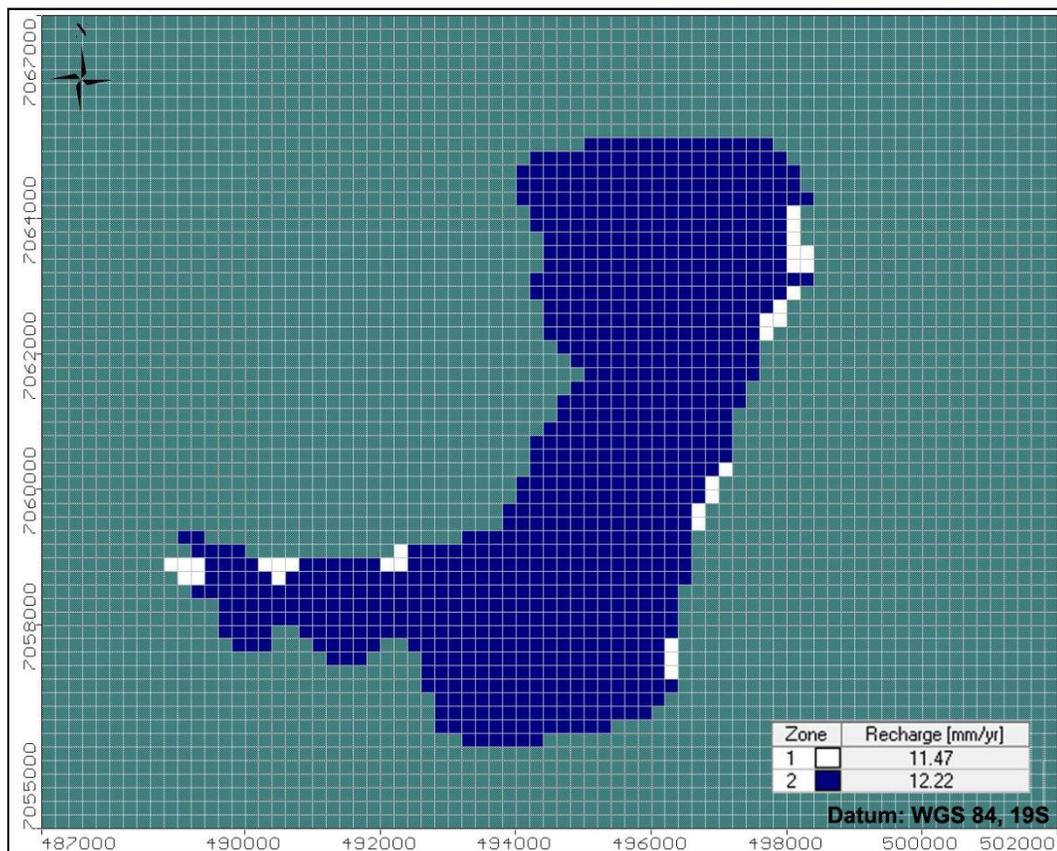


Figura 5.5. Precipitaciones directas anuales (Recharge) en la zona modelada.

## 5.2.6. Conductividades

Las conductividades asignadas, para lograr la calibración de los modelos, que se muestran en la Figura 5.6, son mayores a las estimadas inicialmente en el Capítulo 4.3. Sin embargo, se encuentran dentro del rango que permitiría la transmisibilidad real del acuífero.

La distribución de las conductividades es idéntica en los modelos 1 y 2, sin embargo, como es de esperar, varían sus valores. Dentro de cada modelo, las conductividades varían dentro de un rango relativamente pequeño.

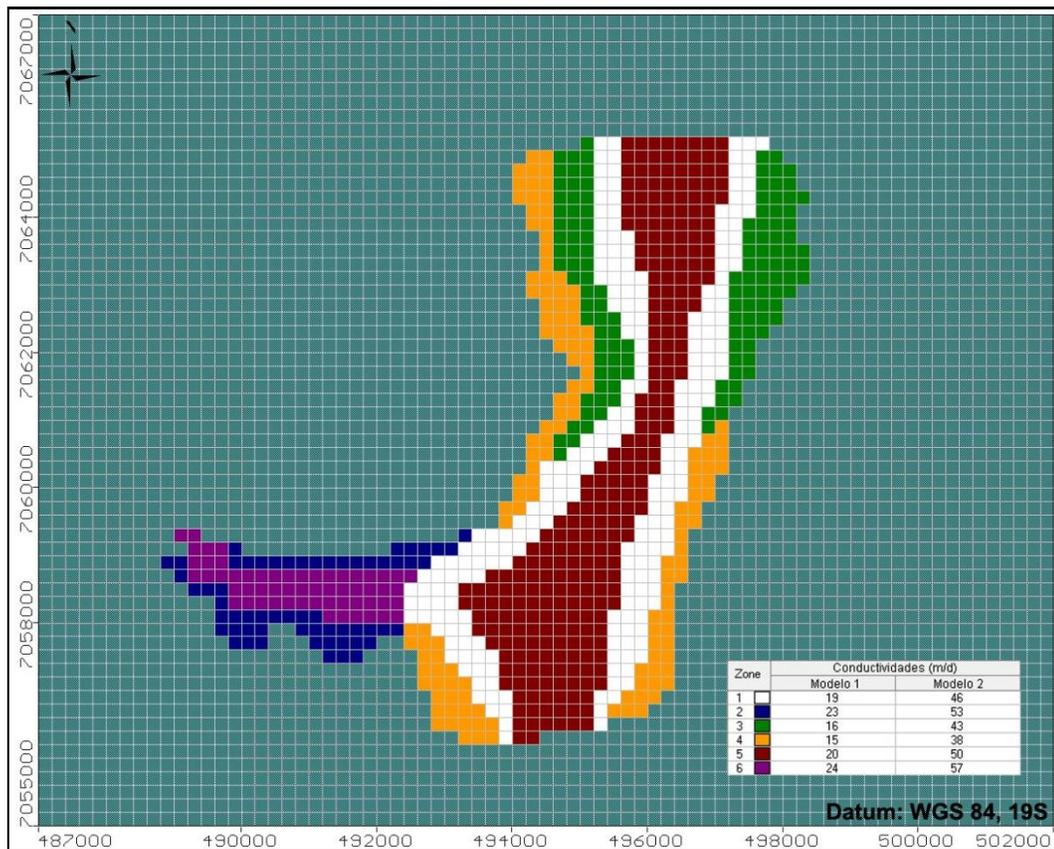


Figura 5.6. Distribución y valores finales de las conductividades adoptadas para cada modelo.

Se observa también que las conductividades son levemente menores hacia los límites laterales de la zona modelada. Ello puede atribuirse al hecho que el material fino proveniente de las laderas de los cerros adyacentes suele depositarse precisamente en estos sectores.

Este material fino disminuye las conductividades en los sectores en que termina depositándose.

### 5.2.7. Almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento o “storage” resulta relevante sólo en la simulación en régimen transiente. En régimen permanente no hay una variación del volumen almacenado, por lo tanto, el coeficiente de almacenamiento no es considerado. Sus valores y distribución son idénticos en ambos modelos (Figura 5.7).

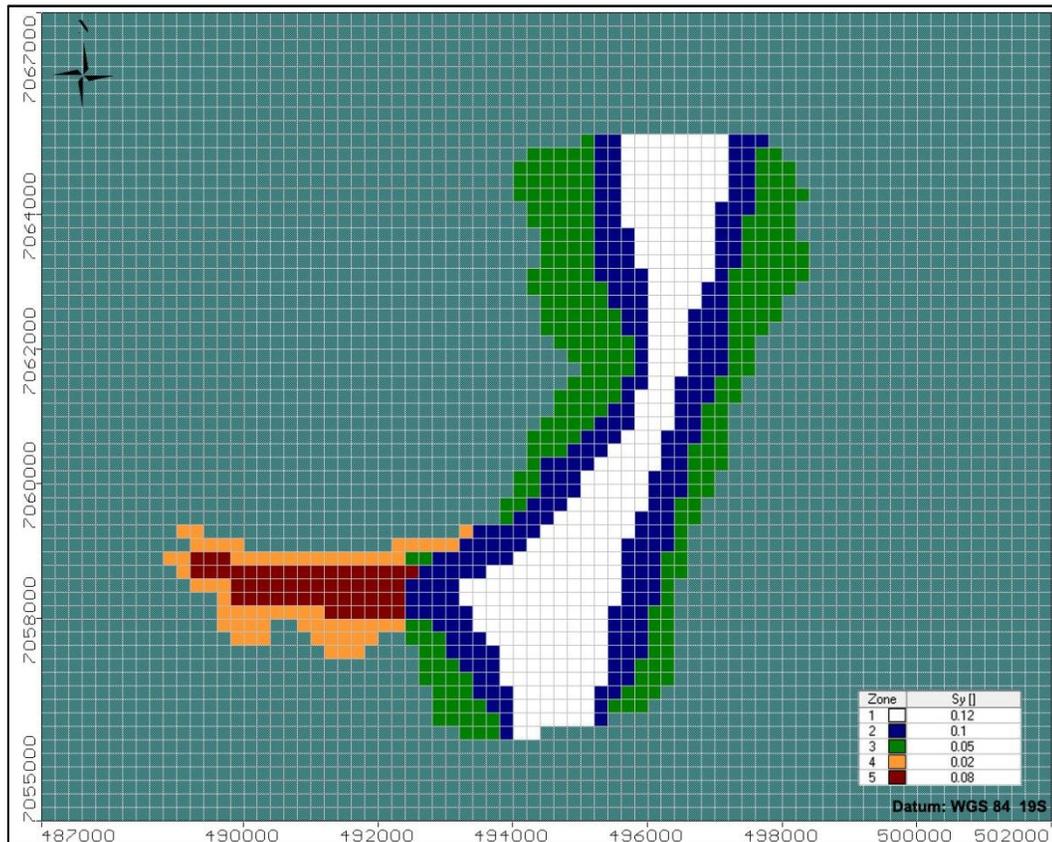


Figura 5.7. Distribución y valores del coeficiente de almacenamiento (Sy).

### 5.3. CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE

Una vez ingresados los parámetros requeridos por el programa, se procedió a calibrar los modelos en régimen permanente, es decir, sin considerar extracciones de los pozos.

El objetivo de esto es reproducir las condiciones de la dinámica del flujo subterráneo del agua mediante la comparación de las curvas equipotenciales generadas por el programa con los niveles estáticos reales medidos en los pozos.

Se realizó una calibración para cada modelo por separado, utilizando 4 pozos de control a saber: Anglo-1, Anglo-2, PU-1 y PU-2 (Figura 5.4). El modelo se encuentra calibrado

cuando los valores del nivel del agua calculados por el programa en los pozos de control se encuentran cercanos a los valores medidos en terreno.

Para la calibración en régimen permanente y todas las simulaciones realizadas, se utilizó el solucionador o solver SIP (Strongly Implicit Procedure Solver), que es un método para resolver un gran sistema de ecuaciones lineares simultáneas mediante iteraciones. En este caso se utilizaron los siguientes parámetros:

Iteraciones máximas (MXITER)	20.000
Variabes de iteración (NPARM)	10
Variable de aceleración (ACCL)	0,7
Criterio de cambio de HEAD (HCLOSE)	0,0000002
Intervalo de impresión (IPRSIP)	10
Iteración variable de SEED (WSEED)	0,01

Para determinar que cada modelo está bien calibrado se verifica que el parámetro denominado Normalized RMS del layer sea menor a un 4%, mientras que el coeficiente de correlación calculado por el programa debe ser cercano a la unidad. Se toma como referencia un 4%, ya que a partir de este valor del Normalized RMS, el coeficiente de correlación se aproxima a la unidad.

Se observa en la Figura 5.8 que se cumplen ambas condiciones para ambos modelos, con un Normalized RMS menor a un 2% y un coeficiente de correlación igual a 1, por lo tanto, se determina que ambos modelos se encuentran satisfactoriamente calibrados. La Tabla 5.2 muestra los valores del nivel del agua calculados y observados para cada modelo.

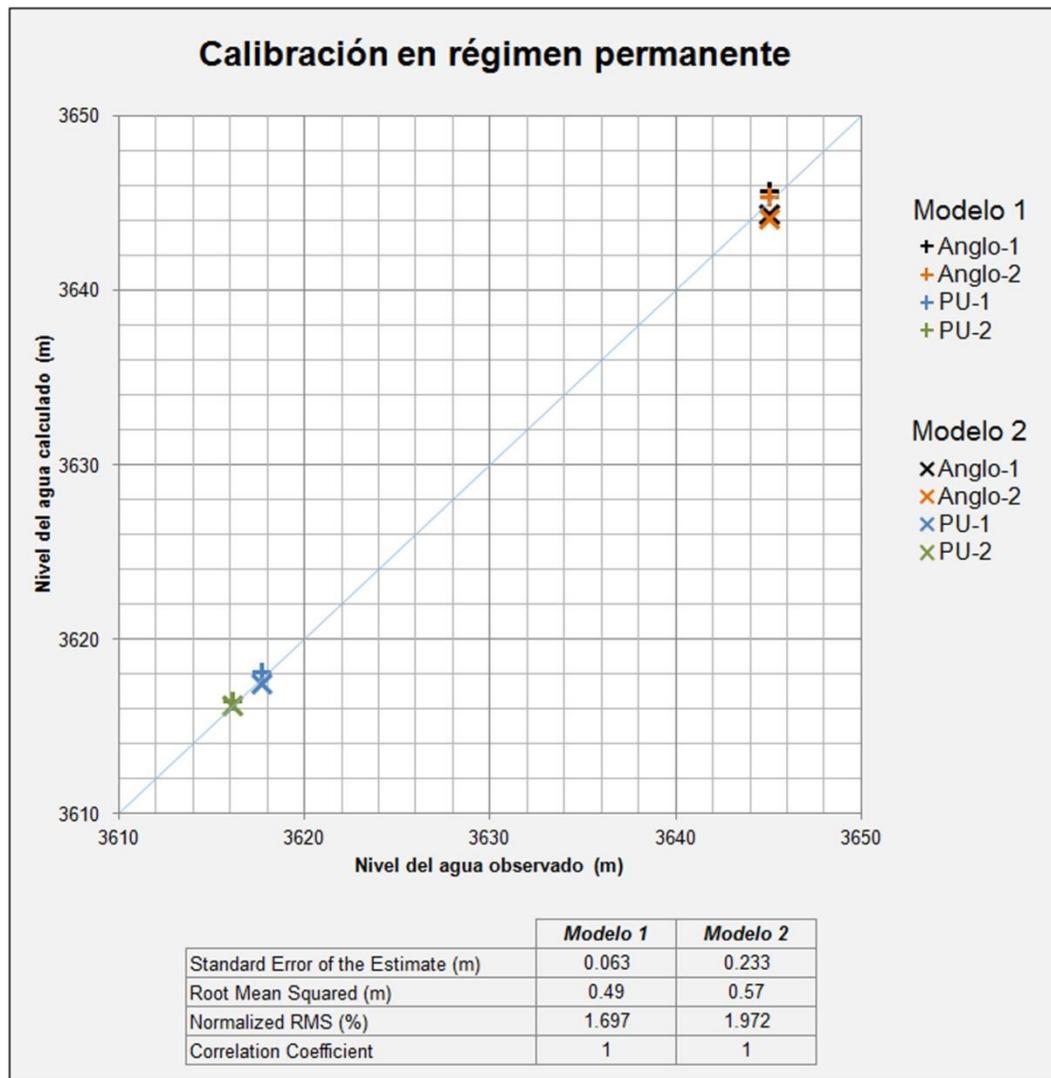


Figura 5.8. Calibración en régimen permanente de ambos modelos.

Cabe mencionar que para obtener un modelo más representativo que entregue los resultados que muestra la Figura 5.8, las conductividades debieron ser ajustadas dentro del rango determinado anteriormente (Figura 5.6).

Por otro lado, los valores de carga constante o constant heads que se encuentran en el límite norte del modelo, tuvieron un rol importante para obtener una adecuada calibración, y por lo tanto, una mejor estimación del caudal subterráneo de salida a través de esa sección.

Tabla 5.2 - Niveles del agua observados y calculados en cada modelo.

Pozo	Nivel del agua (m)		
	Observado	Calculado	
		Modelo 1	Modelo 2
Anglo-1	3.645	3.645,65	3.644,31
Anglo-2	3.645	3.645,38	3.644,13
PU-1	3.617,65	3.618,15	3.617,45
PU-2	3.616,1	3.616,48	3.616,25

#### 5.4. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

A continuación se presentan los resultados de la calibración en régimen permanente para el Modelo 1 (Figura 5.9) y el Modelo 2 (Figura 5.10).

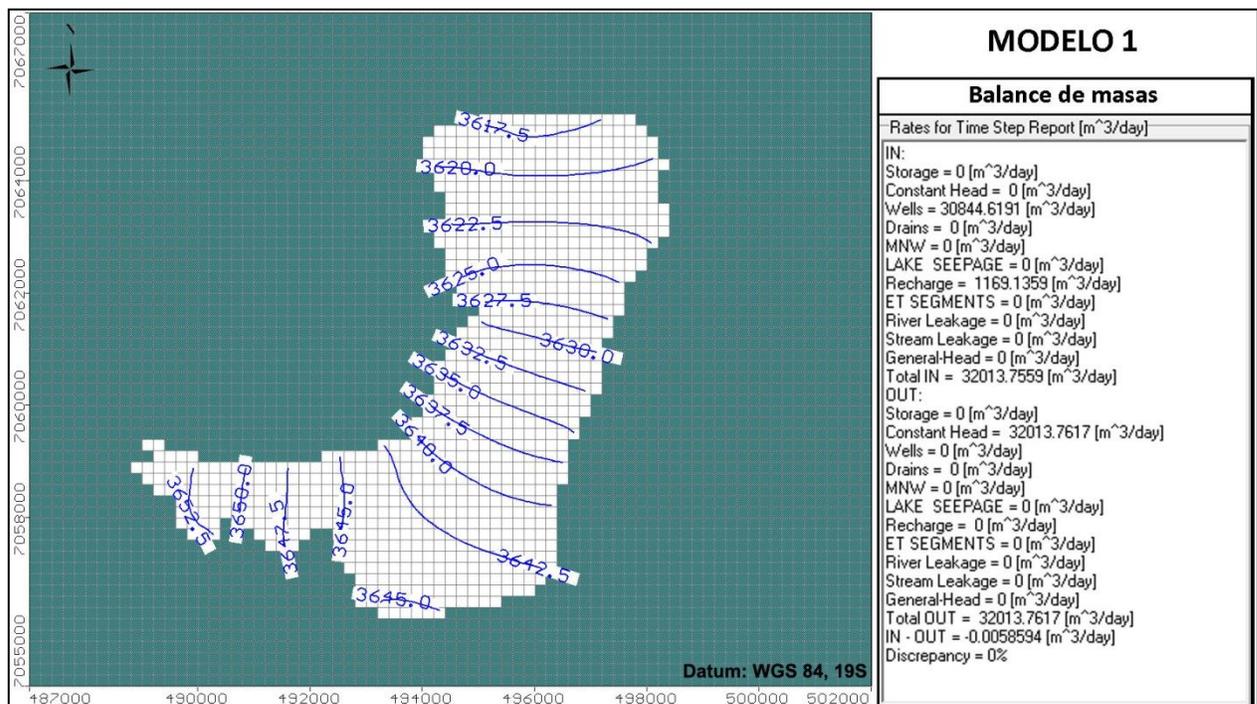


Figura 5.9. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la calibración del Modelo 1.

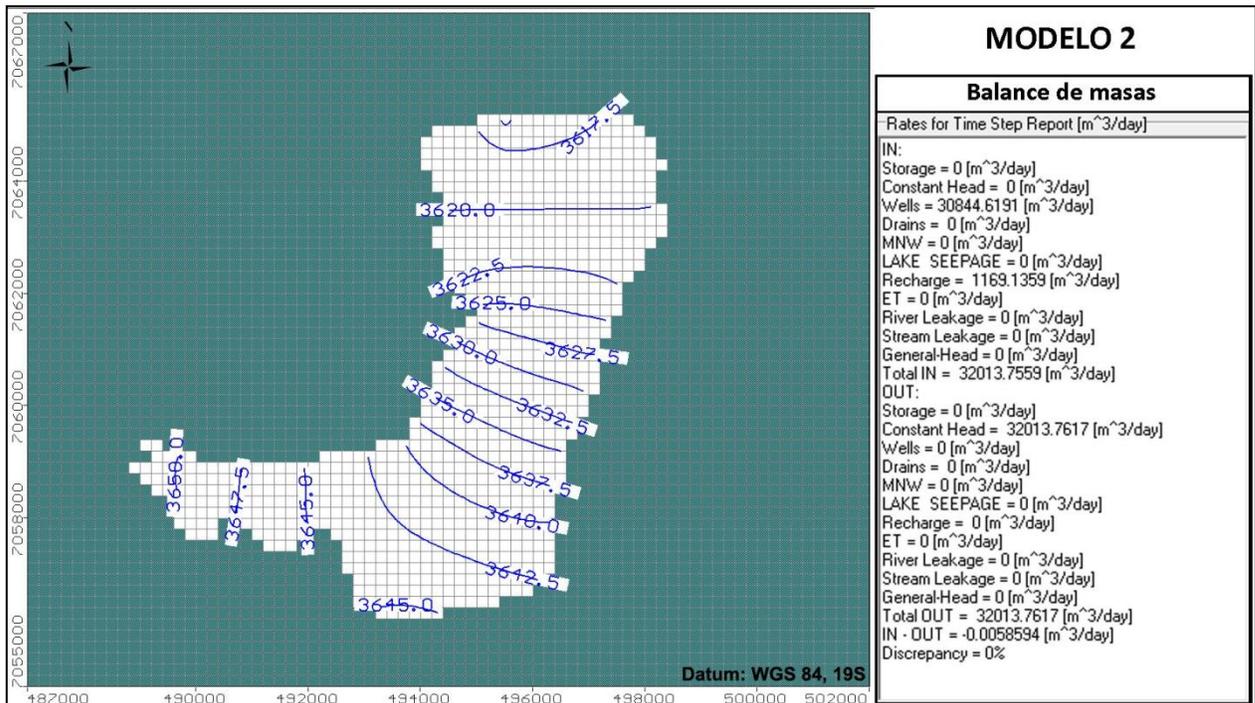


Figura 5.10. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la calibración del Modelo 2.

Se observa que la superficie equipotencial resultante en ambos modelos en estado de equilibrio, es menor a la estimada inicialmente en el Capítulo 4.2.

Esta diferencia es normal, ya que los niveles iniciales fueron estimados extrapolando, a todo el dominio del modelo, las cotas del agua detectadas mediante la interpretación de los perfiles TEM y las medidas en los pozos de observación.

Esta variación es similar para ambos modelos, con aproximadamente 7 m de diferencia en las zonas más someras ubicadas al sur y 2 m en el sector norte.

El balance de masas de cada modelo fue usado para cuantificar las variaciones de los caudales de entrada y salida en régimen de equilibrio.

En las Figuras 5.9 y 5.10 se muestra los caudales resultantes de la calibración en m<sup>3</sup>/día, donde Wells corresponde a los pozos de inyección que simulan la recarga de las subcuencas afluentes, Constant Head (OUT-IN) corresponde al caudal que sale en el extremo norte a través de las alturas de carga constante y Recharge corresponde a la recarga directa por precipitaciones.

El error de cierre diferencia entre la recarga (IN) y la descarga (OUT) del acuífero, es menor a 0,01% para ambos modelos. Estos valores son satisfactorios y verifican que ambos modelos se encuentran bien calibrados ya que, no sólo presentan un ajuste

adecuado entre niveles observados y calculados, sino que también en cuanto a sus balances de masa.

## 5.5. SIMULACIONES

### 5.5.1. Simulación en régimen permanente

Se presenta la respuesta del acuífero producto de las extracciones programadas en los pozos Anglo-1 y Anglo-1. El caudal de bombeo corresponde a 25 l/s en cada pozo, totalizando una descarga artificial de 50 l/s. Esta descarga se ingresa al modelo en forma de pozos de inyección con caudal negativo.

Las figuras siguientes muestran los resultados de las simulaciones para ambos modelos.

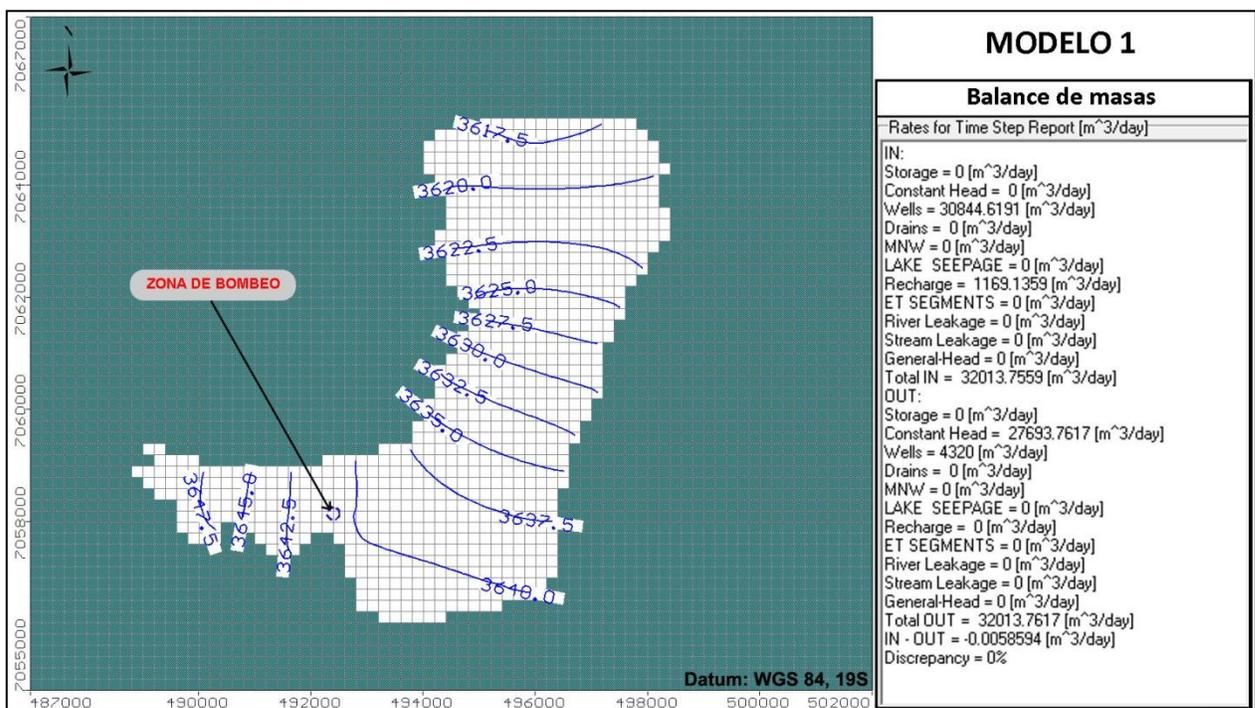


Figura 5.11. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la extracción simulada del Modelo 1.

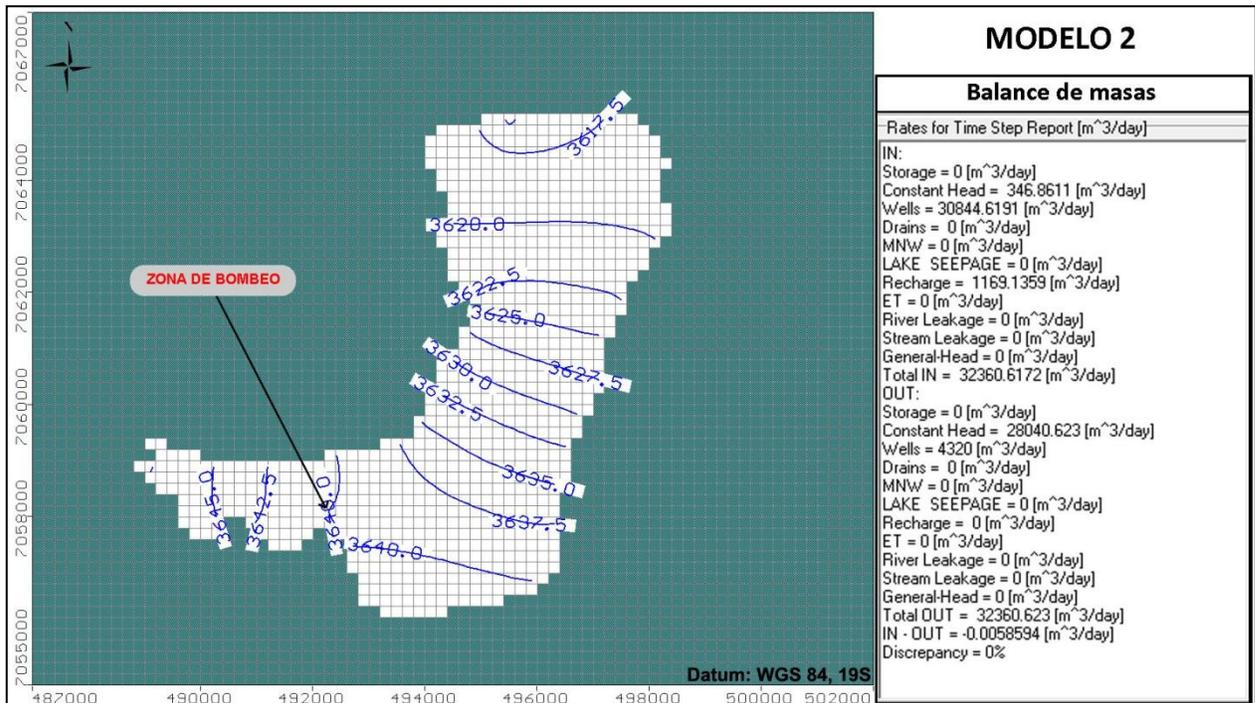


Figura 5.12. Equipotenciales cada 2,5 m y balance de masas resultantes de la extracción simulada del Modelo 2.

Naturalmente, al incluir una descarga al sistema, que corresponde a la extracción de los pozos, se provoca una profundización de los niveles, afectando de este modo, toda la zona modelada del acuífero.

El descenso del nivel del agua varía hasta 5,5 m aproximadamente, siendo la quebrada Potrero Grande la zona más afectada debido a que los pozos se encuentran dentro de ésta. Por otro lado, el descenso en el sector norte es menor a 1 m.

Entre los modelos 1 y 2 hay diferencias de hasta 1 m en la quebrada Potrero Grande y menores a 1 m en el resto de área modelada.

La pequeña variación que el acuífero experimenta en el sector norte indica que los niveles del agua se normalizan hacia el norte y que los efectos sobre el río La Ola, cuya cuenca genera uno de los principales aportes al salar de Pedernales, es mínima.

Como complemento de lo anterior, se incorpora la Figura 5.13, que muestra el descenso generado por la extracción. Para esto se interpoló las equipotenciales con y sin bombeo, para luego restarlas mediante la herramienta Vertical Mapper del software Mapinfo Professional 10.

Se observa que el radio de influencia que tiene la extracción es de aproximadamente 5 km.

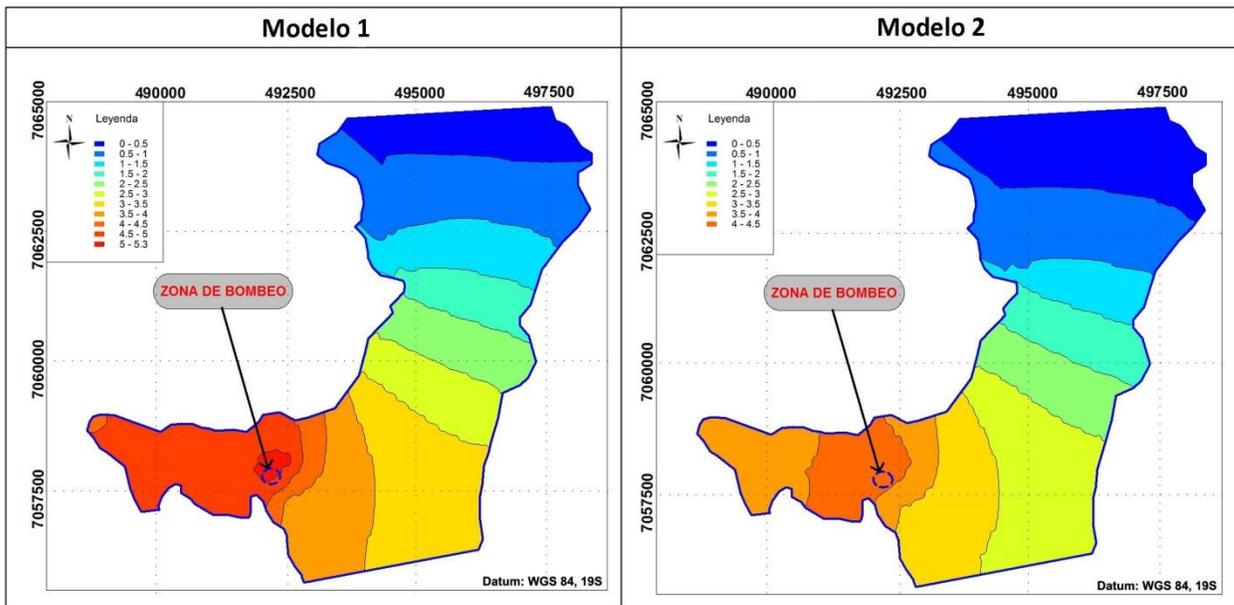


Figura 5.13. Descensos generados por la extracción de 50 l/s desde la quebrada Potrero Grande en régimen permanente.

Ambos modelos muestran un error de cierre que sigue siendo menor a 0,01%. Estos valores son satisfactorios e indican un buen balance en ambos modelos y escenarios.

Cabe mencionar que las simulaciones en régimen permanente dan resultados más conservadores que en régimen transiente, ya que en el primer caso se trata de una simulación en el largo plazo que muestra un equilibrio entre entradas y salidas, sin considerar el volumen de agua almacenado en el acuífero.

En el segundo caso, el tiempo es definido por el usuario y, durante la simulación, sí se considera la variación del volumen acuífero que participa en la ecuación de balance.

Por esta razón, el régimen transiente es utilizado en forma predictiva para determinar las fluctuaciones de la superficie saturada y, con ello, conocer los períodos de drenaje y de embalsamiento del acuífero.

### 5.5.2. Simulación en régimen transiente

El objetivo de esta simulación es predecir el comportamiento teórico provocado por la explotación del acuífero, incluyendo su período de recuperación una vez terminada la explotación.

Se consideró el período entre enero del año 1974 y diciembre del año 2000, es decir, un tiempo de 27 años (9.855 días) y 324 períodos mensuales, abarcando todo el

período de las estadísticas mensuales de recargas generadas mediante el modelo nivopluvial.

La simulación contempla un bombeo total continuo de 50 l/s desde los pozos Anglo-1 y Anglo-2, que se extiende por 15 años (5.475 días) a partir del primer año.

Para verificar los resultados, las Figura 5.14 y 5.15 muestran la discrepancia a lo largo del tiempo, que refleja el balance de masas y corresponde a las diferencias porcentuales entre los caudales de entrada y salida del sistema en cada período.

Se observa que en el caso con extracción estas diferencias varían entre 0,14 – 0,24% para el Modelo 1, mientras que para el Modelo 2 la variación se sitúa entre 0,15 – 0,25%. Estos valores indican que el sistema se encuentra bien balanceado en el tiempo.

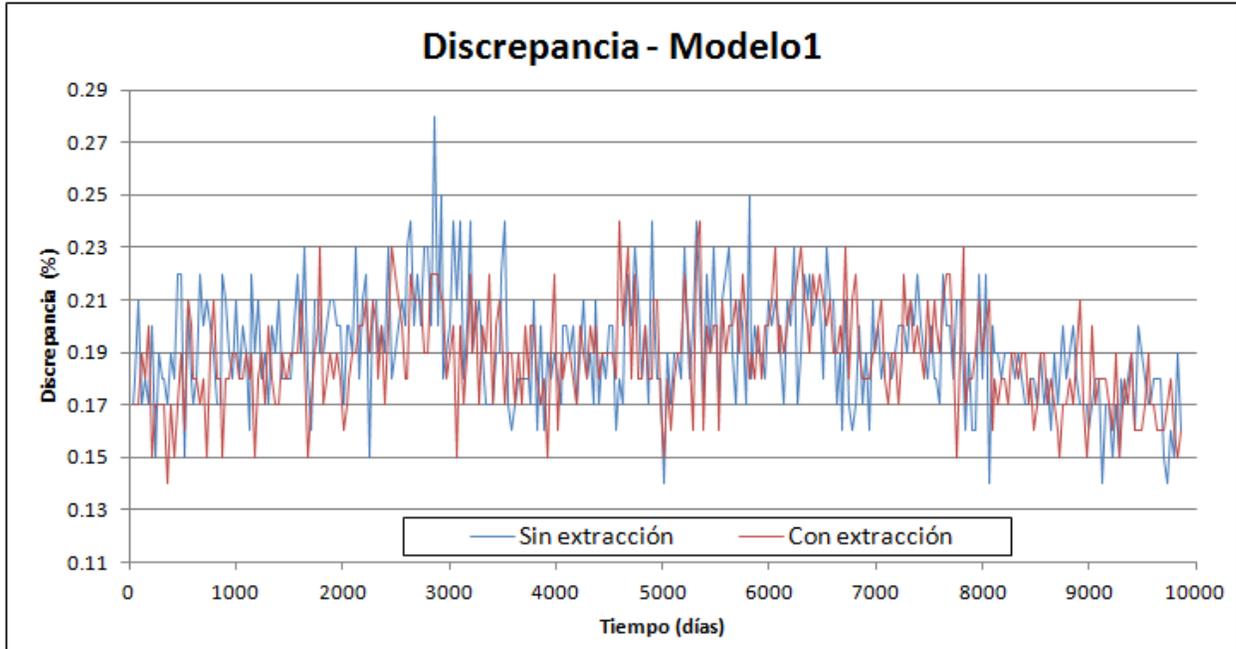


Figura 5.14. Discrepancia entre los caudales de entrada y salida en el escenario con extracción para el Modelo 1.

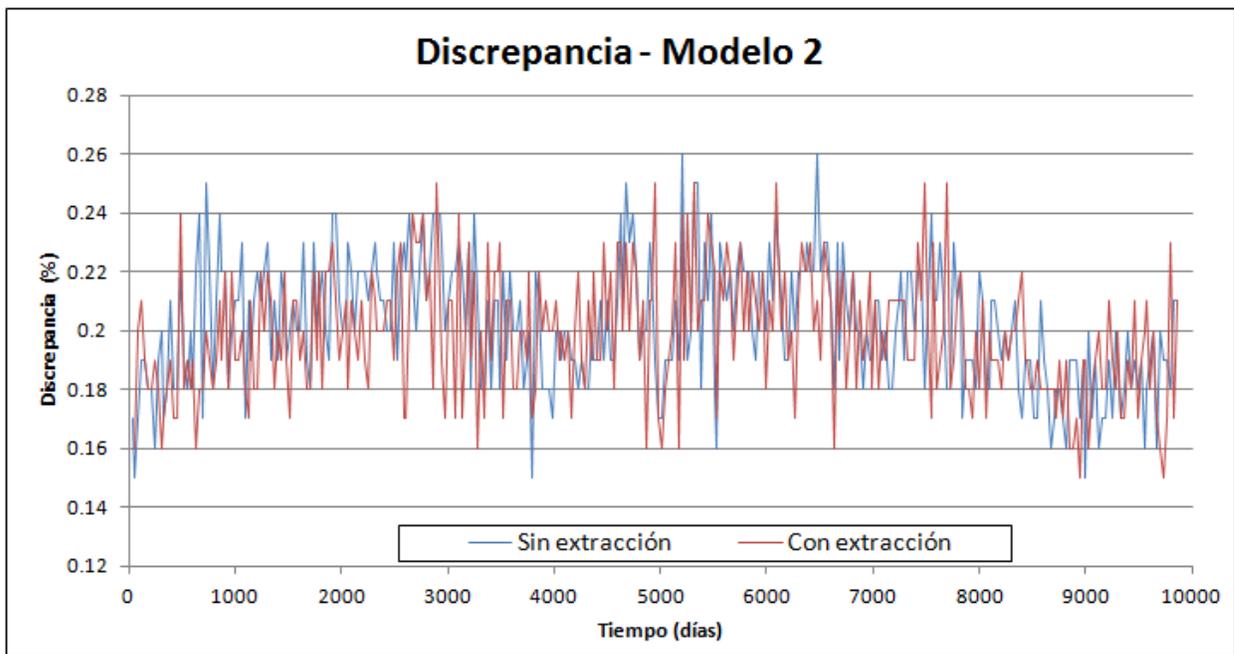


Figura 5.15. Discrepancia entre los caudales de entrada y salida en el escenario con extracción para el Modelo 2.

Las figuras siguientes muestran el descenso del nivel del agua producto de la explotación programada durante los años donde se generaron las menores, mayores y recargas intermedias durante el período de explotación.

Estos años corresponden a 1974, 1984 y 1986 respectivamente. Dado que los períodos son mensuales, las figuras muestran el descenso en el mes de septiembre de los años mencionados.

Se observa que la mayor diferencia entre ambos modelos ocurre en el sector de la quebrada Potrero Grande, en las inmediaciones de la zona de extracción. Sin embargo, esta diferencia no es mayor a 1 m en cada período.

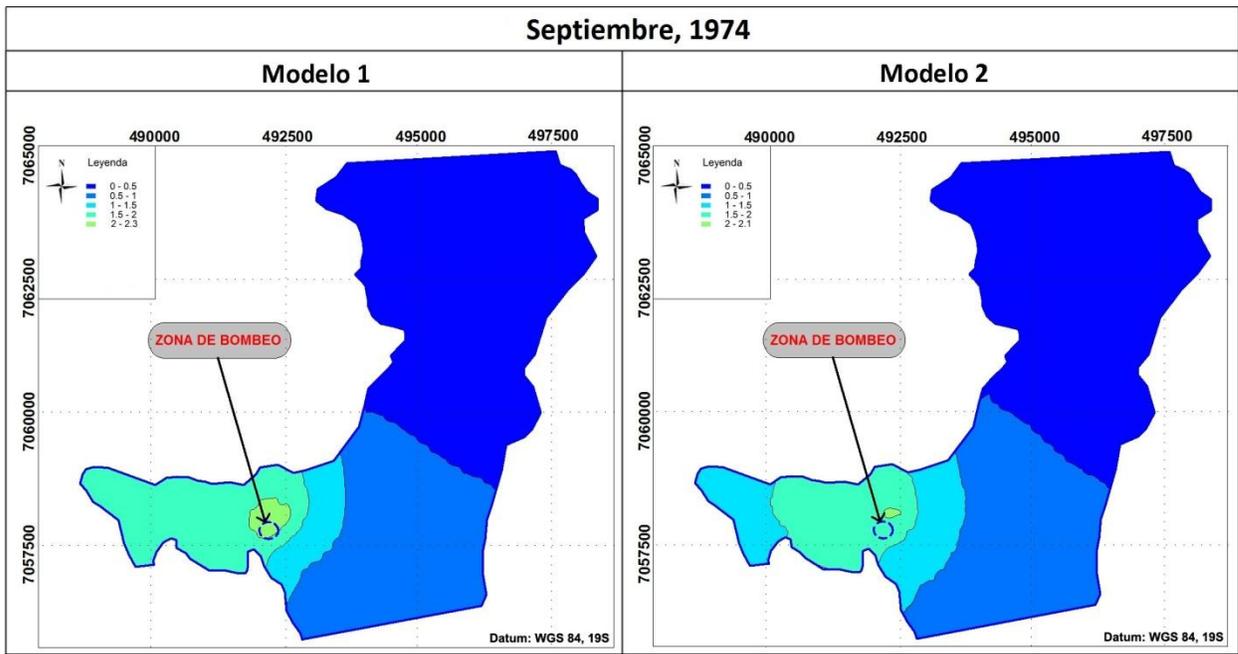


Figura 5.16. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1974, el año de menor recarga al sistema.

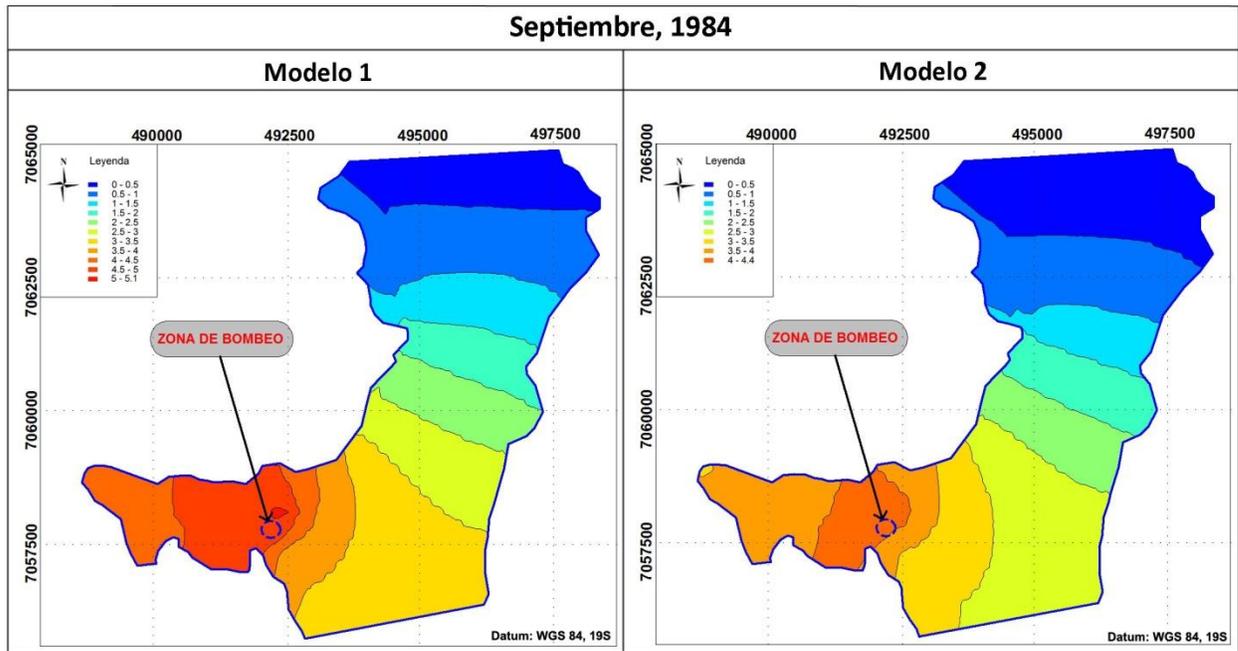


Figura 5.17. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1984, el año de mayor recarga al sistema.

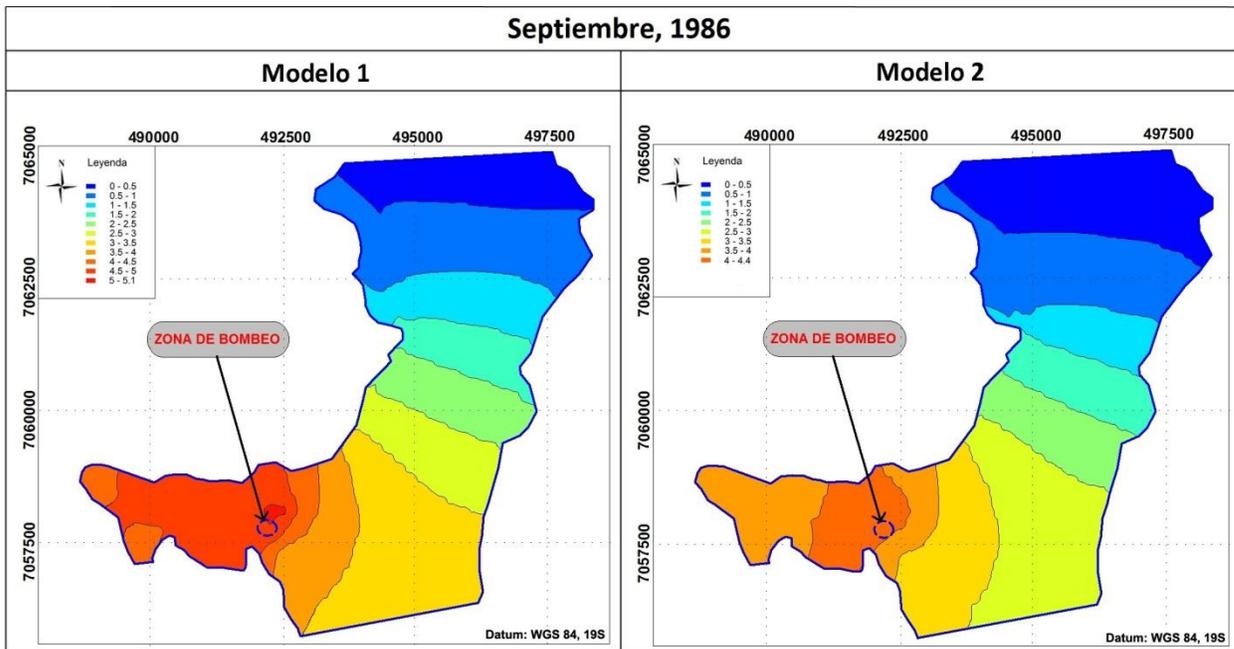


Figura 5.18. Descenso del nivel del agua generado en septiembre de 1986, un año de recarga intermedia al sistema.

El análisis de la variación que genera el bombeo en el caudal subterráneo de salida del sistema, es de especial importancia, ya que éste constituye parte de la recarga que finalmente recibe el salar de Pedernales. La Figura 5.19 muestra la comparación de la evolución de los caudales de salida en condiciones naturales y con bombeo de ambos modelos.

Otra forma de ilustrar el efecto generado es analizando los descensos generados en los caudales de salida (Figura 5.20).

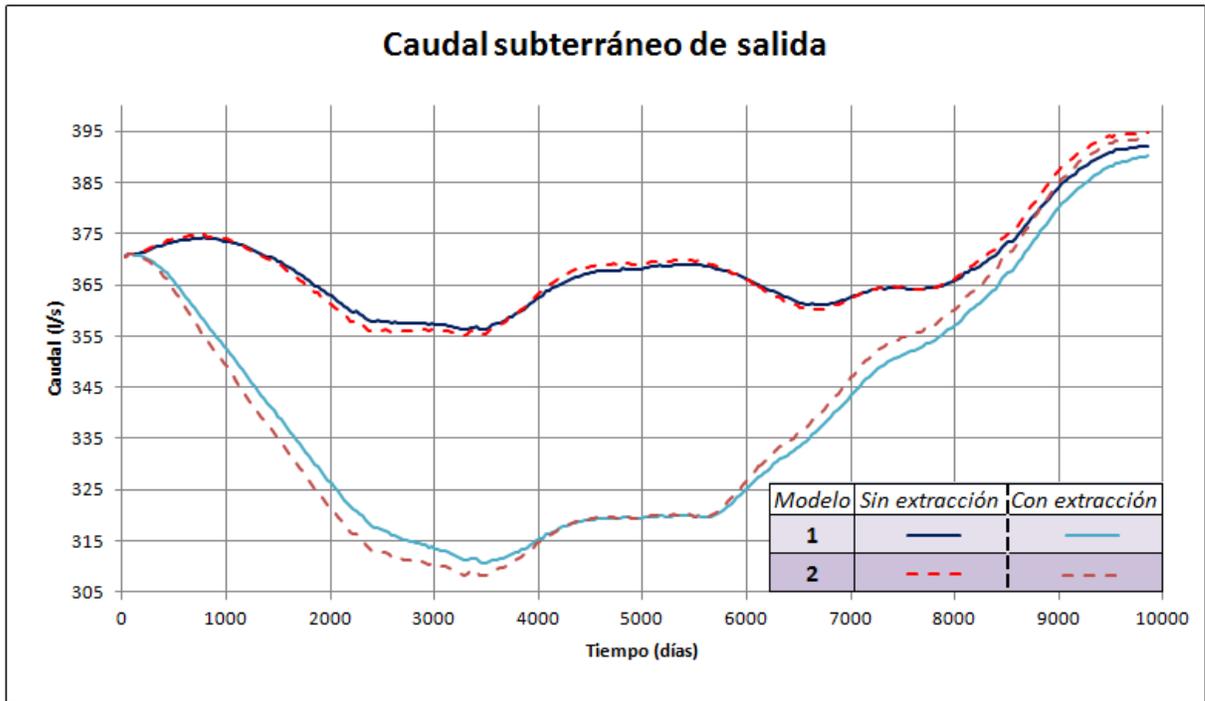


Figura 5.19. Comparación de los caudales de salida de ambos modelos, en condiciones naturales y con extracción.

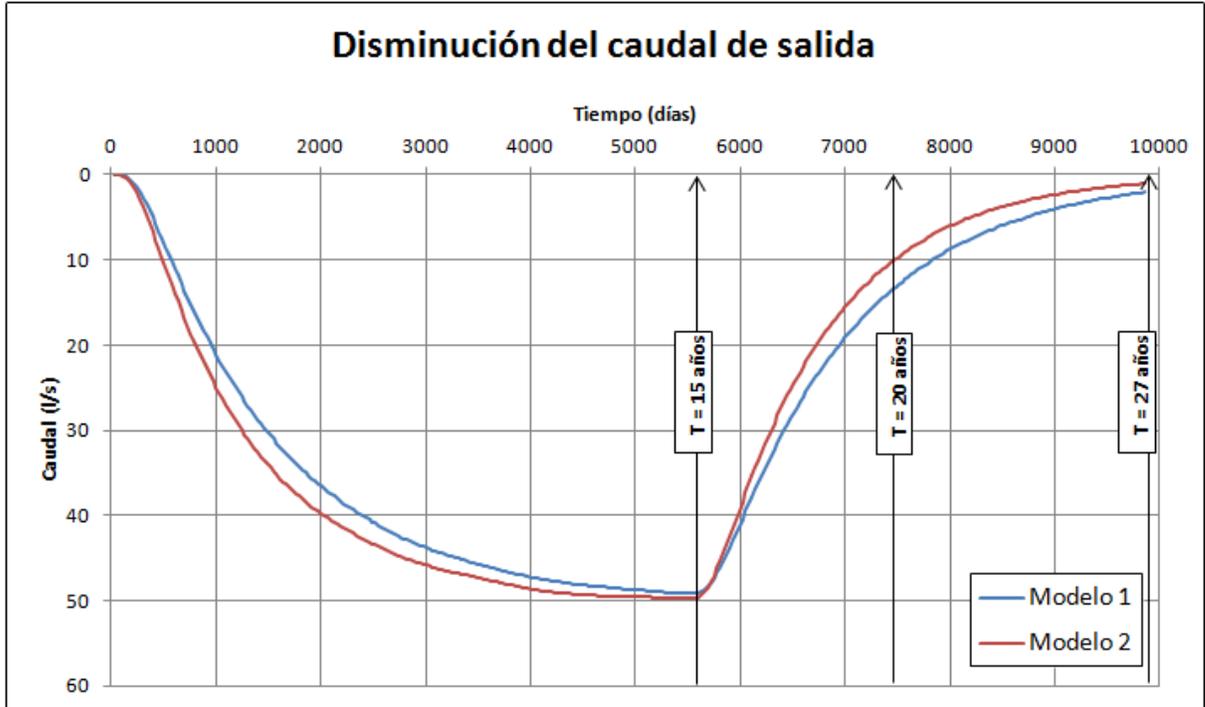


Figura 5.20. Disminución del caudal subterráneo saliente de ambos modelos, producto de la explotación.

Se observa que la disminución máxima del caudal subterráneo de salida se alcanza a los 15 años (5.475 días), reduciéndose aproximadamente en 50 l/s.

Una vez finalizada la explotación, el caudal recupera paulatinamente sus condiciones naturales, llegando en ambos modelos a una diferencia de sólo 10 l/s entre los 20 - 21 años (2,8 % del caudal en condiciones naturales en ese período aproximadamente), es decir, 5 - 6 años después del término del bombeo.

A partir de esa fecha, el caudal de salida continúa incrementándose hasta recuperar prácticamente su condición natural.

Ello se produce cerca de los 27 años simulados, momento en el cual las diferencias alcanzan a 2 y 1 l/s para los modelos 1 y 2 respectivamente (0,5% y 0,27% del caudal en condiciones naturales en ese período), es decir, 12 años después del término del bombeo.

La reducción promedio en los 27 años es de 27,5 l/s para el Modelo 1 y de 27,7 l/s para el Modelo 2, mientras que la diferencia máxima entre ambos modelos es de 4 l/s aproximadamente.

La Figura 5.21 compara la variación de los niveles del agua en los pozos Anglo-1 y Anglo-2 en los escenarios sin y con extracción.

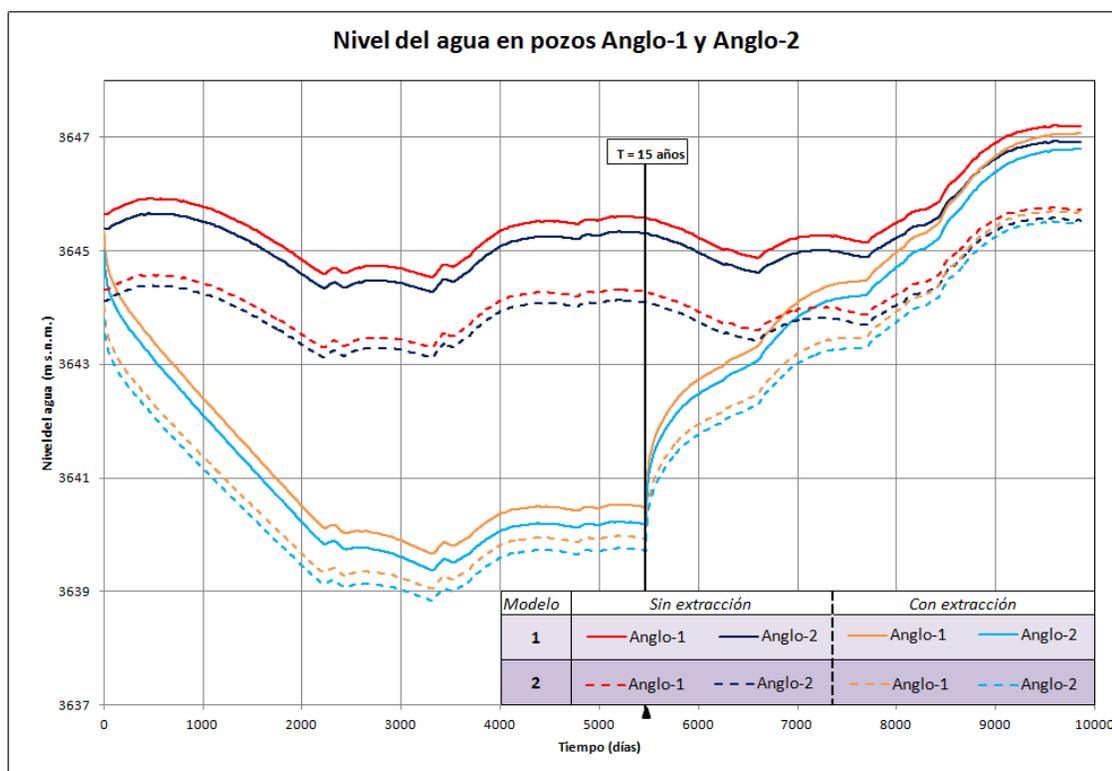


Figura 5.21. Comparación de las variaciones que sufre el nivel del agua en los pozos Anglo-1 y Anglo-2 en las condiciones sin y con extracción en ambos modelos.

La diferencia del nivel del agua inicial en los modelos está dada por los niveles calculados en la calibración de cada pozo, por lo tanto, como se observa en la Tabla 5.2, hay una diferencia de 1 m aproximadamente.

Por otro lado se incorporaron al modelo 15 pozos virtuales de observación (Figura 5.22), en los cuales se puede observar las variaciones que genera el bombeo a lo largo del valle principal (L-1 a L-9 de sur a norte) y de la quebrada Potrero Grande (O-1 a O-6 de oeste a este).

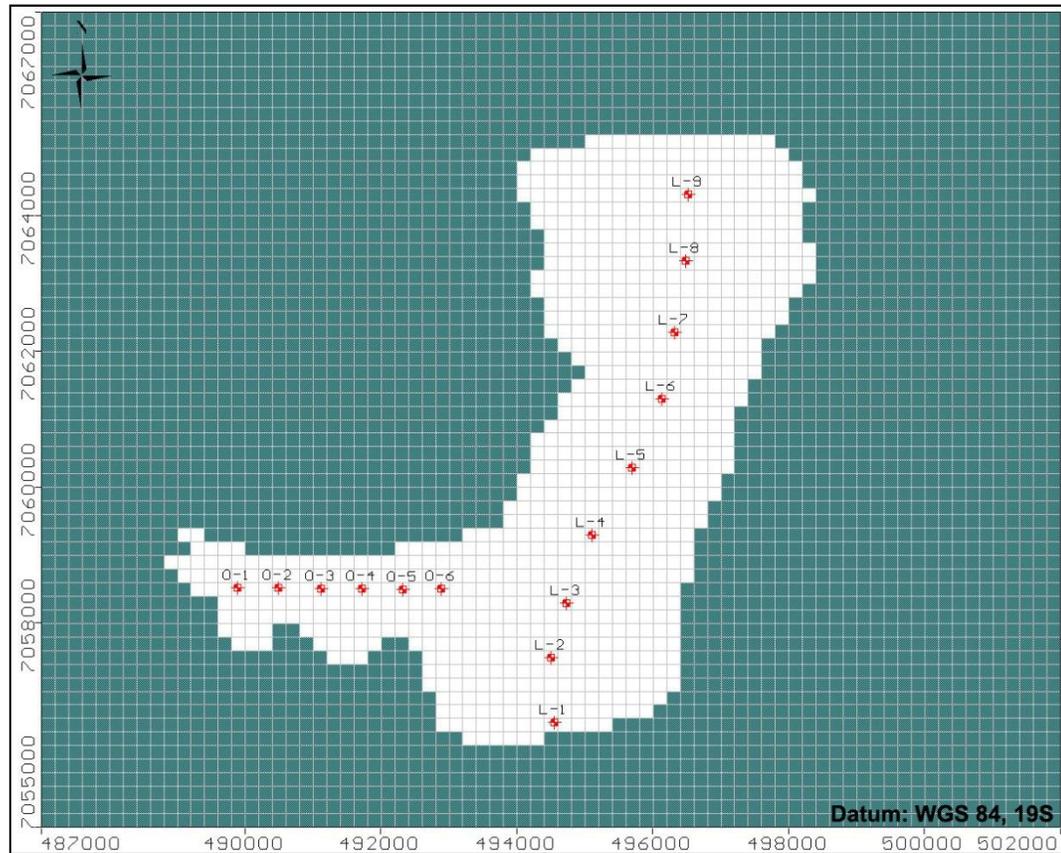


Figura 5.22. Distribución de pozos virtuales.

Los descensos generados en estos pozos virtuales se muestran en las figuras siguientes y corresponde a la diferencia de los niveles obtenidos en condición natural y con extracción. La diferencia del descenso entre algunos pozos puede ser muy pequeña y no diferenciarse en los gráficos.

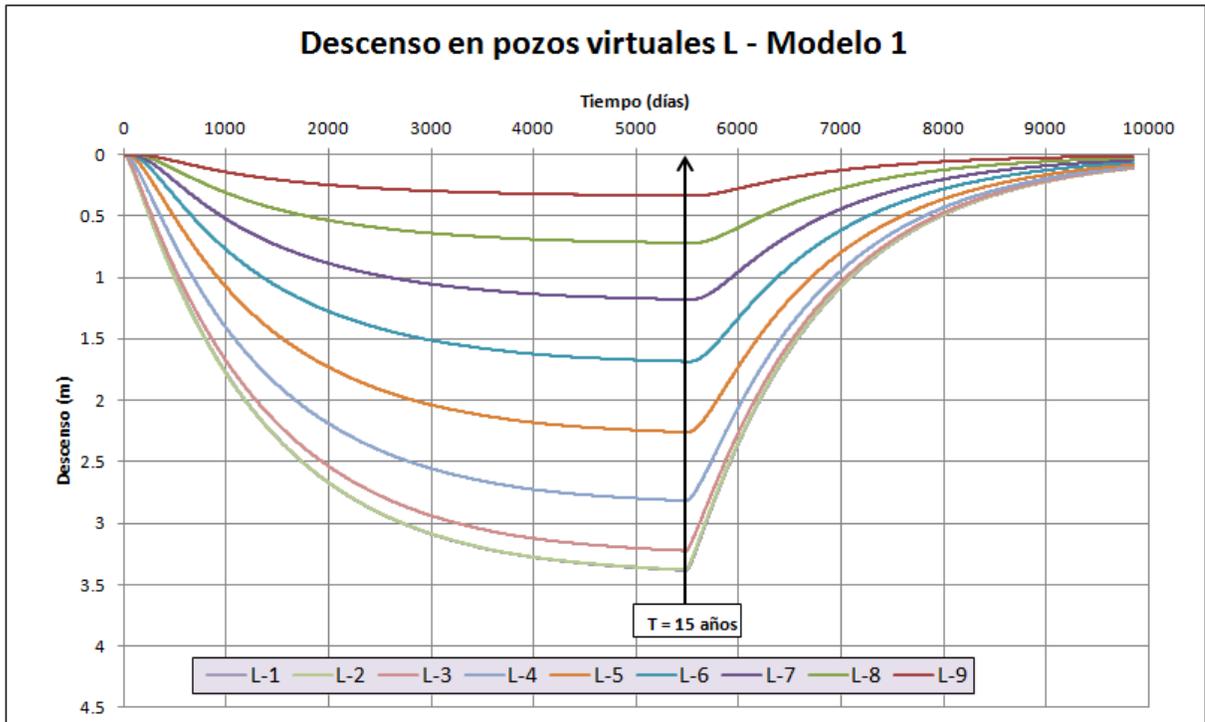


Figura 5.23. Descenso de los pozos L-1 a L-9 en el Modelo 1.

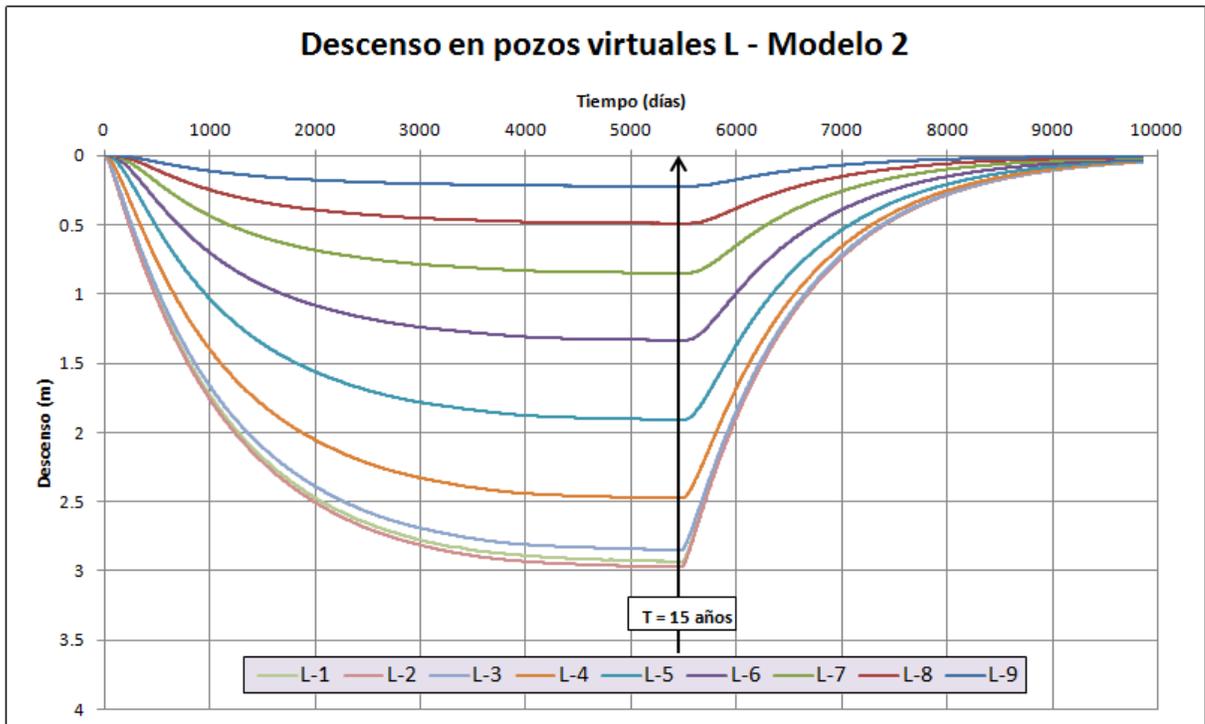


Figura 5.24. Descenso de los pozos L-1 a L-9 en el Modelo 2.

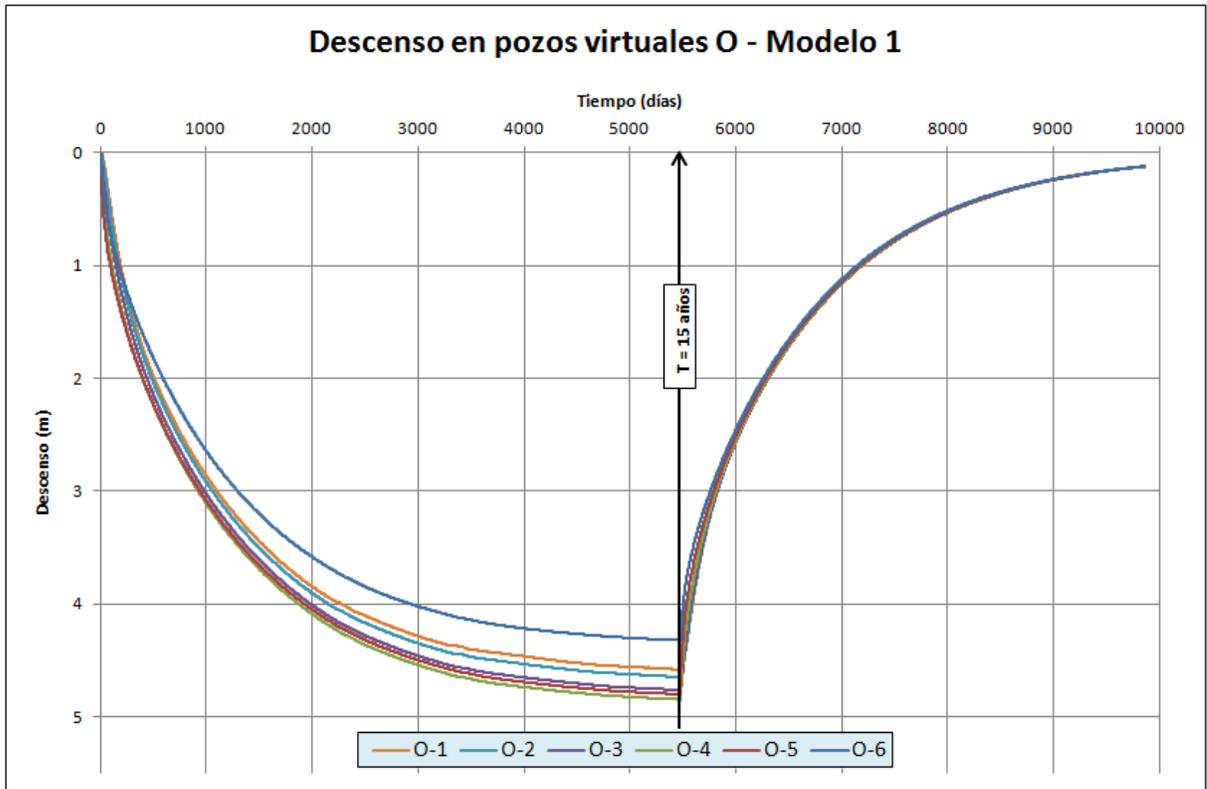


Figura 5.25. Descenso de los pozos O-1 a O-6 en el Modelo 1.

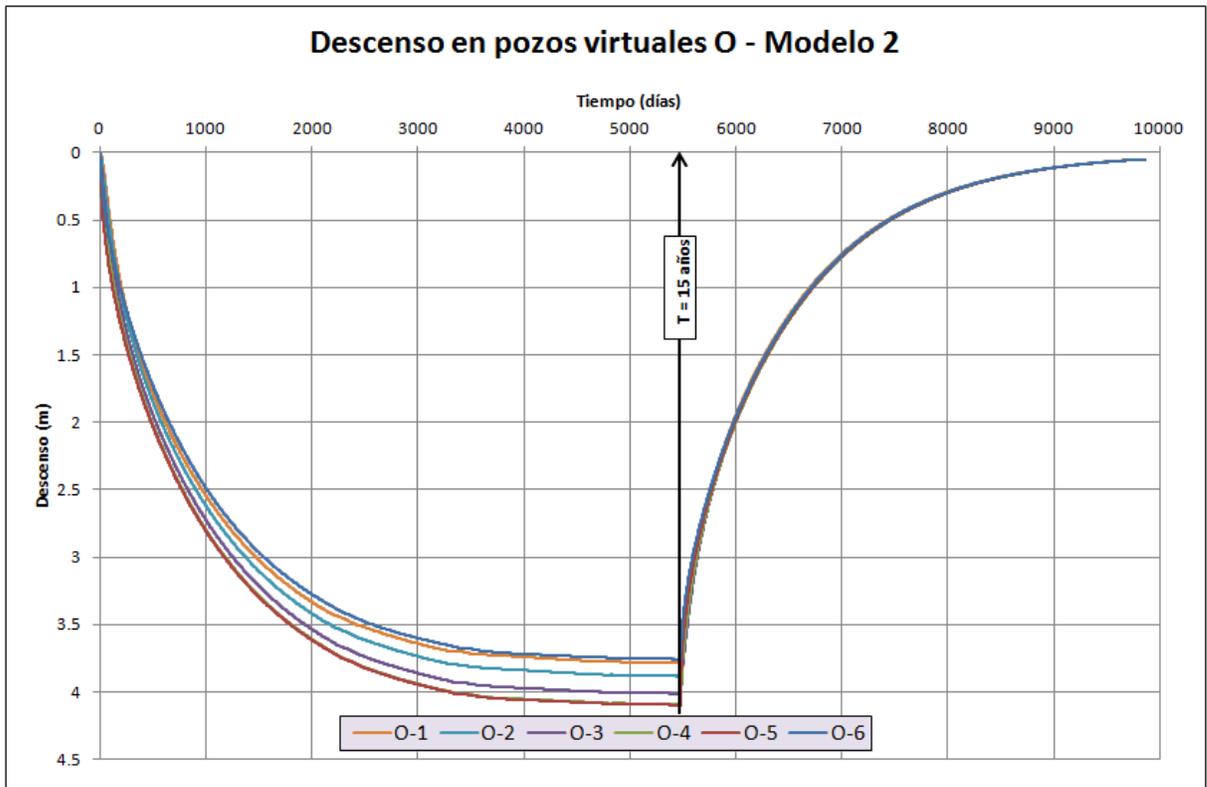


Figura 5.26. Descenso de los pozos O-1 a O-6 en el Modelo 2.

## 6. DISCUSIONES

- Los resultados obtenidos en régimen transiente, sugieren que una extracción de 50 l/s desde la quebrada Potrero Grande, no afecta de forma permanente al sistema acuífero.
- El principal impacto generado corresponde a la disminución de los caudales de salida, que constituye parte de la recarga que recibe el salar de Pedernales. Producto de la extracción se genera una disminución máxima de 50 l/s en el caudal de salida, sin embargo, vuelve a su condición natural aproximadamente a partir de los 5 años, una vez terminada la explotación.
- Al no haber un vínculo entre el nivel del agua subterránea y cuerpos de agua superficiales en la zona de estudio, la explotación del recurso no debiese generar un impacto importante en la flora y la fauna presente en la zona, sin embargo, estudios específicos son requeridos para determinar con certeza el impacto generado.
- El descenso del nivel del agua en la simulación en régimen permanente es mayor que en régimen transiente. Esto se debe a que en el primer caso, se simula una extracción que se extiende en un tiempo que tiende a infinito.
- El sector más afectado producto de la explotación programada, es la quebrada Potrero Grande, donde el nivel del agua disminuye hasta 5 m aproximadamente. Esto se debe a que los pozos de extracción (Anglo-1 y Anglo-2) se encuentran ubicados directamente sobre esta zona y, por otro lado, recibe una recarga menor que la quebrada Pastos Largos desde las cuencas afluentes.
- No fue posible realizar una calibración en régimen transiente, debido a que no existe un control de niveles en los pozos de observación para todos los períodos de la simulación. Sin embargo, su validez radica en que se ingresaron las estadísticas de recargas mensuales durante todos los períodos, calculadas con el modelo hidrológico nivopluvial, acercándose de mejor manera a la realidad.
- Usar una sola prueba de bombeo para estimar las conductividades no es lo ideal, ya que no se puede determinar si es representativa de las cualidades hidráulicas de todo el acuífero. Sin embargo, dada la limitada información, se asumió que la prueba era lo suficientemente representativa como para extrapolarla al resto del acuífero modelado.

- La interpretación de los perfiles TEM no permite determinar con certeza el espesor del acuífero. Debido a esto se realizaron 2 modelos: el Modelo 1, con espesores de hasta 300 m y el Modelo 2, con espesores de hasta 90 m. Se postula que el espesor real se encuentra entre medio de estos dos valores.
- A priori, se esperaba una diferencia mayor entre los resultados de la simulación en régimen transiente de los modelos 1 y 2, sin embargo, los resultados obtenidos son similares. Esto puede deberse a que la diferencia de espesores entre ambos modelos es compensada por las conductividades asignadas a cada uno.
- El punto anterior sugiere que, de realizarse un modelo con el espesor real y conductividades de acuerdo al espesor saturado real del acuífero, los resultados debiesen ser similares a los obtenidos en este estudio. Sin embargo, se requiere de más información para validar esta premisa.
- Los parámetros ingresados para resolver las ecuaciones matemáticas del flujo, representados por el solucionador o solver, que utiliza el programa Visual Modflow, pueden tener una gran influencia en los resultados. En las simulaciones realizadas, los parámetros fueron adoptados de tal forma, que las ecuaciones fueran resueltas con un alto nivel de detalle. Por otro lado, la versión del programa también influye, de menor manera, en los resultados. En función de esto, para obtener resultados consistentes, las simulaciones fueron realizadas usando la misma versión del programa, así como también, los mismos valores del solucionador en cada régimen.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio realizado es posible extraer las conclusiones que se indican a continuación:

- En el área de estudio se identifican dos unidades hidrogeológicas.  
La Unidad 1 está compuesta principalmente por depósitos aluviales y fluviales, cuyas litologías predominantes corresponden a arenas, gravas y limos. Esta unidad alberga un acuífero freático, con un alto potencial hidrogeológico.  
La Unidad 2 está compuesta por el basamento rocoso indiferenciado y unidades geológicas de diverso tipo, identificadas como impermeables. Se considera que esta unidad tiene un potencial hidrogeológico bajo a nulo.
- El flujo subterráneo tiene una dinámica de este a oeste en la quebrada Potrero Grande y de sur a norte en la quebrada Pastos Largos.
- La profundidad del nivel del agua va disminuyendo hacia el norte en el área del modelo, donde alcanza profundidades cercanas a la superficie de 0,5 m.
- Se identifican dos mecanismos de recarga al acuífero, que corresponden a la escorrentía de 4 cuencas afluentes y a la percolación de la precipitación directa, manifestándose como escorrentía subterránea. Estas recargas fueron calculadas mediante el modelo hidrológico nivopluvial y entregan caudales promedios de 357 y 13,53 l/s respectivamente, dando un total promedio de 370,53 l/s.
- Estos 370,53 l/s corresponden a un 30% del total de las recargas que recibe el salar de Pedernales, de acuerdo a estudios anteriores (4C, 2001).
- Se identifica un tipo de descarga del acuífero, que corresponde al caudal subterráneo de salida en el extremo norte del modelo. El caudal de salida promedio es de 370,5 l/s, variando entre 355 y 395 l/s en condiciones naturales.
- No es posible determinar el espesor real del acuífero, por lo tanto, se realizaron 2 modelos, Modelo 1 y Modelo 2, cuyas únicas diferencias radican en los espesores y las conductividades asignadas. Se postula que los valores reales se encuentran entre los valores asignados, es decir, entre 19 y 24 m/d para el Modelo 1 y entre 46 y 57 m/d para el Modelo 2.
- Las diferencias de espesores entre el Modelo 1 y el Modelo 2 están compensadas por las conductividades asignadas. Por otro lado, las diferencias

entre los resultados de cada modelo están dadas principalmente por los resultados de las calibraciones en régimen permanente.

- Los resultados obtenidos de la simulación realizada en régimen permanente son considerados como un caso límite, dado que el tiempo de extracción tiende a infinito.
- La explotación programada genera caudal de salida promedio de 340 l/s, variando entre 308 y 393 l/s.
- El caudal mínimo ocurre a los 9 años una vez iniciada la explotación y alcanza un valor de 310,7 y 308,2 en los modelos 1 y 2 respectivamente.
- Se genera una disminución de hasta 50 l/s en el caudal de salida, que corresponde un 15% del caudal en condiciones naturales y un descenso de hasta 5 m en el nivel del agua, siendo la quebrada Potrero Grande la zona más afectada.
- El principal impacto se genera sobre el caudal de salida del acuífero modelado.
- El acuífero tarda alrededor de 5 años en generar caudales cercanos a su condición natural, una vez terminada la explotación. Esta tendencia de volver a su condición natural se mantendría después del año 2000.
- Se considera el mayor aporte de este estudio ha sido determinar que la explotación de aguas subterráneas programada, para abastecer al proyecto Arqueros, atiende a un carácter sustentable con respecto a la estabilidad del acuífero ubicado en la quebrada Potrero Grande.
- Finalmente, la certeza del modelo está directamente relacionada con la cantidad de datos que se tiene. En este caso, se contó con escasos datos y por ésta razón, este estudio debe considerarse como una etapa de aproximación inicial al problema. Por otro lado, sobre la utilización de modelos, es importante tener claro que los resultados obtenidos son aproximaciones que deben calibrarse en el tiempo de acuerdo a la consecución de nueva información. Esto implica necesariamente que los modelos de simulación hidrogeológica deben ser constantemente revisados y actualizados.

De acuerdo a los obstáculos encontrados durante la realización de este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Empezar a generar una estadística de niveles de pozos en la zona, con el objetivo de poder calibrar el régimen transiente en el futuro.
- Relacionado con el punto anterior, construir pozos con profundidades de hasta 300 m a lo largo de la quebrada Pastos Largos, a partir de los cuales se puedan generar estadísticas de niveles del agua, realizar pruebas de bombeo y obtener estratigrafías, de tal forma que sea posible correlacionar de manera certera las unidades geológicas con las unidades geoeléctricas de los perfiles TEM, y por lo tanto, determinar el espesor real del acuífero.
- Realizar perfiles TEM a lo largo de la quebrada Pastos Largos.
- Realizar estudios en la formación Estratos del Río Juncalito, con el fin de cuantificar sus constantes elásticas e incluirlas en el modelo posteriormente. Es decir, perfiles TEM, sondajes, pozos de observación y pruebas de bombeo.

## BIBLIOGRAFÍA

4C Consultores en Ingeniería Civil Ltda. 2001. Estudio preliminar. Estimación De Recursos Hídricos Afluentes Al Salar De Pedernales. CODELCO Chile, División El Salvador. 24 p. III Región.

Aguirre, I, Venegas, M. 2005. Hidrogeología de la Cuenca Salar de Pedernales, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Hidrogeología, No. 3, 1 mapa en 2 hojas, escala 1:100.000. Santiago.

Amilibia, A., Sàbat, F., McClay, K., Muñoz, J., Roca, E. and Chong, G. 2008. The role of inherited tectono-sedimentary architecture in the development of the central Andean mountain belt: Insights from the Cordillera de Domeyko. *Journal of Structural Geology*, Vol. 30, p. 1520-1539.

Clark, A., Mayer, A., Mortimer, C. and Sillitoe, R. 1967. Implications of the isotopic ages of ignimbrite flows, southern Atacama Desert, Chile. *Nature*, Vol. 215, p. 723-724.

Clavero, J., Gardeweg, M., Mpodozis, C. 1998. Mapa Geológico Preliminar del área de Salar de Piedra Parada, Región de Atacama (Inédito). Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:100.000. Santiago.

Clavero, J., Mpodozis, C., Gardeweg, M. 1997. Mapa Geológico del área del Salar de Wheelwright (Versión Preliminar, Inédito). Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:100.000. Santiago.

Clavero, J., Mpodozis, C., Gardeweg, M., Valenzuela, M. 2012. Geología de las áreas Laguna Wheelwright y Paseo San Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geologica de Chile, Serie Geología Básica 139-140, 1 mapa 1:100.000. Santiago.

Cornejo, P., Mpodozis, C., Ramírez, C., Tomlinson, A. 1993. Estudio Geológico de la Región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat. S). Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-93-01, 258 p., 12 mapas escala 1:50.000. Santiago.

Cornejo, P., Mpodozis, C., Tomlinson, A. 1998. Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos No.7, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

CPH & Asociados S.A. 2001. Estudio hidrológico de la cuenca Salar de Pedernales. CODELCO Chile, División El Salvador. 44 p. III Región.

CPH & Asociados S.A. 2004. Estudio de modelación matemática hidrogeológica. Cuenca Salar de Pedernales. Etapa I. CODELCO Chile, División El Salvador. 105 p. III Región.

CPH & Asociados S.A. 2012. Hidrogeología Proyecto Arqueros, Rev A. Estudio de Impacto Ambiental. Laguna Resources Chile Ltda., Proyecto Arqueros. 59 p. III Región.

DICTUC, 2009. Levantamiento hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Informe No. 460625, 362 p. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago.

Dirección General de Aguas (DGA). 2008. Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos. S.I.T No. 156, 417 p. Ministerio de Obras Públicas. Santiago.

Dirección General de Aguas (DGA). 2009. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la Región de Atacama ubicadas entre el río Copiapó y la Región de Antofagasta. Informe técnico, S.D.T. 276. 39 p. Ministerio de Obras Públicas. Santiago.

Geodatos S.A.I.C. 2012. Estudio geofísico transiente electromagnético TEM y NanoTEM. Proyecto Arqueros. 66 p. III Región.

Geoinvestment SpA. 2011. Informe hidrogeológico. Área Proyecto Arqueros. Laguna Resources Chile Ltda., Proyecto Arqueros. 25 p. III Región.

Harrington, H. 1961. Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces, northern Chile. AAPG Bulletin, 45, p. 169-197.

Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile No. 56, 73 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Mortimer, C. 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. Journal of the Geological Society of London, Vol. 129, p. 505-526.

Mpodozis, C. and Cornejo, P. 1997. El rift triásico-sinemuriano de Sierra Exploradora, Cordillera de Domeyko (25°-26°S): Asociaciones de facies y reconstrucción tectónica. VIII Congreso Geológico Chileno, Actas, p. 550-554. Antofagasta.

Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S. and Tittler, A. 1995. La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. Andean Geology, Vol. 22, p. 273-313.

Mpodozis, C., Ramos, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Sciences Series, Vol. 11, p. 59-90. Houston, Texas.

Nalpas, T., Dabard, M., Ruffet, G., Vernon, A., Mpodozis, C., Loi, A., Hérail, G. 2008. Sedimentation and preservation of the Miocene Atacama Gravels in the Pedernales–

Chañaral Area, Northern Chile: Climatic or tectonic control? *Tectonophysics*, Vol. 459, p. 161-173.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2008. Legislación sobre fauna silvestre. La Ley de Caza y su Reglamento. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables, Subdepartamento Vida Silvestre. 98 p. Santiago.

Stowhas, L., Seguel, R. 1985. Estimación de crecidas de diseño en cuencas mixtas pluvio-nivales. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. Artículo N° 7. Concepción.

Tomlinson, A., Cornejo, P., Mpodozis, C. 1999. Hoja Potrerillos, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 14, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

## **ANEXOS**

# ANEXO – A

## Interpretación de perfiles TEM (Geodatos, 2012).

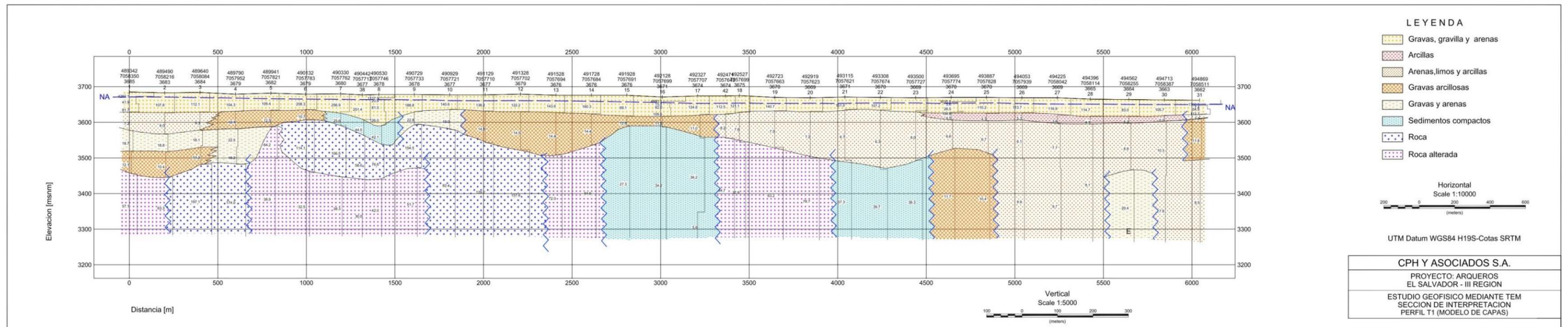


Figura A-1. Interpretación del perfil TEM 1.

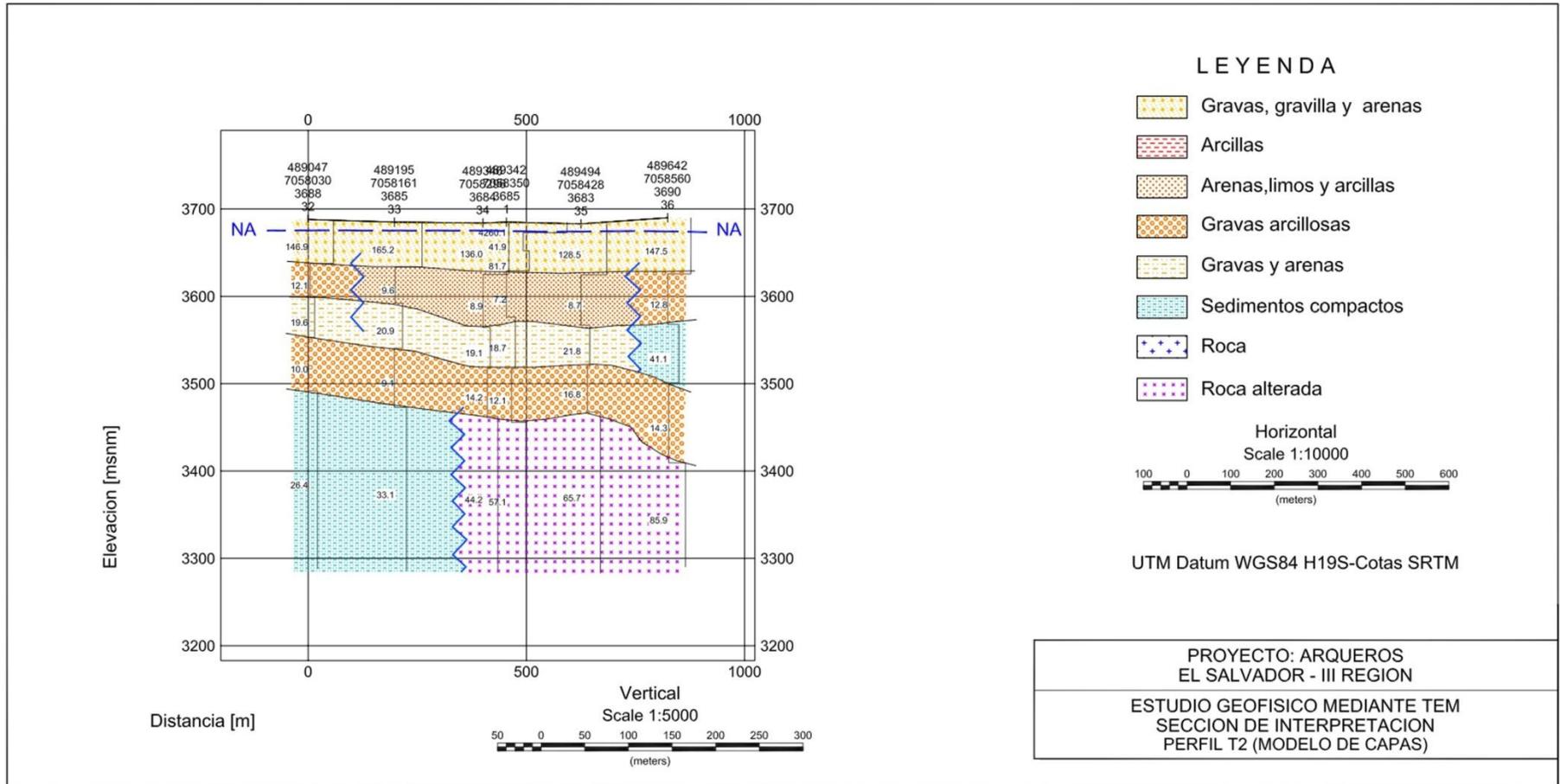


Figura A-2. Interpretación del perfil TEM 2.

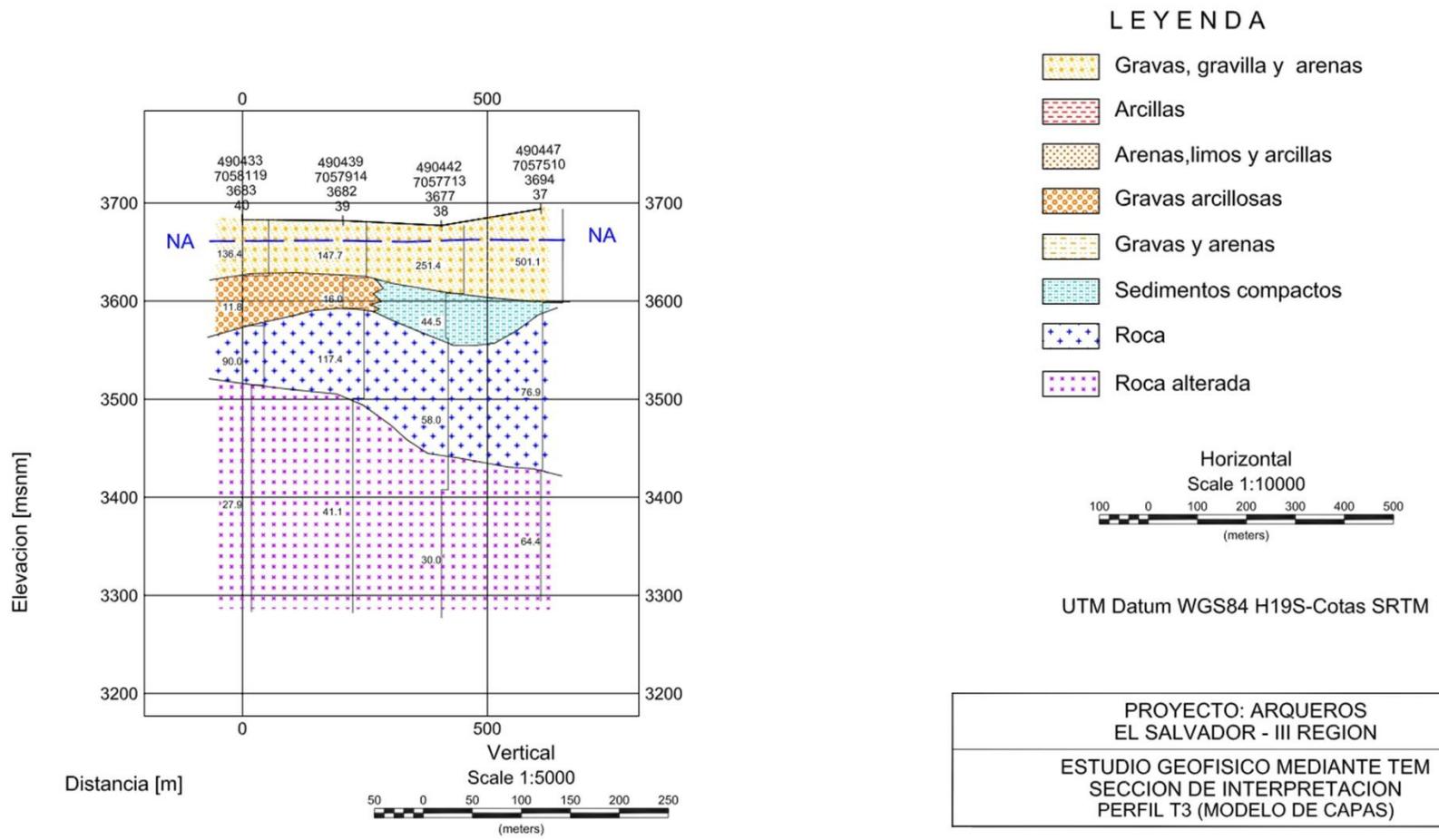


Figura A-3. Interpretación del perfil TEM 3.

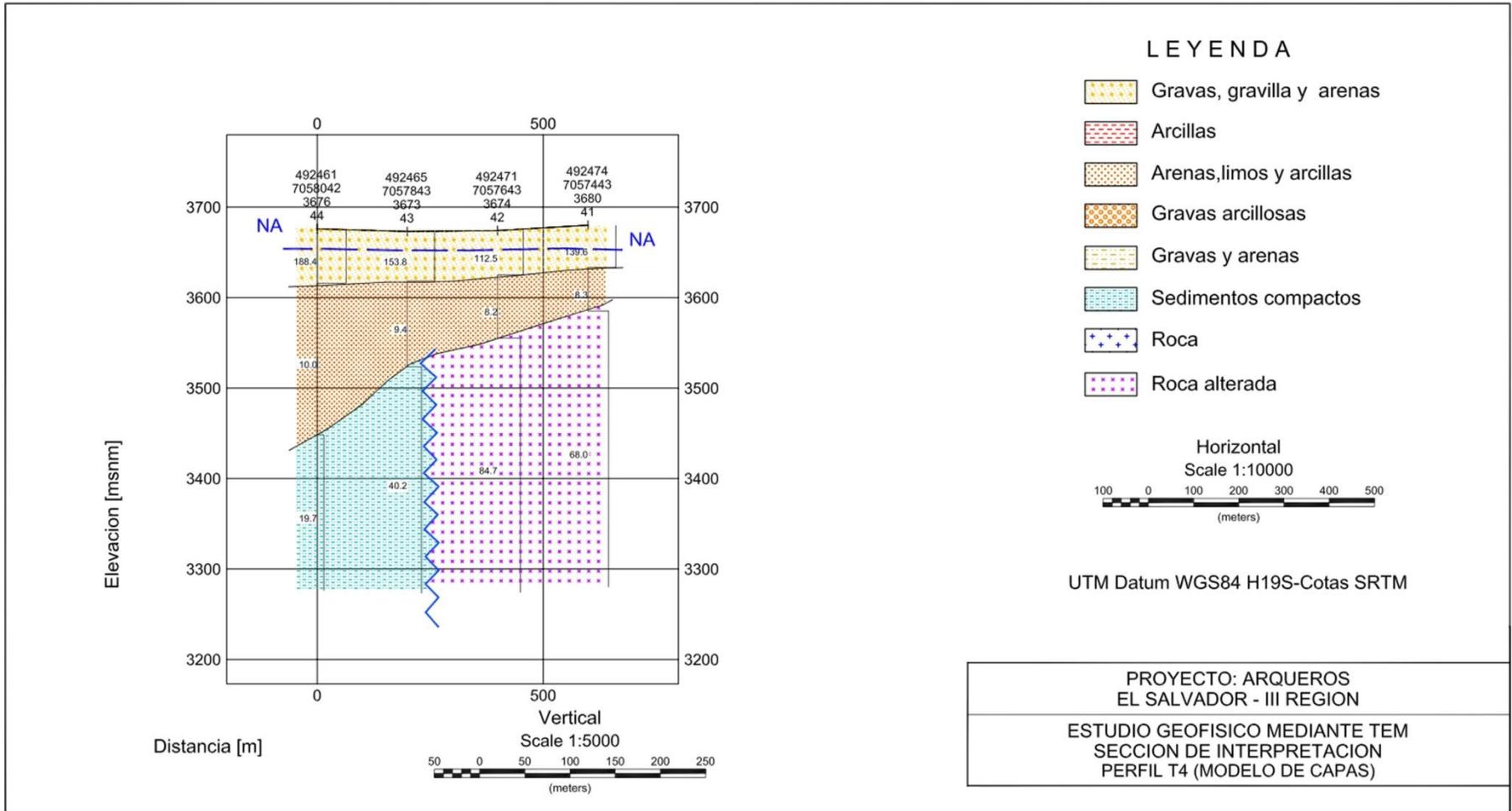


Figura A-4. Interpretación del perfil TEM 4.

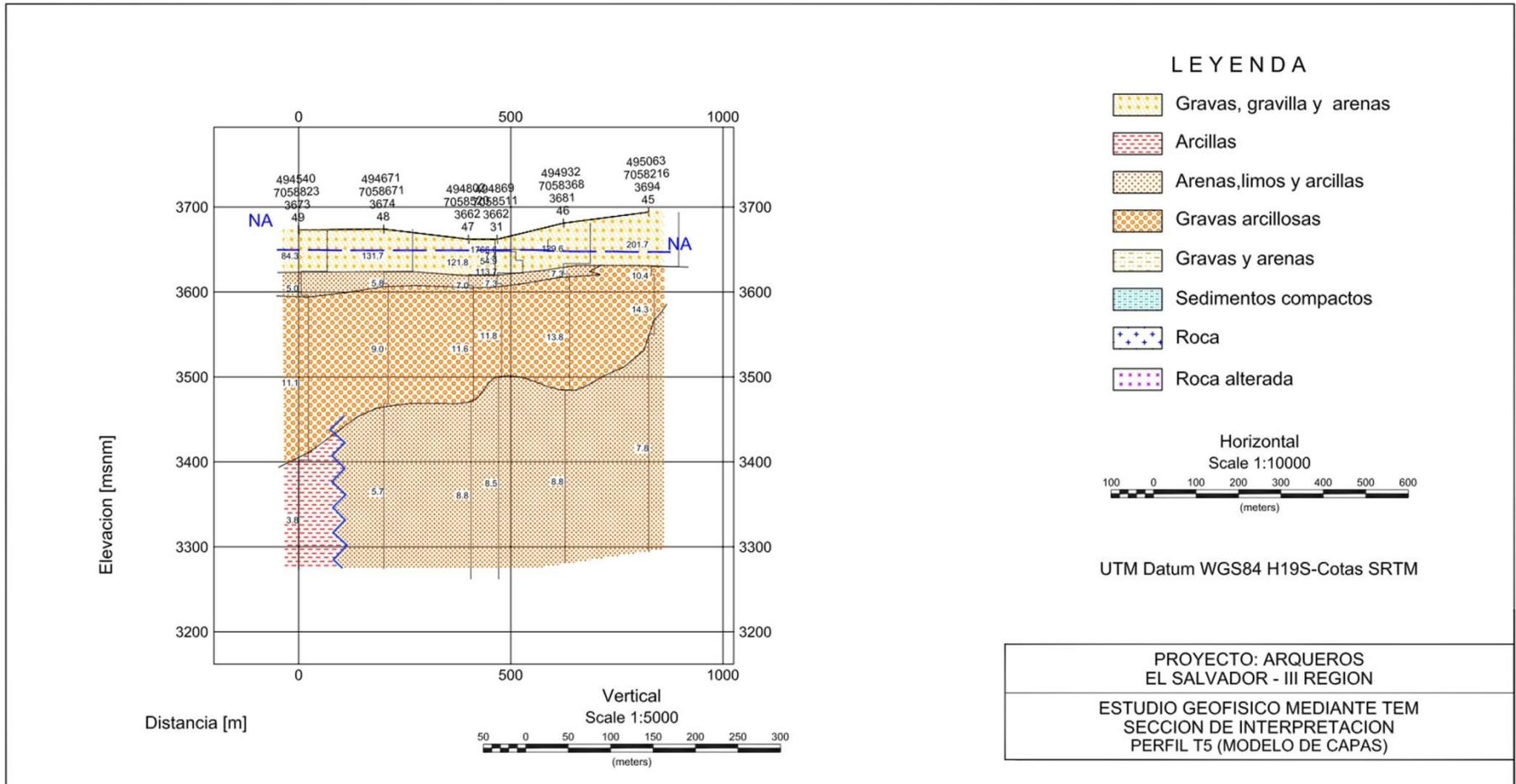


Figura A-5. Interpretación del perfil TEM 5.

## ANEXO – B

### Prueba de bombeo de gasto constante

Tabla B-1. Datos de la prueba de bombeo de gasto constante.

Datos de prueba de bombeo			
<b>Pozo</b>	Anglo - 1	<b>Nivel estático (m)</b>	16,53
<b>Caudal de bombeo l/s)</b>	60	<b>Profundidad del Pozo (m)</b>	100
<b>Sistema de aforo</b>	Caudal Velocimétrico	<b>Diámetro del pozo (pulg)</b>	12
<b>Equipo de bombeo</b>	Bomba KSB Upa 90 Kw	<b>Fecha de inicio</b>	14-06-2012
<b>Capacidad específica (l/s/m)</b>	2,605	<b>Duración (min)</b>	2.040

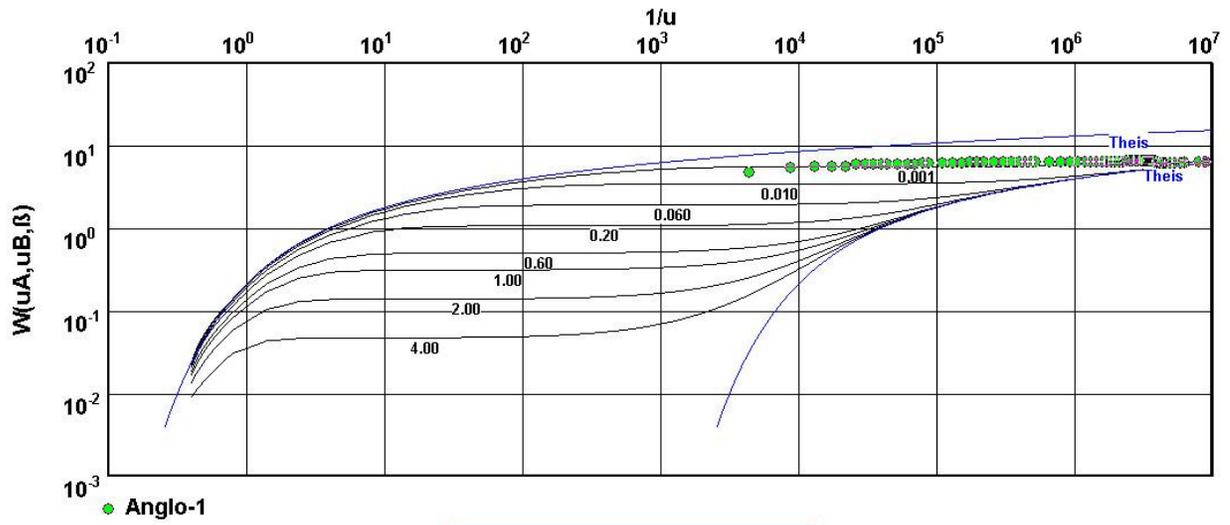
Tabla B-2. Resultados de la prueba de bombeo.

Resultados de prueba de bombeo			
	Tiempo [min]	Prof. NE [m]	Abatimiento [m]
1	0	16,53	0
2	1	33,8	17,27
3	2	35,87	19,34
4	3	36,34	19,81
5	4	36,62	20,09
6	5	36,76	20,23
7	6	37,67	21,14
8	7	37,69	21,16
9	8	37,85	21,32
10	9	37,86	21,33
11	10	37,89	21,36
12	12	38,03	21,5
13	14	38,14	21,61
14	16	38,04	21,51
15	18	38,22	21,69
16	20	38,29	21,76
17	25	38,32	21,79

18	30	38,2	21,67
19	35	38,37	21,84
20	40	39,16	22,63
21	45	39,17	22,64
22	50	39,17	22,64
23	60	39,17	22,64
24	70	39,19	22,66
25	80	39,19	22,66
26	90	39,31	22,78
27	100	39,31	22,78
28	110	39,35	22,82
29	120	39,38	22,85
30	150	39,47	22,94
31	180	39,49	22,96
32	210	39,5	22,97
33	240	39,5	22,97
34	270	39,5	22,97
35	300	39,5	22,97
36	330	39,5	22,97
37	360	39,5	22,97
38	390	39,5	22,97
39	420	39,5	22,97
40	450	39,53	23
41	480	39,53	23
42	510	39,55	23,02
43	540	39,58	23,05
44	570	39,6	23,07
45	600	39,71	23,18
46	630	39,71	23,18
47	660	39,76	23,23
48	690	39,76	23,23
49	720	39,73	23,2
50	750	39,77	23,24
51	780	39,77	23,24
52	810	39,78	23,25
53	840	39,78	23,25
54	870	39,8	23,27
55	900	38,7	22,17
56	930	38,41	21,88
57	960	38,43	21,9
58	990	38,43	21,9

59	1.020	38,4	21,87
60	1.050	38,4	21,87
61	1.080	38,4	21,87
62	1.110	38,4	21,87
63	1.140	38,4	21,87
64	1.170	38,4	21,87
65	1.200	38,4	21,87
66	1.230	38,4	21,87
67	1.260	38,4	21,87
68	1.290	38,4	21,87
69	1.320	38,4	21,87
70	1.350	38,4	21,87
71	1.380	38,4	21,87
72	1.410	38,43	21,9
73	1.440	39,42	22,89
74	1.470	39,55	23,02
75	1.500	39,55	23,02
76	1.530	39,55	23,02
77	1.560	39,55	23,02
78	1.590	39,55	23,02
79	1.620	39,55	23,02
80	1.650	39,55	23,02
81	1.680	39,55	23,02
82	1.710	39,54	23,01
83	1.740	39,56	23,03
84	1.770	39,56	23,03
85	1.800	39,56	23,03
86	1.830	39,56	23,03
87	1.860	39,56	23,03
88	1.890	39,56	23,03
89	1.920	39,56	23,03
90	1.950	39,56	23,03
91	1.980	39,56	23,03
92	2.010	39,56	23,03
93	2.040	39,56	23,03

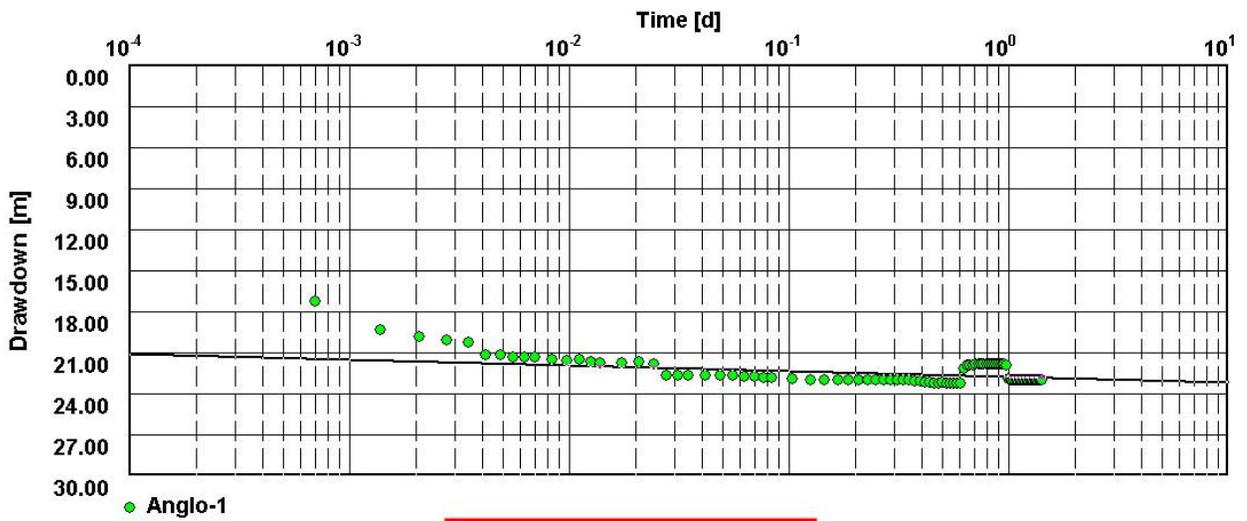
### Interpretación - Método de Neuman



Transmissivity [m<sup>2</sup>/d]: 1.16 x 10<sup>2</sup>

Figura B-1. Interpretación según el método de Neuman.

### Interpretación - Método de Cooper - Jacob



Transmissivity [m<sup>2</sup>/d]: 2.27 x 10<sup>3</sup>

Figura B-2. Interpretación según el método de Cooper-Jacob.

## Prueba de bombeo de gasto variable 1

Tabla B-3. Datos de la prueba de bombeo de gasto variable 1.

<b>Datos de prueba de bombeo</b>			
<b>Pozo</b>	Anglo - 1	<b>Nivel estático (m)</b>	15,46
<b>Caudal de bombeo l/s)</b>	25	<b>Profundidad del Pozo (m)</b>	100
<b>Sistema de aforo</b>	Caudal Velocimétrico	<b>Diámetro del pozo (pulg)</b>	12
<b>Equipo de bombeo</b>	Bomba KSB Upa 90 Kw	<b>Fecha de inicio</b>	06-06-2012
<b>Capacidad específica (l/s/m)</b>	4,699	<b>Duración (min)</b>	120

Tabla B-4. Resultados de la prueba de bombeo de gasto variable 1.

<b>Resultados de prueba de bombeo</b>			
	Time [min]	Depth to WL [m]	Drawdown [m]
1	0	15,46	0
2	1	22,82	7,36
3	2	22,82	7,36
4	3	22,02	6,56
5	4	21,53	6,07
6	5	20,96	5,5
7	6	20,77	5,31
8	7	20,71	5,25
9	8	20,62	5,16
10	9	20,72	5,26
11	10	20,84	5,38
12	12	20,68	5,22
13	14	20,79	5,33
14	16	20,82	5,36
15	18	20,78	5,32
16	20	20,82	5,36
17	25	20,88	5,42
18	30	20,81	5,35
19	35	20,83	5,37
20	40	20,77	5,31
21	45	20,77	5,31
22	50	20,77	5,31
23	55	20,77	5,31
24	60	20,77	5,31
25	70	20,78	5,32
26	80	20,78	5,32
27	90	20,78	5,32
28	100	20,78	5,32
29	110	20,78	5,32
30	120	20,78	5,32

## Prueba de bombeo de gasto variable 2

Tabla B-5. Datos de la prueba de bombeo de gasto variable 2.

<b>Datos de prueba de bombeo</b>			
<b>Pozo</b>	Anglo - 1	<b>Nivel estático (m)</b>	15,46
<b>Caudal de bombeo l/s)</b>	35	<b>Profundidad del Pozo (m)</b>	100
<b>Sistema de aforo</b>	Caudal Velocimétrico	<b>Diámetro del pozo (pulg)</b>	12
<b>Equipo de bombeo</b>	Bomba KSB Upa 90 Kw	<b>Fecha de inicio</b>	06-06-2012
<b>Capacidad específica (l/s/m)</b>	4,113	<b>Duración (min)</b>	120

Tabla B-6. Resultados de la prueba de bombeo de gasto variable 2.

<b>Resultados de prueba de bombeo</b>			
	Time [min]	Depth to WL [m]	Drawdown [m]
1	0	20,78	5,32
2	1	23,35	7,89
3	2	23,59	8,13
4	3	23,65	8,19
5	4	23,67	8,21
6	5	23,73	8,27
7	6	24,04	8,58
8	7	24,09	8,63
9	8	23,99	8,53
10	9	23,99	8,53
11	10	23,96	8,5
12	12	23,96	8,5
13	14	23,96	8,5
14	16	23,96	8,5
15	18	23,96	8,5
16	20	23,96	8,5
17	25	23,96	8,5
18	30	23,96	8,5
19	35	23,96	8,5
20	40	23,96	8,5
21	45	23,96	8,5
22	50	23,96	8,5
23	55	23,96	8,5
24	60	23,96	8,5
25	70	23,97	8,51
26	80	23,97	8,51
27	90	23,97	8,51
28	100	23,97	8,51
29	110	23,97	8,51
30	120	23,97	8,51

### Prueba de bombeo de gasto variable 3

Tabla B-7. Datos de la prueba de bombeo de gasto variable 3.

<b>Datos de prueba de bombeo</b>			
<b>Pozo</b>	Anglo - 1	<b>Nivel estático (m)</b>	15,46
<b>Caudal de bombeo l/s)</b>	50	<b>Profundidad del Pozo (m)</b>	100
<b>Sistema de aforo</b>	Caudal Velocimétrico	<b>Diámetro del pozo (pulg)</b>	12
<b>Equipo de bombeo</b>	Bomba KSB Upa 90 Kw	<b>Fecha de inicio</b>	06-06-2012
<b>Capacidad específica (l/s/m)</b>	3,001	<b>Duración (min)</b>	120

Tabla B-8. Resultados de la prueba de bombeo de gasto variable 3.

<b>Resultados de prueba de bombeo</b>			
	Time [min]	Depth to WL [m]	Drawdown [m]
1	0	23,97	8,51
2	1	30,31	14,85
3	2	31,42	15,96
4	3	31,55	16,09
5	4	31,57	16,11
6	5	31,75	16,29
7	6	31,86	16,4
8	7	31,76	16,3
9	8	31,92	16,46
10	9	31,94	16,48
11	10	31,95	16,49
12	12	31,94	16,48
13	14	31,97	16,51
14	16	31,99	16,53
15	18	31,99	16,53
16	20	31,99	16,53
17	25	32,08	16,62
18	30	32,08	16,62
19	35	32,08	16,62
20	40	32,08	16,62
21	45	32,08	16,62
22	50	32,08	16,62
23	55	32,08	16,62
24	60	32,12	16,66
25	70	32,12	16,66
26	80	32,12	16,66
27	90	32,12	16,66
28	100	32,12	16,66
29	110	32,12	16,66
30	120	32,12	16,66

## Prueba de bombeo de gasto variable 4

Tabla B-9. Datos de la prueba de bombeo de gasto variable 4.

<b>Datos de prueba de bombeo</b>			
<b>Pozo</b>	Anglo - 1	<b>Nivel estático (m)</b>	15,46
<b>Caudal de bombeo l/s)</b>	68	<b>Profundidad del Pozo (m)</b>	100
<b>Sistema de aforo</b>	Caudal Velocimétrico	<b>Diámetro del pozo (pulg)</b>	12
<b>Equipo de bombeo</b>	Bomba KSB Upa 90 Kw	<b>Fecha de inicio</b>	06-06-2012
<b>Capacidad específica (l/s/m)</b>	2,252	<b>Duración (min)</b>	120

Tabla B-10. Resultados de la prueba de bombeo de gasto variable 4.

<b>Resultados de prueba de bombeo</b>			
	<b>Time [min]</b>	<b>Depth to WL [m]</b>	<b>Drawdown [m]</b>
1	0	32,12	16,66
2	1	41,43	25,97
3	2	43,45	27,99
4	3	44,05	28,59
5	4	44,02	28,56
6	5	44,22	28,76
7	6	44,51	29,05
8	7	44,77	29,31
9	8	44,71	29,25
10	9	44,78	29,32
11	10	44,78	29,32
12	12	45,01	29,55
13	14	45	29,54
14	16	44,85	29,39
15	18	44,97	29,51
16	20	44,89	29,43
17	25	45,05	29,59
18	30	45,28	29,82
19	35	45,24	29,78
20	40	44,96	29,5
21	45	45,34	29,88
22	50	45,47	30,01
23	55	45,25	29,79
24	60	45,45	29,99
25	70	45,2	29,74
26	80	45,39	29,93
27	90	45,52	30,06
28	100	45,21	29,75
29	110	45,21	29,75
30	120	45,96	30,5
31	130	45,65	30,19

## ANEXO – C

### Resultados modelo hidrológico nivopluvial

Tabla C-1. Parámetros de entrada del modelo nivopluvial.

PARÁMETROS UTILIZADOS	
<b>CEN</b>	0,4
<b>BB</b>	0,23
<b>B</b>	1
<b>HNTOT</b>	50
<b>CEP</b>	0,005
<b>CKS</b>	4
<b>CK</b>	450
<b>FKP</b>	0,8
<b>FK</b>	1,5
<b>GRT</b>	5,5
<b>CLOUDK</b>	1
<b>DRMIN</b>	0
<b>COFDRT</b>	0,96
<b>HMAX 2</b>	4
<b>TU</b>	-0,7
<b>ALFA1</b>	-6,6
<b>BETA1</b>	0,012

## Subcuenca A-1

Tabla C-2. Escorrentía total calculada para la subcuenca A-1.

ESCORRENTÍA TOTAL (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,229	0,236	0,228	0,228	0,25	0,227	0,234	0,226	0,225	0,249	0,235	0,231	0,233
1975	0,223	0,244	0,222	0,222	0,228	0,221	0,227	0,22	0,219	0,242	0,218	0,225	0,226
1976	0,227	0,224	0,216	0,216	0,248	0,215	0,222	0,214	0,214	0,236	0,213	0,235	0,223
1977	0,212	0,218	0,226	0,21	0,217	0,209	0,216	0,208	0,208	0,23	0,207	0,213	0,214
1978	0,206	0,213	0,205	0,205	0,211	0,204	0,21	0,203	0,203	0,224	0,224	0,208	0,209
1979	0,201	0,207	0,2	0,199	0,206	0,199	0,205	0,198	0,197	0,218	0,196	0,231	0,204
1980	0,196	0,202	0,271	0,215	0,222	0,214	0,221	0,213	0,213	0,235	0,212	0,218	0,219
1981	0,211	0,217	0,21	0,226	0,216	0,208	0,215	0,208	0,207	0,229	0,206	0,213	0,214
1982	0,205	0,212	0,204	0,204	0,231	0,203	0,209	0,202	0,202	0,223	0,201	0,207	0,208
1983	0,214	0,226	0,268	0,248	0,228	0,22	0,227	0,219	0,218	0,241	0,273	0,235	0,235
1984	0,227	0,246	0,226	0,226	0,233	0,225	0,232	0,224	0,223	0,247	0,222	0,229	0,23
1985	0,221	0,229	0,22	0,22	0,227	0,219	0,226	0,218	0,217	0,24	0,217	0,223	0,223
1986	0,216	0,222	0,215	0,214	0,221	0,213	0,22	0,212	0,212	0,234	0,243	0,22	0,22
1987	0,212	0,219	0,258	0,221	0,227	0,22	0,226	0,219	0,218	0,241	0,217	0,224	0,225
1988	0,216	0,223	0,215	0,215	0,221	0,214	0,22	0,213	0,212	0,235	0,211	0,218	0,218
1989	0,212	0,217	0,21	0,219	0,22	0,208	0,215	0,207	0,207	0,228	0,206	0,212	0,213
1990	0,205	0,211	0,204	0,204	0,21	0,203	0,209	0,202	0,201	0,222	0,2	0,207	0,206
1991	0,2	0,248	0,206	0,206	0,212	0,205	0,211	0,206	0,204	0,225	0,203	0,254	0,215
1992	0,27	0,254	0,223	0,222	0,229	0,221	0,228	0,22	0,22	0,243	0,219	0,225	0,231
1993	0,218	0,224	0,217	0,216	0,223	0,215	0,222	0,214	0,214	0,236	0,213	0,219	0,219
1994	0,212	0,218	0,211	0,21	0,217	0,21	0,216	0,209	0,208	0,23	0,207	0,214	0,213
1995	0,295	0,236	0,228	0,229	0,235	0,227	0,234	0,226	0,225	0,249	0,224	0,231	0,236
1996	0,223	0,23	0,222	0,267	0,238	0,23	0,237	0,229	0,228	0,252	0,227	0,234	0,235
1997	0,263	0,304	0,246	0,249	0,292	0,251	0,256	0,247	0,247	0,279	0,246	0,253	0,261
1998	0,245	0,266	0,243	0,243	0,25	0,242	0,249	0,241	0,24	0,265	0,239	0,247	0,247
1999	0,238	0,267	0,239	0,237	0,244	0,236	0,243	0,235	0,234	0,259	0,233	0,241	0,242
2000	0,232	0,262	0,258	0,244	0,241	0,233	0,24	0,232	0,232	0,255	0,235	0,237	0,242
PROM	0,216	0,224	0,218	0,219	0,226	0,218	0,225	0,217	0,217	0,239	0,216	0,223	0,225

Tabla C-3. Escorrentía subterránea calculada para la subcuenca A-1.

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,229	0,236	0,228	0,228	0,235	0,227	0,234	0,226	0,225	0,249	0,224	0,231	0,231
1975	0,223	0,23	0,222	0,222	0,228	0,221	0,227	0,22	0,219	0,242	0,218	0,225	0,225
1976	0,217	0,224	0,216	0,216	0,223	0,215	0,222	0,214	0,214	0,236	0,213	0,219	0,219
1977	0,212	0,218	0,211	0,21	0,217	0,209	0,216	0,208	0,208	0,23	0,207	0,213	0,213
1978	0,206	0,213	0,205	0,205	0,211	0,204	0,21	0,203	0,203	0,224	0,202	0,208	0,208
1979	0,201	0,207	0,2	0,199	0,206	0,199	0,205	0,198	0,197	0,218	0,196	0,203	0,202
1980	0,196	0,202	0,205	0,215	0,222	0,214	0,221	0,213	0,213	0,235	0,212	0,218	0,214
1981	0,211	0,217	0,21	0,209	0,216	0,208	0,215	0,208	0,207	0,229	0,206	0,213	0,212
1982	0,205	0,212	0,204	0,204	0,21	0,203	0,209	0,202	0,202	0,223	0,201	0,207	0,207
1983	0,2	0,206	0,208	0,219	0,228	0,22	0,227	0,219	0,218	0,241	0,223	0,235	0,22
1984	0,227	0,234	0,226	0,226	0,233	0,225	0,232	0,224	0,223	0,247	0,222	0,229	0,229
1985	0,221	0,228	0,22	0,22	0,227	0,219	0,226	0,218	0,217	0,24	0,217	0,223	0,223
1986	0,216	0,222	0,215	0,214	0,221	0,213	0,22	0,212	0,212	0,234	0,212	0,22	0,217
1987	0,212	0,219	0,216	0,221	0,227	0,22	0,226	0,219	0,218	0,241	0,217	0,224	0,221
1988	0,216	0,223	0,215	0,215	0,221	0,214	0,22	0,213	0,212	0,235	0,211	0,218	0,218
1989	0,21	0,217	0,21	0,209	0,216	0,208	0,215	0,207	0,207	0,228	0,206	0,212	0,212
1990	0,205	0,211	0,204	0,204	0,21	0,203	0,209	0,202	0,201	0,222	0,2	0,207	0,206
1991	0,2	0,21	0,206	0,206	0,212	0,205	0,211	0,204	0,204	0,225	0,203	0,212	0,208
1992	0,215	0,229	0,223	0,222	0,229	0,221	0,228	0,22	0,22	0,243	0,219	0,225	0,224
1993	0,218	0,224	0,217	0,216	0,223	0,215	0,222	0,214	0,214	0,236	0,213	0,219	0,219
1994	0,212	0,218	0,211	0,21	0,217	0,21	0,216	0,209	0,208	0,23	0,207	0,214	0,213
1995	0,218	0,236	0,228	0,228	0,235	0,227	0,234	0,226	0,225	0,249	0,224	0,231	0,23
1996	0,223	0,23	0,222	0,226	0,238	0,23	0,237	0,229	0,228	0,252	0,227	0,234	0,231
1997	0,228	0,246	0,246	0,245	0,255	0,248	0,256	0,247	0,247	0,273	0,246	0,253	0,249
1998	0,245	0,252	0,243	0,243	0,25	0,242	0,249	0,241	0,24	0,265	0,239	0,247	0,246
1999	0,238	0,246	0,238	0,237	0,244	0,236	0,243	0,235	0,234	0,259	0,233	0,241	0,24
2000	0,232	0,24	0,233	0,234	0,241	0,233	0,24	0,232	0,231	0,255	0,23	0,237	0,236
PROM	0,216	0,224	0,218	0,219	0,226	0,218	0,225	0,217	0,217	0,239	0,216	0,223	0,221

Tabla C-4. Percolación calculada para la subcuenca A-1.

<b>PERCOLACIÓN</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	2,39	0,01
1977	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0,19	0,001
1979	0	0	2,08	5,69	0,032
1980	49,81	53,93	60,99	0	0,77
1981	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0
1983	71,08	79,07	93,88	30,54	1,273
1984	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0
1986	1,66	3,1	5,55	9,65	0,092
1987	22,97	25,59	30,09	0	0,369
1988	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0
1991	27,48	31,7	38,92	19,99	0,547
1992	25,14	29,22	36,22	35,82	0,578
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	40,08	43,66	49,79	60,01	0,874
1996	21,96	24,53	28,93	0	0,354
1997	49,95	56,76	68,43	28,09	0,942
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0,8	3,04	0	0,02
2000	4	6,9	11,88	0	0,113
PROM	11,63	13,16	15,92	7,13	0,221

Tabla C-5. Escorrentía superficial calculada para la subcuenca A-1.

<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0,11	0,12	0,13	0,14	0,002
1975	0,08	0,08	0,09	0	0,001
1976	0,21	0,22	0,24	0,27	0,004
1977	0,08	0,09	0,1	0	0,001
1978	0,09	0,1	0,11	0,12	0,002
1979	0,11	0,12	0,13	0,15	0,002
1980	0,37	0,39	0,43	0	0,006
1981	0,09	0,1	0,11	0	0,001
1982	0,08	0,09	0,1	0,11	0,002
1983	0,89	0,94	1,02	0,35	0,015
1984	0,06	0,07	0,07	0	0,001
1985	0	0	0	0	0
1986	0,13	0,14	0,15	0,17	0,003
1987	0,24	0,25	0,27	0	0,004
1988	0	0	0	0	0
1989	0,08	0,09	0,1	0,03	0,001
1990	0	0	0	0	0
1991	0,39	0,41	0,45	0,23	0,007
1992	0,37	0,39	0,42	0,3	0,007
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	0,33	0,35	0,38	0,42	0,007
1996	0,23	0,24	0,27	0	0,003
1997	0,67	0,71	0,77	0,43	0,012
1998	0,07	0,08	0,09	0	0,001
1999	0,13	0,13	0,15	0	0,002
2000	0,35	0,36	0,4	0,03	0,005
PROM	0,19	0,2	0,22	0,1	0,003

## Subcuenca A-2

Tabla C-6. Escorrentía total calculada para la subcuenca A-2.

ESCORRENTÍA TOTAL (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,088	0,09	0,087	0,087	0,095	0,087	0,089	0,086	0,086	0,095	0,09	0,088	0,089
1975	0,085	0,094	0,085	0,085	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,093	0,083	0,086	0,086
1976	0,087	0,086	0,083	0,083	0,094	0,082	0,085	0,082	0,082	0,09	0,081	0,089	0,085
1977	0,081	0,083	0,086	0,08	0,083	0,08	0,083	0,08	0,08	0,088	0,079	0,082	0,082
1978	0,079	0,081	0,078	0,078	0,081	0,078	0,08	0,078	0,077	0,086	0,085	0,08	0,08
1979	0,077	0,079	0,076	0,076	0,079	0,076	0,078	0,076	0,075	0,083	0,075	0,087	0,078
1980	0,075	0,077	0,11	0,084	0,087	0,084	0,086	0,083	0,083	0,092	0,083	0,085	0,086
1981	0,082	0,085	0,082	0,088	0,084	0,081	0,084	0,081	0,081	0,089	0,081	0,083	0,083
1982	0,08	0,083	0,08	0,08	0,089	0,079	0,082	0,079	0,079	0,087	0,078	0,081	0,081
1983	0,083	0,088	0,11	0,098	0,09	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,105	0,093	0,093
1984	0,09	0,097	0,089	0,089	0,092	0,089	0,091	0,088	0,088	0,097	0,088	0,09	0,091
1985	0,087	0,09	0,087	0,087	0,089	0,086	0,089	0,086	0,086	0,095	0,085	0,088	0,088
1986	0,085	0,088	0,085	0,084	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,092	0,094	0,087	0,087
1987	0,084	0,086	0,105	0,088	0,09	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,086	0,089	0,089
1988	0,086	0,089	0,086	0,085	0,088	0,085	0,088	0,085	0,084	0,093	0,084	0,087	0,086
1989	0,084	0,086	0,083	0,087	0,087	0,083	0,085	0,082	0,082	0,091	0,082	0,084	0,085
1990	0,081	0,084	0,081	0,081	0,083	0,081	0,083	0,08	0,08	0,088	0,08	0,082	0,082
1991	0,079	0,097	0,082	0,082	0,084	0,081	0,084	0,082	0,081	0,089	0,08	0,098	0,085
1992	0,103	0,099	0,087	0,087	0,089	0,086	0,089	0,086	0,086	0,095	0,085	0,088	0,09
1993	0,085	0,088	0,085	0,084	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,092	0,083	0,086	0,086
1994	0,083	0,085	0,082	0,082	0,085	0,082	0,084	0,082	0,081	0,09	0,081	0,083	0,083
1995	0,111	0,091	0,088	0,088	0,091	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,086	0,089	0,091
1996	0,086	0,089	0,086	0,102	0,092	0,088	0,091	0,088	0,088	0,097	0,087	0,09	0,09
1997	0,1	0,115	0,094	0,095	0,11	0,096	0,098	0,094	0,094	0,106	0,094	0,097	0,099
1998	0,093	0,101	0,093	0,093	0,096	0,092	0,095	0,092	0,092	0,101	0,091	0,094	0,094
1999	0,091	0,102	0,091	0,09	0,093	0,09	0,093	0,09	0,089	0,099	0,089	0,092	0,092
2000	0,089	0,1	0,101	0,093	0,092	0,089	0,092	0,089	0,089	0,098	0,09	0,091	0,093
PROM	0,084	0,087	0,085	0,085	0,088	0,085	0,087	0,084	0,084	0,093	0,084	0,087	0,087

Tabla C-7. Escorrentía subterránea calculada para la subcuenca A-2.

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,088	0,09	0,087	0,087	0,09	0,087	0,089	0,086	0,086	0,095	0,086	0,088	0,088
1975	0,085	0,088	0,085	0,085	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,093	0,083	0,086	0,086
1976	0,083	0,086	0,083	0,083	0,085	0,082	0,085	0,082	0,082	0,09	0,081	0,084	0,084
1977	0,081	0,083	0,081	0,08	0,083	0,08	0,083	0,08	0,08	0,088	0,079	0,082	0,082
1978	0,079	0,081	0,078	0,078	0,081	0,078	0,08	0,078	0,077	0,086	0,077	0,08	0,079
1979	0,077	0,079	0,076	0,076	0,079	0,076	0,078	0,076	0,075	0,083	0,075	0,078	0,077
1980	0,075	0,077	0,079	0,084	0,087	0,084	0,086	0,083	0,083	0,092	0,083	0,085	0,083
1981	0,082	0,085	0,082	0,082	0,084	0,081	0,084	0,081	0,081	0,089	0,081	0,083	0,083
1982	0,08	0,083	0,08	0,08	0,082	0,079	0,082	0,079	0,079	0,087	0,078	0,081	0,081
1983	0,078	0,081	0,082	0,087	0,09	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,088	0,093	0,087
1984	0,09	0,092	0,089	0,089	0,092	0,089	0,091	0,088	0,088	0,097	0,088	0,09	0,09
1985	0,087	0,09	0,087	0,087	0,089	0,086	0,089	0,086	0,086	0,095	0,085	0,088	0,088
1986	0,085	0,088	0,085	0,084	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,092	0,084	0,087	0,086
1987	0,084	0,086	0,086	0,088	0,09	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,086	0,089	0,088
1988	0,086	0,089	0,086	0,085	0,088	0,085	0,088	0,085	0,084	0,093	0,084	0,087	0,086
1989	0,084	0,086	0,083	0,083	0,086	0,083	0,085	0,082	0,082	0,091	0,082	0,084	0,084
1990	0,081	0,084	0,081	0,081	0,083	0,081	0,083	0,08	0,08	0,088	0,08	0,082	0,082
1991	0,079	0,083	0,082	0,082	0,084	0,081	0,084	0,081	0,081	0,089	0,08	0,084	0,082
1992	0,084	0,09	0,087	0,087	0,089	0,086	0,089	0,086	0,086	0,095	0,085	0,088	0,088
1993	0,085	0,088	0,085	0,084	0,087	0,084	0,087	0,084	0,084	0,092	0,083	0,086	0,086
1994	0,083	0,085	0,082	0,082	0,085	0,082	0,084	0,082	0,081	0,09	0,081	0,083	0,083
1995	0,085	0,091	0,088	0,088	0,091	0,087	0,09	0,087	0,087	0,096	0,086	0,089	0,089
1996	0,086	0,089	0,086	0,087	0,092	0,088	0,091	0,088	0,088	0,097	0,087	0,09	0,089
1997	0,088	0,094	0,094	0,094	0,097	0,095	0,098	0,094	0,094	0,104	0,094	0,097	0,095
1998	0,093	0,096	0,093	0,093	0,096	0,092	0,095	0,092	0,092	0,101	0,091	0,094	0,094
1999	0,091	0,094	0,091	0,09	0,093	0,09	0,093	0,09	0,089	0,099	0,089	0,092	0,092
2000	0,089	0,092	0,089	0,089	0,092	0,089	0,092	0,089	0,088	0,098	0,088	0,091	0,09
PROM	0,084	0,087	0,085	0,085	0,088	0,085	0,087	0,084	0,084	0,093	0,084	0,087	0,086

Tabla C-8. Percolación calculada para la subcuenca A-2.

PERCOLACIÓN					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	1,75	0,002
1977	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0
1979	0	0,45	2,26	4,97	0,01
1980	50,98	55,69	61,58	70,41	0,366
1981	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0
1983	73,37	82,5	95,2	92,12	0,529
1984	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0
1986	2,07	3,71	5,76	8,83	0,029
1987	23,72	26,71	30,46	36,08	0,178
1988	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0
1991	28,69	33,51	39,53	18,91	0,191
1992	26,3	30,97	36,8	34,36	0,198
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	41,1	45,19	50,3	57,97	0,298
1996	22,69	25,63	29,29	0	0,128
1997	51,89	59,68	69,4	26,24	0,331
1998	0	0	0	0	0
1999	0	1,36	3,23	0	0,007
2000	4,83	8,15	12,3	11,4	0,055
PROM	12,06	13,83	16,15	13,45	0,086

Tabla C-9. Escorrentía superficial calculada para la subcuenca A-2.

<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0,11	0,12	0,13	0,14	0,001
1975	0,08	0,08	0,09	0,1	0,001
1976	0,21	0,22	0,24	0,26	0,001
1977	0,09	0,09	0,1	0	0
1978	0,09	0,1	0,11	0,12	0,001
1979	0,12	0,12	0,13	0,15	0,001
1980	0,38	0,4	0,43	0,47	0,003
1981	0,09	0,1	0,11	0	0,001
1982	0,08	0,09	0,1	0,11	0,001
1983	0,9	0,96	1,03	0,78	0,006
1984	0,06	0,07	0,07	0	0
1985	0	0	0	0	0
1986	0,13	0,14	0,15	0,16	0,001
1987	0,24	0,25	0,27	0,3	0,002
1988	0	0	0	0	0
1989	0,08	0,09	0,1	0,03	0
1990	0	0	0	0	0
1991	0,39	0,42	0,45	0,23	0,002
1992	0,37	0,4	0,43	0,29	0,002
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	0,34	0,36	0,38	0,41	0,002
1996	0,23	0,25	0,27	0	0,001
1997	0,68	0,73	0,78	0,42	0,004
1998	0,08	0,08	0,09	0	0
1999	0,13	0,14	0,15	0,01	0,001
2000	0,35	0,37	0,4	0,21	0,002
PROM	0,19	0,21	0,22	0,16	0,001

### Subcuenca A-3

Tabla C-10. Escorrentía total calculada para la subcuenca A-3.

ESCORRENTÍA TOTAL (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,026	0,025	0,028	0,026	0,026	0,026
1975	0,025	0,028	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,026
1976	0,026	0,025	0,024	0,024	0,028	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,026	0,025
1977	0,024	0,025	0,026	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1978	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,025	0,023	0,024
1979	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,025	0,022	0,026	0,023
1980	0,022	0,023	0,032	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1981	0,024	0,025	0,024	0,026	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,025
1982	0,024	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1983	0,024	0,026	0,032	0,029	0,027	0,026	0,026	0,026	0,025	0,028	0,031	0,027	0,027
1984	0,026	0,029	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,027
1985	0,026	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1986	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,027	0,025	0,025
1987	0,024	0,025	0,031	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1988	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,027	0,024	0,025	0,025
1989	0,025	0,025	0,024	0,026	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,025	0,025
1990	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1991	0,023	0,029	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,029	0,025
1992	0,03	0,03	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1993	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1994	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1995	0,032	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1996	0,025	0,026	0,025	0,031	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,027
1997	0,029	0,036	0,028	0,028	0,033	0,028	0,029	0,028	0,028	0,032	0,028	0,029	0,03
1998	0,028	0,03	0,028	0,027	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,03	0,027	0,028	0,028
1999	0,027	0,031	0,027	0,027	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,029	0,026	0,027	0,027
2000	0,026	0,03	0,03	0,028	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,029	0,027	0,027	0,027
PROM	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,026

Tabla C-11. Escorrentía subterránea calculada para la subcuenca A-3.

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,026	0,027	0,026	0,026	0,027	0,026	0,026	0,026	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1975	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,025
1976	0,025	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1977	0,024	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1978	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,023	0,023
1979	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,025	0,022	0,023	0,023
1980	0,022	0,023	0,023	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,024
1981	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1982	0,024	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1983	0,023	0,024	0,024	0,025	0,027	0,026	0,026	0,026	0,025	0,028	0,026	0,027	0,026
1984	0,026	0,027	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,026
1985	0,026	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1986	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1987	0,024	0,025	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1988	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,027	0,024	0,025	0,025
1989	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,025	0,024
1990	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1991	0,023	0,024	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,025	0,024
1992	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1993	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1994	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1995	0,025	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1996	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,026
1997	0,026	0,028	0,028	0,028	0,029	0,028	0,029	0,028	0,028	0,031	0,028	0,029	0,028
1998	0,028	0,029	0,028	0,027	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,03	0,027	0,028	0,028
1999	0,027	0,028	0,027	0,027	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,029	0,026	0,027	0,027
2000	0,026	0,027	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,029	0,026	0,027	0,027
PROM	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,025

Tabla C-12. Percolación calculada para la subcuenca A-3.

PERCOLACIÓN					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0
1979	0	0	0,45	1,9	0,001
1980	48,63	52,16	55,69	60,4	0,104
1981	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0
1983	68,8	75,65	82,5	92,57	0,152
1984	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0
1986	1,26	2,48	3,71	5,35	0,006
1987	22,22	24,47	26,71	29,71	0,049
1988	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0
1991	26,28	29,89	33,51	38,32	0,061
1992	23,97	27,47	30,97	35,64	0,056
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	39,06	42,12	45,19	49,28	0,084
1996	21,23	23,43	25,63	28,56	0,047
1997	48	53,84	59,68	67,46	0,109
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0,23	1,36	2,86	0,002
2000	3,24	5,66	8,15	11,47	0,013
PROM	11,21	12,5	13,83	15,69	0,025

Tabla C-13. Escorrentía superficial calculada para la subcuenca A-3.

<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0,11	0,11	0,12	0,13	0
1975	0,07	0,08	0,08	0,09	0
1976	0,2	0,21	0,22	0,24	0
1977	0,08	0,09	0,09	0,1	0
1978	0,09	0,1	0,1	0,11	0
1979	0,11	0,12	0,12	0,13	0
1980	0,36	0,38	0,4	0,42	0,001
1981	0,09	0,1	0,1	0,11	0
1982	0,08	0,09	0,09	0,09	0
1983	0,87	0,91	0,96	1,01	0,002
1984	0,06	0,07	0,07	0,07	0
1985	0	0	0	0	0
1986	0,13	0,13	0,14	0,15	0
1987	0,23	0,24	0,25	0,27	0
1988	0	0	0	0	0
1989	0,08	0,09	0,09	0,1	0
1990	0	0	0	0	0
1991	0,38	0,4	0,42	0,44	0,001
1992	0,36	0,38	0,4	0,42	0,001
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	0,33	0,34	0,36	0,38	0,001
1996	0,23	0,24	0,25	0,26	0
1997	0,66	0,69	0,73	0,77	0,001
1998	0,07	0,08	0,08	0,08	0
1999	0,12	0,13	0,14	0,14	0
2000	0,34	0,36	0,37	0,4	0,001
PROM	0,19	0,2	0,21	0,22	0

### Subcuenca A-4

Tabla C-14. Escorrentía total calculada para la subcuenca A-4.

<b>ESCORRENTÍA TOTAL (m<sup>3</sup>/s)</b>													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,026	0,025	0,026
1975	0,025	0,027	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1976	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,024	0,024	0,024	0,026	0,023	0,026	0,024
1977	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,023	0,024
1978	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,025	0,024	0,023	0,023
1979	0,022	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,024	0,022	0,025	0,022
1980	0,022	0,022	0,031	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1981	0,023	0,024	0,023	0,025	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,024	0,024
1982	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,023	0,023	0,022	0,025	0,022	0,023	0,023
1983	0,024	0,025	0,031	0,028	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,03	0,026	0,026
1984	0,025	0,028	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1985	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1986	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,027	0,025	0,025
1987	0,024	0,024	0,029	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1988	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1989	0,024	0,024	0,024	0,025	0,025	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1990	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,023	0,023	0,023	0,025	0,022	0,023	0,023
1991	0,022	0,028	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,028	0,024
1992	0,029	0,029	0,025	0,025	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,026
1993	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1994	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,024	0,024
1995	0,031	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,027	0,024	0,025	0,026
1996	0,024	0,025	0,024	0,03	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1997	0,028	0,034	0,027	0,028	0,031	0,028	0,028	0,027	0,027	0,031	0,027	0,028	0,029
1998	0,027	0,029	0,027	0,027	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,029	0,026	0,027	0,027
1999	0,026	0,03	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,027
2000	0,026	0,029	0,029	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,027
PROM	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025

Tabla C-15. Escorrentía subterránea calculada para la subcuenca A-4.

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,025
1975	0,025	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1976	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,026	0,023	0,024	0,024
1977	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,023	0,023
1978	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,025	0,022	0,023	0,023
1979	0,022	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022	0,023	0,022	0,022	0,024	0,022	0,022	0,022
1980	0,022	0,022	0,023	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1981	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,024	0,024
1982	0,023	0,024	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,025	0,022	0,023	0,023
1983	0,022	0,023	0,023	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	0,026	0,025
1984	0,025	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
1985	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1986	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,025	0,024
1987	0,024	0,024	0,024	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1988	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1989	0,024	0,024	0,024	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,026	0,023	0,024	0,024
1990	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,023	0,023	0,023	0,025	0,022	0,023	0,023
1991	0,022	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,024	0,023
1992	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025
1993	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,026	0,024	0,024	0,024
1994	0,023	0,024	0,023	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,023	0,025	0,023	0,024	0,024
1995	0,024	0,026	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,027	0,024	0,025	0,025
1996	0,024	0,025	0,024	0,025	0,026	0,025	0,026	0,025	0,025	0,028	0,025	0,026	0,025
1997	0,025	0,027	0,027	0,027	0,028	0,027	0,028	0,027	0,027	0,03	0,027	0,028	0,027
1998	0,027	0,028	0,027	0,027	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,029	0,026	0,027	0,027
1999	0,026	0,027	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,026
2000	0,026	0,026	0,026	0,026	0,027	0,026	0,026	0,026	0,025	0,028	0,025	0,026	0,026
PROM	0,024	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	0,024	0,027	0,024	0,025	0,025

Tabla C-16. Percolación calculada para la subcuenca A-4.

<b>PERCOLACIÓN</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0,79	0
1977	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0
1979	0	0,45	2,08	3,88	0,001
1980	52,16	55,69	60,99	66,88	0,098
1981	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0
1983	75,65	82,5	93,88	107,03	0,147
1984	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0
1986	2,48	3,71	5,55	7,6	0,007
1987	24,47	26,71	30,09	33,83	0,047
1988	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0
1991	29,89	33,51	38,92	44,95	0,059
1992	27,47	30,97	36,22	42,05	0,055
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	42,12	45,19	49,79	54,9	0,08
1996	23,43	25,63	28,93	32,59	0,045
1997	53,84	59,68	68,43	78,16	0,106
1998	0	0	0	0	0
1999	0,23	1,36	3,04	4,92	0,003
2000	5,66	8,15	11,88	16,03	0,015
PROM	12,5	13,83	15,92	18,28	0,025

Tabla C-17. Escorrentía superficial calculada para la subcuenca A-4.

<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>					
Año	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Caudal
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0,11	0,12	0,13	0,13	0
1975	0,08	0,08	0,09	0,09	0
1976	0,21	0,22	0,24	0,25	0
1977	0,09	0,09	0,1	0	0
1978	0,1	0,1	0,11	0,11	0
1979	0,12	0,12	0,13	0,14	0
1980	0,38	0,4	0,43	0,46	0,001
1981	0,1	0,1	0,11	0,11	0
1982	0,09	0,09	0,1	0,1	0
1983	0,91	0,96	1,02	1,09	0,002
1984	0,07	0,07	0,07	0,08	0
1985	0	0	0	0	0
1986	0,13	0,14	0,15	0,16	0
1987	0,24	0,25	0,27	0,29	0
1988	0	0	0	0	0
1989	0,09	0,09	0,1	0,1	0
1990	0	0	0	0	0
1991	0,4	0,42	0,45	0,48	0,001
1992	0,38	0,4	0,42	0,45	0,001
1993	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0
1995	0,34	0,36	0,38	0,41	0,001
1996	0,24	0,25	0,27	0,28	0
1997	0,69	0,73	0,77	0,83	0,001
1998	0,08	0,08	0,09	0,09	0
1999	0,13	0,14	0,15	0,16	0
2000	0,36	0,37	0,4	0,43	0,001
PROM	0,2	0,21	0,22	0,23	0

### Subcuenca P-1

Tabla C-18. Escorrentía total calculada para la subcuenca P-1.

<b>ESCORRENTÍA TOTAL (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>Año</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>PROM</b>
1974	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1975	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1976	0,015	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015
1977	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1978	0,013	0,014	0,013	0,013	0,014	0,013	0,014	0,013	0,013	0,015	0,015	0,014	0,014
1979	0,013	0,014	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,013	0,015	0,013
1980	0,013	0,013	0,019	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1981	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1982	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,013	0,013	0,015	0,013	0,014	0,014
1983	0,014	0,015	0,019	0,017	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,018	0,016	0,016
1984	0,015	0,017	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,015	0,015
1985	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1986	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,016	0,015	0,015
1987	0,014	0,015	0,018	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1988	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1989	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1990	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,013	0,014	0,014
1991	0,013	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,017	0,014
1992	0,018	0,017	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,014	0,015	0,015
1993	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,014
1994	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1995	0,019	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1996	0,015	0,015	0,014	0,018	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,015	0,015
1997	0,017	0,021	0,016	0,017	0,019	0,017	0,017	0,016	0,016	0,018	0,016	0,017	0,017
1998	0,016	0,018	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016	0,016
1999	0,016	0,018	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,016	0,016
2000	0,015	0,018	0,017	0,016	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,016	0,016
<b>PROM</b>	<b>0,015</b>	<b>0,016</b>	<b>0,015</b>	<b>0,015</b>	<b>0,015</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>	<b>0,014</b>	<b>0,014</b>	<b>0,016</b>	<b>0,015</b>	<b>0,015</b>	<b>0,015</b>

Tabla C-19. Escorrentía subterránea calculada para la subcuenca P-1.

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (m <sup>3</sup> /s)													
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	PROM
1974	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1975	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1976	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1977	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1978	0,013	0,014	0,013	0,013	0,014	0,013	0,014	0,013	0,013	0,015	0,013	0,014	0,014
1979	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,013	0,013	0,013
1980	0,013	0,013	0,013	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,014	0,014
1981	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1982	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,014	0,013	0,013	0,015	0,013	0,014	0,014
1983	0,013	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016	0,015
1984	0,015	0,016	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1985	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,014	0,015	0,015
1986	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1987	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1988	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1989	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1990	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,015	0,013	0,014	0,014
1991	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1992	0,014	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015
1993	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,014	0,014
1994	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014
1995	0,014	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015
1996	0,014	0,015	0,014	0,015	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,015	0,015
1997	0,015	0,016	0,016	0,016	0,017	0,016	0,017	0,016	0,016	0,018	0,016	0,017	0,016
1998	0,016	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016	0,016
1999	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,016	0,016
2000	0,015	0,016	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,015	0,015
PROM	0,014	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,014	0,014	0,016	0,014	0,015	0,015

Tabla C-20. Percolación calculada para la subcuenca P-1.

<b>PERCOLACIÓN</b>			
Año	Banda1	Banda2	Caudal
	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0	0	0
1975	0	0	0
1976	0	0	0
1977	0	0	0
1978	0	0	0
1979	0	0	0
1980	49,36	51,43	0,062
1981	0	0	0
1982	0	0	0
1983	70,22	74,23	0,089
1984	0	0	0
1985	0	0	0
1986	1,51	2,23	0,003
1987	22,68	24	0,029
1988	0	0	0
1989	0	0	0
1990	0	0	0
1991	27,03	29,15	0,035
1992	24,69	26,75	0,032
1993	0	0	0
1994	0	0	0
1995	39,69	41,49	0,05
1996	21,68	22,97	0,028
1997	49,21	52,63	0,063
1998	0	0	0
1999	0	0	0
2000	3,69	5,15	0,006
PROM	11,47	12,22	0,015

Tabla C-21. Escorrentía superficial calculada para la subcuenca P-1.

<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>			
Año	Banda1	Banda2	Caudal
	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1974	0,11	0,11	0
1975	0,08	0,08	0
1976	0,21	0,21	0
1977	0,08	0,09	0
1978	0,09	0,09	0
1979	0,11	0,12	0
1980	0,37	0,38	0
1981	0,09	0,09	0
1982	0,08	0,08	0
1983	0,88	0,91	0,001
1984	0,06	0,06	0
1985	0	0	0
1986	0,13	0,13	0
1987	0,23	0,24	0
1988	0	0	0
1989	0,08	0,09	0
1990	0	0	0
1991	0,39	0,4	0
1992	0,37	0,38	0
1993	0	0	0
1994	0	0	0
1995	0,33	0,34	0
1996	0,23	0,24	0
1997	0,67	0,69	0,001
1998	0,07	0,08	0
1999	0,13	0,13	0
2000	0,34	0,35	0
PROM	0,19	0,2	0