

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



***“MODELAMIENTO HIDROGEOLOGICO PARA ESTIMAR EL  
CAUDAL OPTIMO DE LA PARTE BAJA DEL ACUIFERO DEL  
VALLE DEL RIO LURÍN”***

***TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL***

***Presentado por:***

***Paul Jhonatan Díaz Jara***

***LIMA – PERÚ***

***2015***

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“MODELAMIENTO HIDROGEOLOGICO PARA ESTIMAR EL CAUDAL OPTIMO DE  
LA PARTE BAJA DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RÍO LURÍN”

Autor:

Paul Jhonatan Diaz Jara  
Bachiller en Ingeniería Civil

Asesor:

Ing. Aliaga Diaz, Reuter

*LIMA – PERÚ*  
*2015*

Dedico esta tesis a Dios por su infinita bondad y paciencia conmigo, a mis padres y hermanos quienes con su amor, y apoyo supieron siempre aconsejarme a lo largo de mi vida, y aquellas personas que con su apoyo profesional hicieron realidad esta tesis. Con Cariño a Talin.

Paul Jhonatan Díaz Jara

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I GENERALIDADES.....	2
1.1 TEMATIZACIÓN .....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.3.1 OBJETIVOS GENERALES .....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
1.4 IMPORTANCIA .....	3
1.5 METODOLOGIA .....	4
CAPITULO II FUNDAMENTO TEORICO .....	5
2.1 CICLO HIDROLOGICO.....	5
2.1.1 PRECIPITACIÓN .....	5
2.1.2 INFILTRACIÓN .....	6
2.1.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL.....	6
2.1.4 ESCORRENTIA SUBTERRANEA .....	6
2.1.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	7
2.1.6 TEMPERATURA .....	7
2.1.7 SALIDA AL MAR.....	7
2.2 HIDROLOGIA SUBTERRANEA.....	10
2.3 TIPOS DE FORMACIONES GEOLOGICAS.....	10
2.3.1 ACUIFEROS .....	10
2.3.2 ACUITARDOS.....	11
2.3.3 ACUICLUDOS.....	11
2.3.4 ACUIFUGO .....	11
2.3.5 ACUIFEROS LIBRE.....	12
2.3.6 ACUIFEROS CONFINADOS .....	13
2.3.7 ACUIFEROS SEMICONFINADOS .....	13
2.4 PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS .....	14

2.4.1 POROSIDAD.....	14
2.4.2 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO .....	15
2.4.3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K) .....	16
2.4.4 COEFICIENTE DE TRANSMISIVIDAD (T) .....	18
2.5 LEY DE DARCY .....	19
2.6 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD .....	21
2.6.1 FLUJO PERMANENTE .....	21
2.6.2 FLUJO NO PERMANENTE.....	22
2.7 SUPERFICIES PIEZOMETRICAS .....	26
2.7.1 LINEAS EQUIPOTENCIALES.....	26
2.7.2 LINEAS DE FLUJO .....	26
2.7.3 LINEAS DE FLUJO EN UN RIO.....	27
CAPITULO III CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL ACUIFERO .....	28
3.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	28
3.2 ESTATIGRAFIA .....	28
3.3 GEOMORFOLOGICA .....	32
3.4 HIDROLOGIA LOCAL.....	35
3.4.1 CLIMATOLOGIA .....	35
3.5 HIDROLOGIA DEL RÍO LURÍN.....	37
3.5.1 CAUDALES.....	39
3.6 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS .....	40
3.6.1 LITOLOGÍA DEL ACUIFERO .....	40
3.7 PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO ROCOSO .....	41
3.8 PARAMETROS HIDRAULICOS.....	44
3.9 INVENTARIOS DE FUENTES DE AGUA .....	46
3.10 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA – FUENTE INRENA.....	47
3.11 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA – FUENTE SEDAPAL.....	52
3.12 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO .....	53
3.13 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO – FUENTE INRENA .....	53
3.14 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO – FUENTE SEDAPAL .....	54
3.15 EXPLOTACION DEL ACUIFERO DE LURÍN POR USO AÑO 2007 .....	55
3.16 BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO DE LURÍN .....	55

3.17 RECARGA DEL ACUIFERO .....	56
3.17.1 RECARGA DIRECTA.....	56
3.17.2 RECARGA INDIRECTA .....	56
3.18 DESCARGA DEL ACUIFERO.....	57
3.18.1 DESCARGA ARTIFICIAL.....	57
3.18.2 DESCARGA NATURAL .....	57
3.19 BALANCE HIDRICO FINAL .....	58
3.20 INTERPRETACIÓN DEL NIVEL PIEZOMETRICO .....	58
3.21 HIDROGRAMAS DE LA VARIACIÓN DE LA NAPA EN POZOS DE OBSERVACIÓN REPRESENTATIVOS DEL VALLE DE LURÍN .....	59
CAPITULO IV CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA.....	66
4.1 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL.....	66
4.1.1 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA.....	67
4.1.2 FLUCTUACIONES DEL NIVEL PIEZOMETRICO .....	68
4.1.3 ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA.....	68
4.2 MODELO HIDROGEOLOGICO NUMÉRICO.....	68
4.2.1 MALLA DEL MODELO.....	69
4.2.2 LIMITES DEL MODELO.....	69
4.2.3 PARAMETROS HIDRAULICOS.....	70
4.2.3.1 PERMEABILIDAD .....	70
4.2.3.2 RIOS Y CONDUCTANCIA HIDRAULICA DEL RIO .....	71
4.2.3.3 RECARGA DEL SISTEMA.....	72
CAPITULO V CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	74
5.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	74
5.2 CALIBRACION DEL MODELO EN ESTADO PERMANENTE.....	74
5.2.1 PARAMETROS DEL ACUIFERO EN ESTADO PERMANENTE .....	75
5.2.2 RECARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO PERMANENTE .....	77
5.3 CALIBRACION DEL MODELO EN ESTADO NO PERMANENTE.....	78
5.3.1 CALIBRACION DE LOS PIEZOMETROS OBSERVADOS VERSUS LOS CALCULADOS POR EL MODELO.....	79
5.3.2 PARAMETROS DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE.....	93
5.3.3 RECARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE .....	96

5.3.4 DESCARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE.....	97
5.4 BALANCE DEL ACUIFERO.....	98
CAPITULO VI SIMULACION NUMERICA DEL MODELO.....	99
7.1 ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMETRICOS.....	99
7.2 BALANCE DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RÍO LURÍN PARA EL AÑO 2033.....	100
7.3 BALANCE DEL ACUIFERO PARA EL AÑO 2033 CON 7 POZOS DE EXPLOTACION.....	101
7.4 BALANCE DEL ACUIFERO PARA EL AÑO 2033 CON 10 POZOS DE EXPLOTACION.....	102
7.5 HIDRODINAMICA DEL ACUÍFERO DEBIDO A LA EXPLOTACIÓN.....	103
CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
7.1 CONCLUSIONES.....	108
7.2 RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111
ANEXO.....	112

## RELACIÓN DE FIGURAS

FIGURA N°1 CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA.....	09
FIGURA N°2 ACUÍFERO LIBRE.....	12
FIGURA N°3 ACUÍFERO CONFINADO.....	13
FIGURA N°4 ACUÍFERO SEMICONFINADO.....	14
FIGURA N°5 RECORRIDO DEL AGUA A TRAVÉS DEL SUELO.....	17
FIGURA N°6 VALORES DE PERMEABILIDAD.....	18
FIGURA N°7 EXPERIMENTO DE DARCY.....	20
FIGURA N°8 LÍNEAS DE FLUJO Y LAS LÍNEAS EQUIPOTENCIALES EN UN RIO.....	26
FIGURA N°9 RÍO EFLUENTE.....	27
FIGURA N°10 RÍO INFLUENTE.....	27
FIGURA N°11 HIDROGRAMA RIO LURIN.....	38
FIGURA N°12 CAUDALES MENSUALES RIO LURIN.....	39

FIGURA N°13 PERSISTENCIA DEL RÍO LURÍN – PUENTE ANTAPUCRO.....	56
FIGURA N°14 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°3 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO LURÍN).....	60
FIGURA N°15 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°95 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO LURÍN).....	60
FIGURA N°16 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°114 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO LURÍN).....	61
FIGURA N°17 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°254 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO LURÍN).....	61
FIGURA N°18 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°48 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO LURÍN).....	62
FIGURA N°19 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°237 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO PACHACAMAC) .....	62
FIGURA N°20 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°257 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO PACHACAMAC) .....	63
FIGURA N°21 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°174 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO PACHACAMAC) .....	63
FIGURA N°22 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°204 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO PACHACAMAC) .....	64
FIGURA N°23 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°403 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO CIENEGUILLA).....	64
FIGURA N°24 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°556 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO CIENEGUILLA).....	65
FIGURA N°25 EVOLUCIÓN ESTÁTICO POZO N°628 AÑOS 1998 - 2013 (DISTRITO CIENEGUILLA).....	65
FIGURA N°26 CALIBRACIÓN DEL MODELO EN ESTADO PERMANENTE .....	75
FIGURA N°27 PERMEABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE RÍO LURÍN .....	76
FIGURA N°28 RECARGA DEL ACUÍFERO DEL VALLE RÍO LURÍN.....	77
FIGURA N°29 CALIBRACIÓN DEL MODELO EN ESTADO NO PERMANENTE .....	78
FIGURA N°30 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°3, DISTRITO DE LURÍN .....	80
FIGURA N°31 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°10, DISTRITO DE LURÍN .....	80
FIGURA N°32 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°21, DISTRITO DE LURÍN .....	81
FIGURA N°33 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°28, DISTRITO DE LURÍN .....	81
FIGURA N°34 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°48, DISTRITO DE LURÍN .....	82

FIGURA N°35 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°49, DISTRITO DE LURÍN .....	82
FIGURA N°36 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°52, DISTRITO DE LURÍN .....	83
FIGURA N°37 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°67, DISTRITO DE LURÍN .....	83
FIGURA N°38 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°95, DISTRITO DE LURÍN .....	84
FIGURA N°39 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°97, DISTRITO DE LURÍN .....	84
FIGURA N°40 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°103, DISTRITO DE LURÍN .....	85
FIGURA N°41 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°167, DISTRITO DE LURÍN .....	85
FIGURA N°42 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°159, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	86
FIGURA N°43 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°171, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	86
FIGURA N°44 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°174, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	87
FIGURA N°45 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°228, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	87
FIGURA N°46 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°237, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	88
FIGURA N°47 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°243, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	88
FIGURA N°48 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°257, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	89
FIGURA N°49 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°273, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	89
FIGURA N°50 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°291, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	90
FIGURA N°51 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°311, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	90
FIGURA N°52 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°334, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	91
FIGURA N°53 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°432, DISTRITO DE PACHACAMAC.....	91

FIGURA N°54 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°403, DISTRITO DE CIENEGUILLA .....	92
FIGURA N°55 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°556, DISTRITO DE CIENEGUILLA .....	92
FIGURA N°56 CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL POZO N°628, DISTRITO DE CIENEGUILLA .....	93
FIGURA N°57 PARÁMETROS DE PERMEABILIDAD EN ESTADO PERMANENTE.....	94
FIGURA N°58 PARÁMETROS DE COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.....	95
FIGURA N°59 RECARGAS DEL ACUÍFERO EN ESTADO NO PERMANENTE.....	96
FIGURA N°60 DESCARGA DEL ACUÍFERO EN ESTADO NO PERMANENTE.....	97
FIGURA N°61 MUESTRA EL RESUMEN DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO PARA 7 Y 10 POZOS DE EXTRACCIÓN. ....	104
FIGURA N°62 MUESTRA EL RESUMEN DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO PARA 7 Y 10 POZOS DE EXTRACCIÓN. ....	105
FIGURA N°63 MUESTRA EL RESUMEN DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO PARA 7 Y 10 POZOS DE EXTRACCIÓN. ....	106
FIGURA N°64 MUESTRA EL RESUMEN DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO PARA 7 Y 10 POZOS DE EXTRACCIÓN .....	107

#### RELACIÓN DE TABLAS

TABLA N°1 FORMACIONES GEOLÓGICAS FRENTE AL AGUA.....	11
TABLA N°2 ESTACIONES HIDRO METEOROLÓGICAS.....	35
TABLA N°3 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.....	36
TABLA N°4 EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL .....	37
TABLA N° 5 PERSISTENCIA DEL RIO LURÍN .....	39
TABLA N°6 CAUDALES RIO LURÍN .....	40
TABLA N°7 DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR DISTRITO VALLE RÍO LURÍN .....	47
TABLA N°8 DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR SU TIPO VALLE RÍO LURÍN.....	48
TABLA N°9 DISTRIBUCIÓN DE POZOS UTILIZADOS SEGÚN SU TIPO VALLE RÍO LURÍN .....	48

TABLA N°10 DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR SU ESTADO VALLE RÍO LURÍN.....	49
TABLA N°11 DISTRIBUCIÓN DE POZOS UTILIZADOS SEGÚN EL TIPO DE USO HUMANO VALLE RÍO LURÍN .....	50
TABLA N°12 DISTRIBUCIÓN DE POZOS UTILIZADOS DE TIPO DOMESTICO VALLE RÍO LURÍN .....	50
TABLA N°13 DISTRIBUCIÓN DE POZOS UTILIZADOS DE TIPO AGRÍCOLA VALLE RÍO LURÍN .....	51
TABLA N°14 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MANANTIALES VALLE RÍO LURÍN .....	52
TABLA N°15 DISTRIBUCIÓN DE POZOS VALLE RÍO LURÍN .....	52
TABLA N°16 POZOS DE EXPLOTACIÓN POR SU USO VALLE RÍO LURÍN.....	54
TABLA N°17 DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR SU ESTADO VALLE RÍO LURÍN.....	54
TABLA N°18 EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE LURÍN POR USO AÑO 2007.....	55
TABLA N°19 CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES M3 PUENTE ANTAPUCRO VALLE RÍO LURÍN .....	55
TABLA N°20 RECARGA DIRECTA VALLE RÍO LURÍN.....	56
TABLA N°21 RECARGA INDIRECTA EN EL ÁREA BAJO RIEGO EN VALLE DEL RÍO LURÍN .....	57
TABLA N°22 BALANCE HÍDRICO .....	58
TABLA N°23 NIVELES PIEZÓMETROS POZOS DE OBSERVACIÓN VALLE RÍO LURÍN .....	59
TABLA N°24 PUNTOS DE CONTROL PIEZÓMETRICO.....	68
TABLA N°25 VALORES DE PERMEABILIDAD OBTENIDO DE LA CALIBRACIÓN .....	70
TABLA N°26 ESTIMACIÓN DE CONDUCTANCIA .....	71
TABLA N°27 RECARGA DEL SISTEMA AÑO 2013 .....	73
TABLA N°28 BALANCE DEL ACUÍFERO AÑO 2013 .....	98
TABLA N°29 NIVELES OBSERVADOS Y CALIBRADO PARA LOS AÑOS 2013 Y 2033.....	99
TABLA N°30 NIVELES OBSERVADOS Y CALIBRADO PARA LOS AÑO 2013 Y 2033, CON 7 POZOS INSTALADOS EN LA ZONA DE PACHACAMAC Y CIENEGUILLA.....	100
TABLA N°31 NIVELES OBSERVADOS Y CALIBRADO PARA LOS AÑO 2013 Y 2033, CON 10 POZOS INSTALADOS EN LA ZONA DE PACHACAMAC Y CIENEGUILLA.....	100
TABLA N°32 BALANCE DEL ACUÍFERO AÑO 2033 .....	101

TABLA N°33 BALANCE DEL ACUÍFERO AÑO 2033, 7 POZOS.....	102
TABLA N°34 BALANCE DEL ACUÍFERO AÑO 2033, 10 POZOS.....	102

## ANEXO

### RELACIÓN DE LÁMINAS

LÁMINA 01: PLANO DE LOS SONDAJES ELÉCTRICOS

LÁMINA 1A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA A-A

LÁMINA 2A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA B-B

LÁMINA 3A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA C-C

LÁMINA 4A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA D-D

LÁMINA 5A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA E-E

LÁMINA 6A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA F-F

LÁMINA 7A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA G-G

LÁMINA 8A: PLANO DE LA SECCIÓN GEOELECTRICA H-H

LÁMINA 02: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS POZOS DE SEDAPAL

LÁMINA 03: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS POZOS DE TERCEROS

LÁMINA 04: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN

LÁMINA 05: PLANO DE UBICACIÓN DE HIDROHISOHIPSAS AÑO 2002

LÁMINA 06: PLANO DE UBICACIÓN DE HIDROHISOHIPSAS AÑO 2013

LÁMINA 07: PLANO DE UBICACIÓN DE HIDROHISOHIPSAS AÑO 2033

## INTRODUCCIÓN

---

La parte baja del Acuífero del Valle del Río Lurín, el cual comprende los distritos de Lurín, Pachacamac y Cieneguilla, desde hace años viene sufriendo un déficit en sus reservas de aguas subterráneas, este problema se ha ido agravando durante el tiempo por el incremento no contralado de nuevos pozos, y la extracción no contralada de sus reservas de aguas subterráneas, la siguiente tesis trata de representar el comportamiento del Acuífero con la elaboración del modelo Matemático Visual ModFlow, con la finalidad de recomendar el caudal apropiado para evitar el descenso de la napa freática

**1.1 TEMATIZACIÓN**

La parte baja del valle del Río Lurín, comprende los distritos de Lurín, Pachacamac y Cieneguilla desde hace años viene sufriendo un déficit por la mala utilización del agua subterránea, debido al incremento no controlado de nuevos pozos, y a la extracción indebida del agua. Con la finalidad de cubrir la demanda del uso del agua potable que se produce en la zona por las industrias, la agricultura y el uso doméstico. De esta manera perdiendo progresivamente sus reservas de agua subterráneas, y esto ha generado un descenso progresivo y continuo del nivel freático.

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El planteamiento del problema es el cálculo del caudal recomendable, para evitar el descenso progresivo del nivel freático generado por la sobre explotación excesiva de pozos en la parte baja de la cuenca del valle del río Lurín.

**1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN****1.3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Modelamiento matemático con el uso del programa Visual ModFlow del acuífero del Valle del Río Lurín que tiene por objetivo determinar diversos escenarios de explotación con la finalidad de

determinar el caudal recomendable de explotación del agua subterránea, para evitar el descenso progresivo de la napa freática.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- A. Recopilación de la información de los niveles freáticos históricos y su evaluación.
- B. Recopilación y evaluación de las características geológica del acuífero.
- C. Clasificación del suelo por tipo de uso.
- D. Caracterización hidrogeológica del acuífero.
- E. Evaluación hidrológica del Río Lurín.
- F. Modelamiento matemático del comportamiento del acuífero, para escenarios futuros.

### **1.4 IMPORTANCIA**

Hoy en día con el avance de la tecnología se ha desarrollado una serie de programas para el cálculo del manejo de aguas subterráneas. El cual estos nos ayuda a poder predecir y regular el uso de esta fuente mediante la calibración y el manejo del programa.

Para la calibración y la predicción del presente proyecto se hará con el programa Visual ModFlow el cual con los datos obtenidos por la entidad Sedapal el cual este lleva un control y monitoreo de sus pozos ubicados en toda la cuenca de valle del Río Lurín desde ya hace muchos años.

Finalmente, con la aplicación de este programa y los datos obtenidos por Sedapal se podrá efectuar el cálculo y calibración en tiempo real del flujo y variación de la napa freática, para eventos futuros.

## 1.5 METODOLOGIA

El planteamiento principal de este proyecto es el cálculo del caudal recomendable para evitar el descenso progresivo de la napa freática en la parte baja de la cuenca del valle del Río Lurín.

La sobre explotación del agua subterránea es el principal agente de determinación que genera el descenso de la napa freática. Por esta razón en la medida que podamos reducir con un controlado caudal de explotación se podrá devolver sus reservas de agua subterránea para esta cuenca.

Se hace por tanto necesario, definir los distintos elementos que intervienen en descenso y la calidad del agua subterránea:

- G. Caudal variable y no controlado en los pozos de explotación de la zona
- H. Características geológicas de la zona.
- I. Parámetros Hidráulicos.
- J. Tipos de uso del agua subterránea.

A partir de estos parámetros, se podrá estimar el comportamiento del agua subterránea, y será posible calcular el comportamiento del acuífero y sus hidrogramas a futuro.

## **2.1 CICLO HIDROLOGICO**

El ciclo hidrológico es un proceso continuo, ya que este no tiene principio ni final. El agua aparece en la tierra bajo los tres estados sólido, líquido y gaseoso, el agua tiene un carácter dinámico, ya que este se encuentra en constante movimiento (glaciares, ríos, corrientes marinas, circulación atmosférica, flujo subterráneo).

El agua que se evapora o vapor de agua se eleva hacia la atmosfera hasta que las bajas temperaturas en las alturas la hacen condensar y luego precipitar generalmente en forma de lluvia, para luego llegar al suelo, y una parte se absorbida por las plantas, otra parte que se infiltra al suelo y otro que viene a ser la escorrentía superficial que vienen a dar a los ríos, Ver Figura N°1

### **2.1.1 PRECIPITACIÓN**

La precipitación se forma a partir de los núcleos de la condensación atmosférica presentes en el vapor de agua de la atmosfera, la precipitación puede presentarse en diversas formas: líquida (lluvia, llovizna), sólida amorfa (granizo), sólida cristalina (nieve).

La precipitación se puede considerar como la originaria de todas las corrientes superficiales y subterráneas.

### **2.1.2 INFILTRACIÓN**

La infiltración es uno de los términos, dentro del balance hidrológico, que implican mayor incertidumbre o error. Los factores que influyen en la capacidad e intensidad de infiltración son de carácter muy local, de manera que con los métodos de medida solo se obtienen un valor de representatividad local, ya que este proceso es por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida por el.

Para el cálculo del porcentaje de infiltración que se genera por la precipitación depende mucho de la precipitación que se genera en la cuenca, y la forma de la cuenca, ya que de esta dependerá mucho el porcentaje de infiltración, generalmente se toma entre 10 a 20% de la lluvia total de infiltración.

### **2.1.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL**

Se entiende como escorrentía superficial la parte de agua de lluvia precipitada que no se infiltra en el terreno y que circula por la superficie en forma de torrentes, ríos o arroyos, cauces que constituyen la red hidrográfica o red de drenaje superficial. Todos estos aportes que se generan, equivale al volumen total del agua que circula o ha pasado en un punto dado, es decir el caudal.

### **2.1.4 ESCORRENTIA SUBTERRANEA**

Es la parte del agua que se infiltra y que llega al a zona saturada, incorporándose a las aguas subterráneas del acuífero. Es por tanto una de las entradas a menudo las más importantes del agua contenida en la zona saturada, y en consecuencia que condiciona el volumen del recurso subterráneo disponible. La escorrentía subterránea o agua subterránea no es una masa estática,

sino que está en constante circulación, y su recarga natural se origina en la infiltración de las aguas que provienen de la precipitación, del cauce de los ríos, de los torrentes o de los lagos, y sus salidas naturales vienen determinadas por el mar, por los manantiales y por el drenaje de agua hacia los ríos.

### **2.1.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La evaporación es el proceso del estado líquido a gaseoso del agua. La transpiración es básicamente el mismo fenómeno, pero se realiza a través del sistema circulatorio de las plantas que a su vez toman agua de la zona del suelo.

La evapotranspiración es el fenómeno que suma el de la evaporación del agua en el suelo, de los cursos de agua superficial, y el de la transpiración del agua de las plantas.

### **2.1.6 TEMPERATURA**

En climatología el termino se refiere a la temperatura del aire y se mide en grados Centígrados (°C) o en grados Fahrenheit (°F)

Mediante la temperatura se expresa numéricamente el efecto que ocurre en los cuerpos productos del calor originado por la radiación solar recibida y la emitida.

### **2.1.7 SALIDA AL MAR**

Parte del agua que proviene tanto de las aguas subterráneas de los acuíferos, como de los cursos de agua superficiales se vierte al mar. En el caso de los ríos, este volumen de agua también es

importante también por su aportación de sedimentos para la formación de los deltas y porque proporciona nutrientes indispensables para la alimentación de la fauna marina.

## CICLO HIDROLOGICO

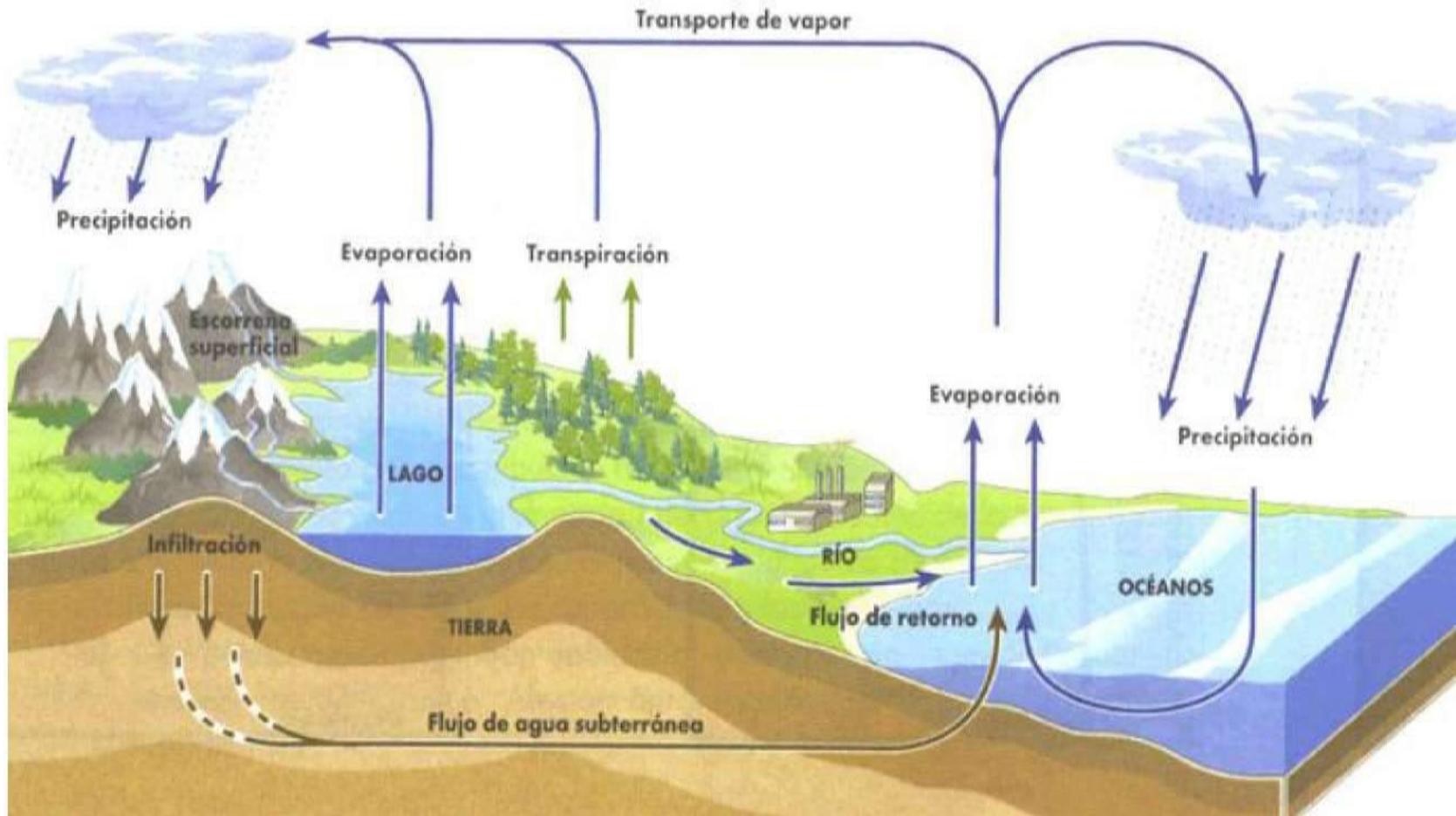


Figura N°1 Ciclo hidrológico del agua

## 2.2 HIDROLOGIA SUBTERRANEA

La Hidrogeología o Hidrología Subterránea es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas en su ambiente geológico, su distribución y evolución en el tiempo y espacio. La hidrogeología nos permite entender y comprender el flujo subterráneo por medio de las leyes que gobiernan el flujo y la conservación de la masa en medios porosos (La Ley de Darcy, ecuación de continuidad).

## 2.3 TIPOS DE FORMACIONES GEOLOGICAS

Los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir agua.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales. Ver Tabla N°1

### 2.3.1 ACUIFEROS

Son capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc); son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento.

### 2.3.2 ACUITARDOS

Capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc), y su capacidad de drenaje es media a baja; no sé de mucho interés para el abastecimiento de agua que puedan servir de alguna necesidad hídrica.

### 2.3.3 ACUICLUDOS

Pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra almacenada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc)

### 2.3.4 ACUIFUGO

Son formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granito y a veces incluso calizas muy compactadas sin carstificar.

	Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formaciones características
ACUIFEROS	ALTA	ALTA	ALTA	Gravas, arenas, calizas
ACUITARDOS	ALTA	MEDIA/BAJA	BAJA	Limos, arenas limosas y arcillosas
ACUICLUDOS	ALTA	MUY BAJA	NULA	Arcillas
ACUIFUGOS	NULA	NULA	NULA	Granitos, mármoles

Tabla N°1 Formaciones geológicas frente al agua

## TIPOS DE ACUIFERO

La mayoría de los acuíferos son áreas de gran extensión y pueden ser visualizados como reservorios de almacenamiento subterráneos, el agua entra a un reservorio por recarga natural o artificial y fluye bajo la acción de la gravedad.

### 2.3.5 ACUIFEROS LIBRE

Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es el agua que tienen almacenada, y están compuestos por materiales geológicos altamente permeables. Ver Figura N°2

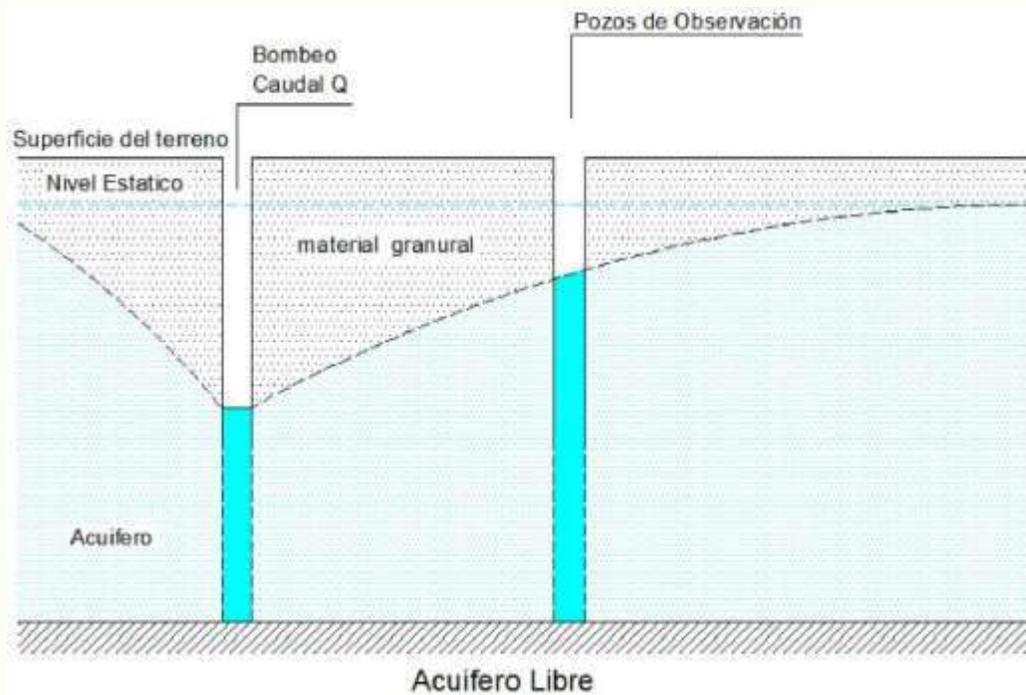


Figura N°2 Acuífero libre

### 2.3.6 ACUIFEROS CONFINADOS

Conocido también como acuíferos artesianos o acuíferos a presión ocurre cuando el agua subterránea es confinada entre dos capas impermeables bajo una presión mayor que la atmosférica. En un pozo que penetra en este tipo de acuífero el nivel del agua se eleva sobre el fondo del lecho confinado tal como se muestra en la Figura N°3

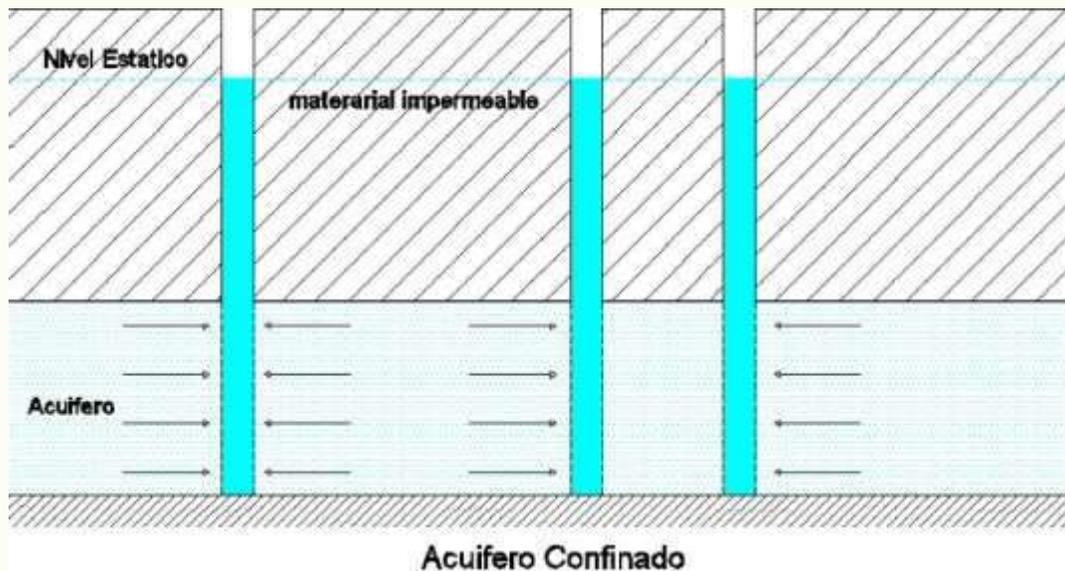


Figura N°3 Acuífero confinado

### 2.3.7 ACUIFEROS SEMICONFINADOS

Es un acuífero contenido entre dos capas impermeables pero en el que existe movimiento vertical del agua a través de una porción permeable de estas capas impermeables. Ver Figura N°4

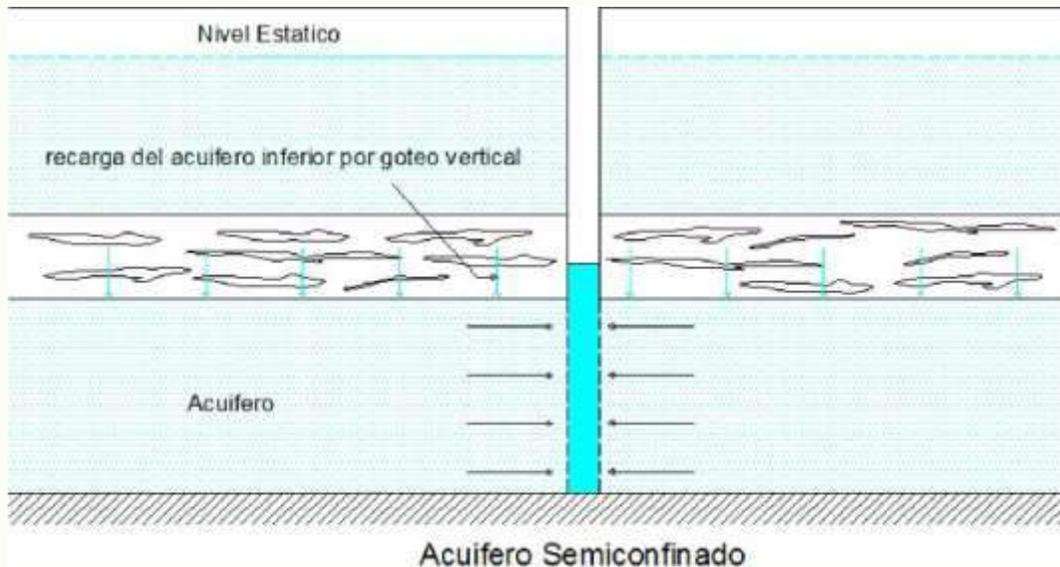


Figura N°4 Acuífero semiconfinado

## 2.4 PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

Es la capacidad de almacenar y transmitir el agua por parte de un acuífero debe ser cuantificada para evaluar las formaciones desde el punto de vista hidrogeológico, por ello, asocian a las formaciones cuatro parámetros básicos en cuanto a su comportamiento respecto al agua que puedan contener y transmitir. Porosidad y coeficiente de almacenamiento, permeabilidad y transmisividad, son los cuatro parámetros hidrogeológicos, cuyos parámetros deben fijarse para definir las características de los acuíferos.

### 2.4.1 POROSIDAD

La porosidad es la relación entre el volumen de poros y el volumen total de una roca. Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo.

$$n = \frac{\text{volumen de los poros}}{\text{volumen total}}$$

## 2.4.2 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El coeficiente de almacenamiento ( $S_c$ ) es definido como el volumen o la capacidad para liberar agua de un acuífero.

El coeficiente de almacenamiento es adimensional tal como es mostrada en la ecuación dada a continuación:

$$S_c = \frac{\text{Volumen de agua}}{(\text{Area unitaria})(\text{Cambio unitario de carga})} = \frac{L^3}{L^2L} = \frac{L^3}{L^3}$$

La magnitud del coeficiente de almacenamiento depende del tipo acuífero, según sea, Confinado o No Confinado.

Si el acuífero es confinado, el agua extraída del acuífero cuando se produce la declinación de la carga proviene de la expansión del agua y de la compresión del acuífero.

Aunque no puede, establecerse límites rígidos, el coeficiente de almacenamiento de acuíferos confinados puede variar entre:

$$a' 0.001 (10^{-5} \text{ a } 10^{-3})$$

El coeficiente de almacenamiento diferenciado en función del tipo de acuífero. El coeficiente de almacenamiento de un acuífero No confinado corresponde a su rendimiento específico y su rango de variación fluctúa entre: 0.05 á 0.20.

### **2.4.3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)**

La permeabilidad o conductividad hidráulica de una roca es su capacidad de permitir un flujo de agua a través de ella y depende de los tipos de vacíos (poros o grietas, conectados entre sí y las propiedades específicas de ellos. La Permeabilidad se expresa en unidades de longitud por tiempo (m/día, m/seg).

La permeabilidad es afectada directamente por los siguientes factores:

- a) La textura del suelo.
- b) La densidad y viscosidad del agua subterránea.
- c) El tipo de partículas y su acomodo y, la porosidad que generan, que influye directamente en el movimiento del agua en el suelo.

En la Figura N° 5. Se puede observar el recorrido del flujo de agua a través de tres muestras de perfil de suelo.

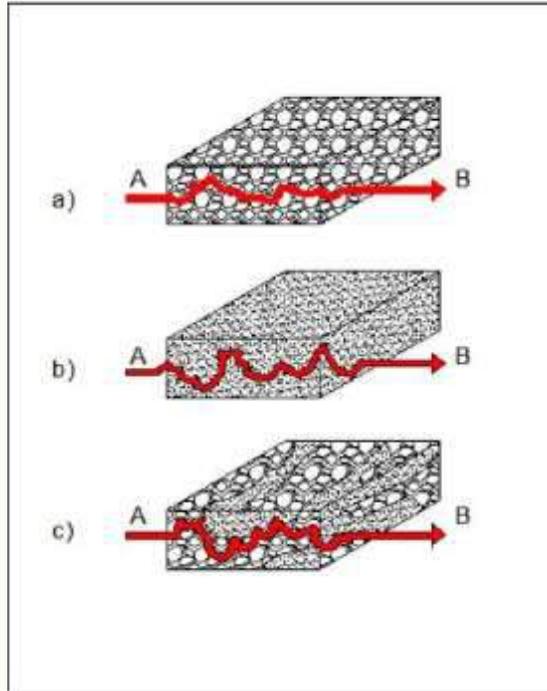


Figura N° 5 Recorrido del agua a través del suelo

a) Suelo que contiene solamente arena gruesa.

El camino recorrido por el flujo de agua es más largo en la muestra de arena fina, dado que existe un promedio de partículas mayor, si se compara con el de arena gruesa.

Muestra de suelo que contiene arena

En la mezcla de partículas de arena gruesa y fina, el tamaño de los poros de la muestra está fuertemente influenciado por las partículas de arena fina y las partículas de mayor tamaño actúan como barreras al flujo normal del agua en sentido horizontal.

b) Muestra de suelo con una mezcla de partículas de arena gruesa y de arena fina.

La muestra de arena fina posee un valor de K mayor al de la mezcla de arena fina y gruesa, a pesar de que está última posee un promedio de tamaños de granos mayor Ver Figura N°6

**Algunos valores experimentales de K, k y C**

Tipo de material que constituye el acuífero	d m	K m/seg	k m <sup>2</sup>	C
Grava	$10^{-1} - 2 \times 10^{-3}$	$1 - 10^{-3}$	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{-1} - 10^{-4}$
Arena	$2 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-5}$	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-9} - 10^{-13}$	$10^{-1} - 10^{-4}$
Limo	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-6}$	$10^{-5} - 10^{-9}$	$10^{-12} - 10^{-16}$	$10^{-1} - 10^{-4}$
Arcilla	$2 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-8}$	$10^{-9} - 10^{-13}$	$10^{-16} - 10^{-20}$	$10^{-1} - 10^{-4}$

Cuadro fue tomado de Hidraulica de Aguas Subterranas - Rodolfo Saens Forero - CEPIS.

Figura N°6 Valores de permeabilidad

#### 2.4.4 COEFICIENTE DE TRANSMISIVIDAD (T)

Es el producto de la conductividad hidráulica (K), y el espesor saturado del acuífero (b). Se expresa en la ecuación siguiente:

$$T = K b$$

Dónde:

T = Coeficiente de transmisividad en m<sup>2</sup>/ día K

= Conductividad hidráulica en m/ día b =

Espesor del acuífero en m

Por lo tanto, la transmisividad corresponde al caudal que circula por una sección de área unitaria, bajo un gradiente hidráulico unitario y en un espesor de acuífero unitario. La transmisividad T se determina directamente por pruebas de bombeo.

## 2.5 LEY DE DARCY

En 1856 un ingeniero hidráulico francés Henry Darcy, investigando el flujo de agua a través de lechos horizontales de arena a ser usadas para filtración del agua estableció que:

Los experimentos realizados demostraron que la razón de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria del fluido.

La verificación experimental de la Ley de Darcy puede ser realizada con agua fluyendo a una razón Q a través de un cilindro de sección transversal A rellena con arena y dos piezómetros separados por una distancia L.

Aplicando la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

Dónde:

$$\rho = \text{presión, } \frac{Kg}{m^2}$$

$$v = \text{velocidad de flujo, } \frac{m}{seg}$$

$$\gamma = \text{peso específico del agua, } \frac{Kg}{m^3}$$

$g = \text{aceleracion de la gravedad, } \frac{m}{s^2}$

$h_L = \text{perdida de carga, m}$

Para estudiar las leyes físicas del flujo del agua subterránea, Henry Darcy realizó experimentos de laboratorio, para ello utilizó el dispositivo vertical que se Presenta Esquemáticamente en la Figura N° 7, donde:

A = área de sección transversal;

l = largo de la columna de arena;

h = largo de la columna de agua (presión Hidráulica)

Q = caudal de agua pasando por el dispositivo, el cual es un parámetro medido.

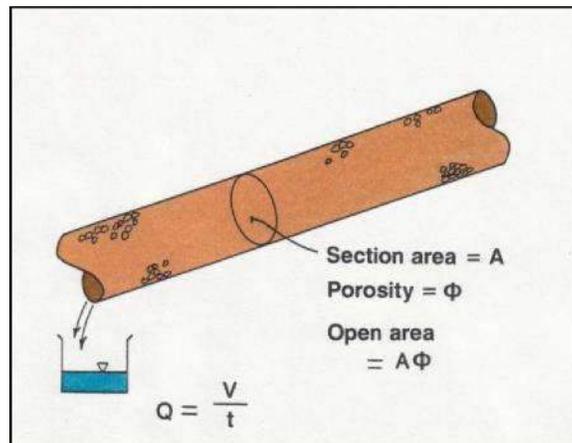


Figura N°7, Experimento de Darcy

Esta ley se expresa matemáticamente como:

$$V = K (h / l) = Ki$$

Dónde:

V: Velocidad media de flujo h: Pérdida de carga en la distancia l

i: Gradiente hidráulico y

K: Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

Otra forma de expresar la ley de Darcy consiste en utilizar el principio de conservación de masa y la expresión anterior, de la forma siguiente:

$$Q = A v = K A \left( h / l \right) = K A i$$

## 2.6 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

### 2.6.1 FLUJO PERMANENTE

Todo flujo del agua subterránea debe satisfacer la ecuación de continuidad, que en su expresión más generalizada puede expresarse como:

$$-\left[ \frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} \right] = \frac{\delta \rho}{\delta t}$$

Dónde:

$\rho$  = es la densidad del fluido

$t$  = es el tiempo

O en su versión vectorial:

$$-\nabla(\rho v) = \frac{\delta \rho}{\delta t}$$

Para flujo permanente: t es constante.

Y como el agua es un fluido incompresible por esto la ecuación de continuidad se reduce a:

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

$$v_x = -\frac{\delta \phi}{\delta x}; v_y = -\frac{\delta \phi}{\delta y}; v_z = -\frac{\delta \phi}{\delta z}$$

Luego reemplazando obtenemos la ecuación de Laplace.

$$\frac{\delta^2 \phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta z^2} = 0$$

Reemplazando  $\phi = -Kh$  obtendremos finalmente

$$K \left[ \frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} \right] = 0$$

$$\left[ \frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} \right] = 0 \quad \text{ó} \quad \nabla^2 h = 0$$

Que es la ecuación diferencial parcial general para flujo permanente de agua en un medio homogéneo e isotrópico. Expresada en coordenadas polares podemos escribir:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta h}{\delta r} = 0$$

## 2.6.2 FLUJO NO PERMANENTE

Con el propósito de derivar la ecuación correspondiente para flujo impermanente, será necesario considerar el coeficiente de almacenamiento  $S_c$ . Para un acuífero no confinado se ha expresado ya que este es definido como el rendimiento específico; pero para acuíferos confinados este será una medida de la compresibilidad del acuífero.

Recordando la relación existente entre el Modulo de Elasticidad (E) y el coeficiente de la compresibilidad 13, podemos escribir.

Dónde: V= volumen p= presión

El cambio de la presión puede ser evaluado en términos de cambios dentro de una columna de sección transversal unitaria extendiéndose hacia arriba a través de una acuífero confinado.

Ha sido asumido que la fuerza de compresión actúa en una dirección vertical sobre un area de gran extensión en forma tal que los cambios en la direcciones horizontal y vertical son despreciables.

Cuando la superficie piezométrica desciende una distancia unitaria, la cantidad de agua descargada de la columna por el cambio de presión es S; de aqui  $S = \Delta v$

El volumen de la columna del acuífero es

Dónde: b= Espesor del acuífero y el cambio en presión  $\Delta p$ :

Sustituyendo estos valores en la expresión de 13

$$\beta = -\frac{\Delta v}{\Delta p} \Rightarrow 13 = \frac{-S}{-\gamma} = \frac{S}{\gamma b}$$
$$\beta = \frac{S}{\gamma b}$$

Partiendo del principio

Dónde: m = masa; p=densidad

Podemos establecer

$$dm = \nabla \delta \rho + \rho \delta p$$

$$\text{y } \frac{dm}{m} = \frac{\delta \nabla}{\nabla} + \frac{\delta \rho}{\rho}$$

Pero como la masa es constante

$$\frac{\delta m}{m} = 0 \quad ; \quad \frac{\delta \nabla}{\nabla} + \frac{\delta \rho}{\rho} = 0$$

y de aquí

$$\frac{\delta \nabla}{\nabla} = -\frac{\delta \rho}{\rho}$$

$$\beta = \frac{-\delta \nabla}{\nabla} = \frac{\delta \rho}{\rho} \Rightarrow \delta \rho = \rho \beta \delta p$$

Siendo podemos escribir

$$\delta \rho = \frac{\rho s}{\gamma b} \delta p$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación de continuidad

$$-\nabla(\rho v) = \frac{\delta \rho}{\delta t}$$

$$-\left[ \frac{\delta(\rho v_x)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v_y)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho v_z)}{\delta z} \right] = \frac{\delta \rho}{\delta t} = \frac{s}{\gamma b} \frac{\delta p}{\delta t}$$

Habiendo establecido que:

$$\frac{\delta \phi}{\delta x} = v_x \Rightarrow v_x = \frac{-k \delta h}{\delta x}$$

$$\frac{\delta v_x}{\delta x} = -k \frac{\delta^2 h}{\delta x^2}$$

Si  $p = \text{cte}$  la ecuación diferencial puede simplificarse y podemos escribir

$$-\left[\frac{\delta v_x}{\delta x} + \frac{\delta v_y}{\delta y} + \frac{\delta v_z}{\delta z}\right] = \frac{\rho s \delta p}{\delta b \delta t}$$

$$-\left[-k\left(\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2}\right)\right] = \frac{s \delta p}{\gamma b \delta t}$$

Recordando que  $p = \gamma h \Rightarrow \delta p = \gamma \delta h$

$$k\left[\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2}\right] = \frac{sr\delta h}{\gamma b \delta t} = \frac{s \delta h}{b \delta t}$$

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{s \delta h}{kb \delta t}$$

Siendo (Transmisividad)

Finalmente podemos escribir:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{s \delta h}{T \delta t}$$

Que es la ecuación diferencial parcial que gobierna el flujo del agua en un acuífero comprensible confinado de un espesor uniforme b

La expresión dada en coordenadas polares es:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta h}{\delta r} = \frac{S \delta h}{T \delta t}$$

La ecuación correspondiente para un acuífero no confinado tiene una forma no lineal, lo cual hace imposible la solución directa por aproximación sin embargo la ecuación anterior puede ser aplicada para acuíferos no confinados donde la variaciones en el espesor saturado sean relativamente pequeñas.

## 2.7 SUPERFICIES PIEZOMETRICAS

La superficie piezométrica es el lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se les representa mediante líneas de igual altura piezométrica, de forma similar a la representación de una superficie topográfica mediante curvas de nivel. Ver figura N°6

### 2.7.1 LINEAS EQUIPOTENCIALES

Son curvas que unen puntos con igual potencial hidráulico en la sección vertical u horizontal, y por tanto representan la altitud o cota absoluta de la superficie freática

### 2.7.2 LINEAS DE FLUJO

Representan de forma idealizada el recorrido de las partículas de agua en su movimiento a través del medio saturado. Ver Figura N°8

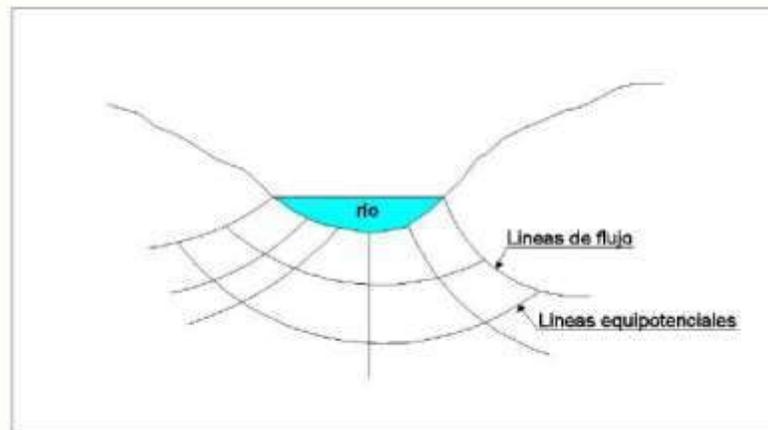


Figura N°8, Líneas de flujo y las líneas equipotenciales en un río

### 2.7.3 LINEAS DE FLUJO EN UN RIO

las líneas de flujo que se muestran en las Figuras N°9 y 10 se ilustran ilustran el continuo intercambio de agua que ocurre entre los canales superficiales y los acuíferos aledaños, los cuales son bases reguladoras del flujo superficial, pues tienden a disminuirlo en época de crecientes y a aumentarlo durante estiaje.

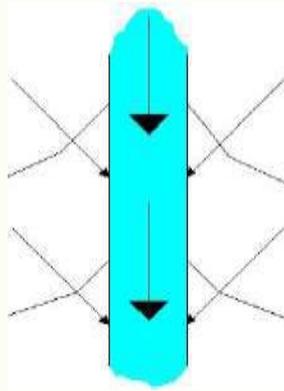


Figura N°9 Río Efluente, es aquel río que se recarga por medio del acuífero, esto quiere decir que el nivel freático se encuentra mas alta del nivel de la lamina de agua del rio

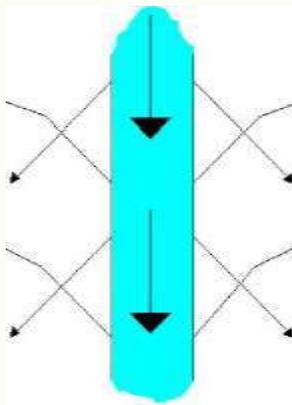


Figura N°10 Río Influyente, es aquel río que recarga al acuífero, esto quiere decir que el nivel de la lamina de agua del rio se encuentra mas alto que el nivel freático.

### **3.1 GEOLOGIA REGIONAL**

El valle Lurín está constituido por una geología de afloramientos rocosos sedimentarios, ígneas (intrusivas y volcánicas) y metamórficas.

El valle Lurín está constituido por una serie de Quebradas. Tributarias, está constituido por depósitos aluviales del cuaternario, y compuestos por lo general por los materiales de origen fluvio-aluvial; los cuales estos se han originado la

Acción erosiva que ha ejercido el río Lurín en todo su trayecto conformado por rocas terciarias, mesozoicas.

El Batolito costero ha ido desagregando las rocas consolidadas por todo el trayecto y de esta manera transportándolas aguas abajo y acumulándolas a lo largo y ancho de su curso formando de esta manera depósitos y/o rellenos muy importantes como los abanicos aluviales pleistocenos y recientes.

### **3.2 ESTATIGRAFIA**

Las unidades estratigráficas que se han identificado dentro de la zona del proyecto, están constituidas por lo general por rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, las cuales se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos aluviales y eólicos.

Las rocas que afloran en toda la región son sedimentarias, intrusivas, volcánicas y metamórficas.

Rocas Sedimentarias: son rocas que están compuestas por calizas, limonitas, lodositas, lutitas, arcillas y conglomerados.

Rocas Intrusivas: están constituidas por granitos, granodioritas, dioritas y tonalitas, con intrusiones menores como aplitas, pegmatitas, cuarzo-monzonitas.

Rocas Volcánicas: están compuestas por tufos, derrames, aglomerados, andesitas, riolitas, basaltos y materiales piroplásticos como cenizas, tobas y lapilli.

Rocas Metamórficas: están conformadas por cuarcitas, pizarras, esquistos, filitas y mármoles.

Las edades de las rocas en la región de estudio está comprometida desde el Paleozoico hasta el cuaternario reciente.

## **A. GRUPO PUENTE PIEDRA**

Formación Puente Inga

Está caracterizada por presentar intercalaciones de lutitas, limolitas, tobáceas, blandas muy fosilíferas, finamente estratificadas, fácilmente fisibles en láminas delgadas, suaves al tacto y pigmentadas por oxidaciones limonitas que se intercalan con derrames volcánicas. Se le encuentra constituyendo el núcleo del anticlinal en lomas Los Manzanos, en contacto fallado contra la secuencia arcillo – limosa del Grupo Morro Solar del flanco occidental y oriental. Esta formación se encuentra en la base del Cretácico.

## **B. GRUPO MORRO SOLAR**

Formación Herradura (Ki – h)

El valle de Lurín se caracteriza por estar constituida por lutitas arcillosas negruzcas, areniscas limosas oscuras, areniscas micáceas grises y lodolitas grises. Su grosor se estima entre 60 y 70 m. y aflora en el cerro Punta Blanca.

Esta formación es una unidad incompetente debido a su litología arcillosa, con contenido de sales como yeso y cloruros de sodio, probablemente como producto de fenómenos genéticos en un medio salino.

#### Formación Marcavilca (Ki – m)

Esta formación sedimentaria del cretáceo inferior descansa en contacto normal sobre la formación herradura y subyace a la formación pamplona, pertenece al grupo Morro Solar, La roca predominante es la cuarcita gris blanquesina, con cemento silíceo.

Esta formación aflora en los cerros Lúcumo y el Sauce.

#### Formación Pamplona (Ki - pa)

Litológicamente arcillo-calcárea, el cual está constituido por lutitas y margas en capas delgadas. Calizas bituminosas, alternando con lutitas rojizas grises.

#### Formación Atocongo (Ki – AT)

Esta formación está constituida por calizas bituminosas. De origen sedimentario, constituido por calizas, con algunas intercalaciones delgadas de areniscas y margas y calizas metamorfizadas por intrusión de batolito costero. Las canteras de calizas son explotadas por Cementos Lima. Los afloramientos de esta formación se encuentran en el cerro Manchay.

### C. GRUPO CASMA

#### Volcánico Quilmana (Ks – q)

Está conformado litológicamente por horizontes de areniscas de grano fino, y volcánico – sedimentario.

Esto aflora en Manchay alto, en la quebrada Huaycan de Cieneguilla.

### D. DEPOSITOS CUATERNARIOS

#### Depósitos aluviales Pleistocenicos (Qp-al)

Está formado por materiales aluviales de diferentes espesores, compuesto por conglomerados, con cantos de diferentes tipos y rocas especialmente intrusivas y volcánicas, de forma subredondeados, gravas, arenas de granulometría variable y en menor proporción limos y arcillas. Estos depósitos se encuentran en las Quebradas desérticas en la parte media del valle Lurín sobre la margen derecha del río y las Quebradas de Tinajas y Río Seco en la margen izquierda del río.

#### Depósitos Eólicos

Estos depósitos están ubicados cerca de la costa y son transportadas por el viento. Conformado generalmente de arenas de playa formadas por la acción de las olas o por los sedimentos transportados al mar por los ríos y distribuidos por las corrientes a los largo del litoral costero.

Las arenas eólicas se distribuyen en forma de mantos, dunas longitudinales y barcanes en los que es común encontrar barcanes grandes debido a la fusión de pequeños medanos. Se diferencian dos tipos de depósitos eólicos, los antiguos posiblemente pleisocénicos formados por acumulaciones de arenas antiguas, encontrándose en la actualidad estabilizadas formando lomadas y cerros de arenas como sucede en el Cerro Lomo de Corvina que se extiende hasta Tablada de Lurin. Los depósitos recientes que adoptan formas de manto, dunas o colinas de

arenas en movimiento con formas de media luna que son pequeñas colonias de barbajes con alturas de hasta 2 m y movimiento en dirección de los movimientos predominantes.

#### Depósitos Marinos

Estos se encuentran en línea de costa. Su procedencia los materiales clásticos transportados al mar por carga de los ríos, así como por la acción erosiva de las olas. Se distinguen los depósitos antiguos o Pleistocénicos y los recientes; los primeros se encuentran en terrazas marinas de areniscas cementadas y gravas y zonas de marismas, de arenas con alta salinidad. Los depósitos recientes zona acumulaciones de arenas y cantos distribuidos por las corrientes marinas litorales como producto de la erosión y disgregación de las rocas cercanas a la línea de costa y además de los materiales que transportan los ríos hacia el mar.

#### Rocas Intrusivas

Son los cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas y cuerpos plutónicos que constituyen el Batolico costanero, además de algunas intrusiones subvolcánicas menores de emplazamiento posterior,

### **3.3 GEOMORFOLOGICA**

El paisaje geomorfológico de la zona de estudio es el resultado de los diferentes episodios geológicos que han sucedido desde el Cretácico inferior del Mesozoico hasta el cuaternario reciente. La modelación actual es el resultado de 4 ciclos sedimentarios y al mismo tiempo del vulcanismo-sedimentario ocurrido en la región, complementado con los procesos tectónicos y

plutónicos, las erosiones de rocas pre-cuaternarias existentes por cursos de agua superficial, la geodinámica externa y el intemperismo climático.

Las unidades geomorfológicas generales del área de estudio son las siguientes:

### **ISLAS**

Comprende las islas de Pachacamac y Peñón frente a Lurín

### **BORDE LITORAL**

Se extiende en forma de una faja delgada desde la línea de costa hasta una distancia que puede variar de 1 a 2 Kms., hacia el continente. En la zona de estudio está representando por Playas Conchán, que es una playa abierta por acumulación de arenas de corrientes litorales o por deriva litoral.

### **PLANICIES COSTERAS Y CONOS DEYECTIVOS**

Se extiende desde el Borde Litoral y las estribaciones de la cordillera occidental, encontrándose la mayor cobertura espacial en el valle Lurín. Representan amplias superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Lurín con espesores importantes que alcanzan los 200m. Esta llanura Aluvial continua al Sur, con una planicie costera más estrecha rellena por materiales aluviales de las Quebradas que llegan directamente al mar y que se encuentran cubiertas con arenas eólicas.

### **LOMAS Y CERROS TESTIGOS**

Las lomas son las unidades geológicas que presentan formas y relieves topográficos en función de la litología de las unidades geológicas y a las coberturas eólicas que las cubren. Los relieves

abruptos corresponden a litología de calizas y cuarcitas o rocas intrusivas y las formas

redondeadas con pendientes suaves a lutitas y limonita. Las rocas volcánicas presentan relieves y pendientes empinadas y en algunos casos regularmente suaves.

## **VALLES Y QUEBRADAS**

La unidad geomorfológica con mayor importancia desde el punto de vista hidrogeológico es el valle Lurín, que está compuesto por un relleno de materiales aluviales que se han depositado en el canal erosionado de rocas precuaternarias, en diferentes episodios geológicos. Este relleno aluvial compuesto de materiales detríticos no consolidados, presenta una configuración alargada en su tramo inicial entre Antioquia y Cieneguilla y a medida que progresa el cauce del río hasta el Océano Pacífico, aumenta de sección y también de espesor conformado en la parte baja del valle una amplia planicie aluvial principalmente en la margen izquierda del río Lurín.

Las Quebradas Tributarias, que encuentran en ambas márgenes del río, algunas poco desarrolladas y otras más importantes como Quebradas Tinajas, Río seco por la margen izquierda y Quebradas Manchay y Virgen de Lourdes, sobre la margen derecha del río Lurín. Estas Quebradas se encuentran secas generalmente, con excepción de las más desarrolladas de la margen izquierda (Quebrada Tinajas y Río Seco), que en años hidrológicos muy húmedos se producen escorrentías o flujos superficiales temporales. Estas Quebradas., han sido rellenadas con materiales aluviales detríticos del cuaternario pleistocénico. Es muy probable que en el pasado el funcionamiento de estas Quebradas, haya sido menos erráticas por las condiciones climáticas locales más estables que las actuales. Los materiales aluviales más antiguos de esta Quebrada, se interdigitan con los depósitos fluvio-aluviales del valle Lurín.

## ESTRIBACIONES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

Esta unidad está representada por las laderas y las crestas de la cordillera andina, con topografía agreste que se han formado por plutones y stocks del Batolito Costero. En el Pleistoceno- reciente el río Lurín y sus cursos de agua tributarios. Han disectado a esta unidad, formando los valles y Quebradas. Las crestas más elevadas tienen altitudes de 900 a 3,600 msnm.

### 3.4 HIDROLOGIA LOCAL

#### 3.4.1 CLIMATOLOGIA

Para determinar las características climáticas del área de estudio, se han utilizado las estaciones meteorológicas ubicadas en los pisos altitudinales que van entre los 184 msnm y los 3,600 msnm, en las Provincias de Lima y Huarochiri del Departamento de Lima Ver Tabla N°2.

N°	Nombre de Estación	Codigo Estacion	Cuenca	Tipo Estac.	Inicio Func.	Fin Func.	Años de Observ.	Ubicación Política			Ubic. Geografica			Institucion Respons.	Observ.
								Dpto	Prov	Distr	Lat	Long	Alt		
1	Manchay	203005	Lurín	H-Lmt	1938	Actual	56	Lima	Lima	Lurín	12° 10'	76° 51'	206	SENAMHI	Operativa
2	Antapucro	203003	Lurín	H-Lmt	1968	1971	4	Lima	Huarochiri	Antioquia	12° 02'	76° 38'	1300	SENAMHI	Paralizada
3	Campo de Marte	155145	Rímac	CO	1945	1972	28	Lima	Lima	Jesus Maria	12° 04'	77° 02'	137	SENAMHI	Paralizada
4	Manchay Bajo	155151	Lurín	CO	1964	1971	8	Lima	Lima	Pachacámac	12° 10'	76° 52'	148	SENAMHI	Paralizada
5	Antioquia	156100	Lurín	PLU	1965	Actual	39	Lima	Huarochiri	Antioquia	12° 05'	76° 30'	1839	SENAMHI	Operativa
6	Matucana	155138	Rímac	CO	1964	Actual	40	Lima	Huarochiri	Matucana	11° 50'	76° 22'	2479	SENAMHI	Operativa
7	Langa	151214	Lurín	PLU	1983	Actual	21	Lima	Huarochiri	Lahuaytambo	12° 06'	76° 24'	2860	SENAMHI	Operativa
8	Santiago de Tuna	155224	Lurín	PLU	1964	Actual	40	Lima	Huarochiri	Santiago de Tuna	11° 59'	76° 31'	2921	SENAMHI	Operativa
9	Huarochiri	155149	Mala	CO	1964	Actual	40	Lima	Huarochiri	Huarochiri	12° 08'	76° 14'	3154	SENAMHI	Operativa
10	San Damian	156101	Lurín	PLU	1965	1970	6	Lima	Huarochiri	San Damián	12° 01'	76° 23'	3248	SENAMHI	Paralizada
11	San Lazaro de Escomarca	156102	Lurín	PLU	1964	Actual	40	Lima	Huarochiri	Langa	12° 11'	76° 21'	3600	SENAMHI	Operativa
12	San Jose de Parac	155225	Rímac	PLU	1988	1995	8	Lima	Huarochiri	Parac	11° 48'	76° 15'	3866	SENAMHI	Paralizada
13	Chalilla	155119	Lurín	PLU	1969	1982	14	Lima	Huarochiri	San Damián	11° 56'	76° 20'	4050	SENAMHI	Paralizada

Tabla N°2. Estaciones Hidro – meteorológicos de la Cuenca del río Lurín, Departamento de Lima

Con las series históricas registradas en las estaciones Meteorológicas, analizadas en cuanto a los periodos de los registros (1964 – 2002), consistencia de la formación, complementación y extensión de las series, se han determinado en los estudios disponibles los siguientes parámetros climáticos.

## A. PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Las precipitaciones pluviales en el valle Lurín, al igual que en los valles de la costa del Perú, son muy escasas, con un valor medio anual de 32.8 mm/año en la estación de Manchay Bajo. El régimen pluviométrico que se inicia en Junio y termina entre los meses de Agosto y Septiembre. Los registros históricos analizados muestran que la precipitación es función directa de la altitud. En las zonas alto andinas la precipitación es mayor, siendo la media anual de 64 mm/año a una altitud de 1,839 msnm, 322 mm/año a los 2921 msnm y 458 mm a los 3540 msnm. En las zonas alto andinas las precipitaciones tienen un régimen tropical, con lluvias entre los meses de enero a marzo y precipitaciones escasas entre los meses de junio a septiembre. Los valores promedio de precipitación anual, para las estaciones representativas ubicadas en el área de estudio, se presentan en la tabla N°3

N°	Estación	Altitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	mm/año
		(msnm)													
1	Manchay Bajo	148	1.4	0.5	0.3	0	1.1	3.7	4.2	7.8	6.7	4.2	1.5	1.4	32.8
2	Antioquia	1839	13	21.8	18.8	1.3	0.4	0	0	0.1	0.2	0.3	1.1	6.8	63.8
3	Santiago de Tuna	2921	59.7	100	103	13.3	1.4	0	0	0.1	1.2	3.6	9.1	30.7	322
4	Chalilla	3540	91.7	96.5	143	38.7	0.5	0	0	0.6	4.1	17.3	25.1	40.9	458
5	San Lázaro de Escomarc	3600	84.4	100	111	43.3	4.7	0.2	0.4	1.5	3.2	10.6	20.5	48.4	428.3

Tabla N°3 Precipitación Pluvial

## B. TEMPERATURA

Las temperaturas en la zona del valle Lurín, de acuerdo a los únicos datos de la estación meteorológicas de Manchay Bajo, varía entre 22 y 23°C en la estación de verano y de 15.6 a 16°C en invierno, habiéndose registrado temperaturas mínimas en el rango de 12.4°C a 13°C

## C. HUMEDAD RELATIVA

En la estación de Manchay Bajo, se han registrado humedades relativas entre 80 y 87%, correspondiendo los valores más altos a los meses de Mayo a octubre.

#### D. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La evapotranspiración Potencial promedio (ETP), que se ha estimado con el método de G.H. Hargreaves, el mismo que relaciona la Evapotranspiración Potencial con la temperatura, la humedad relativa y la radiación extra-terrestre es del orden de 1,188.74 mm/año. Los valores mensuales más altos corresponden a los meses de noviembre con 121.43 mm/mes a 122.64 mm/mes en Marzo Tabla N°4

N°	Variable	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Suma
1	Temperatura °C	22	23	22.4	20.8	18.7	16.7	15.8	15.6	16	17.1	18.1	20.1	
2	H.R (%)	82	80	81	82	84	86	86	87	86	84	81	80	
3	ETP (mm/mes)	137.07	127.38	122.64	95.12	74.42	58.06	60.76	67.41	80.81	104.48	121.43	139.16	1188.74

Tabla N°4 Evapotranspiración mensual

#### 3.5 HIDROLOGIA DEL RÍO LURÍN

La cuenca hidrológica del río Lurín se extiende desde las zonas alto andinas de las provincias de Huarochiri y Lima del Departamento de Lima, a una altitud de 2,500 msnm hasta el litoral costero, siendo su forma general la de un cuerpo alargado, ligeramente ensanchado en su parte posterior, con un patrón de drenaje tipo dendrítico. Limita por el Norte y Oeste, con la cuenca del río Rímac y el Océano Pacífico, por el Sur Este con las Quebradas secas que se encuentran ubicadas al sur de la localidad de Lurín y más al Sur – Este con la Cuenca del río Chilca.

El río Lurín, cuyo curso desde sus nacientes hasta su desembocadura tiene una longitud de 11.24 Kms, con una pendiente promedio del 4.76%, tiene un área total de drenaje superficial de 1,658.19 Km<sup>2</sup>, un perímetro de 257.53 Kms y una área de cuenca húmeda de 791.89 Km<sup>2</sup>, cuyo límite de altitud es de 2,500 msnm. En la parte alta de la cuenca existen pequeños represamientos naturales de cuerpos de agua que tienen poca incidencia en el régimen del escurrimiento natural del río Lurín y su aprovechamiento es para el riego de las áreas de cultivo de la zona alto andina.

El río Lurín por no encontrarse regulado en su parte alta tiene un comportamiento similar a otros ríos de costa, es decir torrentoso, con descargas altas concentradas en el periodo de avenida del río durante los 3 primeros meses del año y en los meses restantes las descargas van disminuyendo gradualmente hasta el mes de noviembre, con descargas muy bajas y decrecientes y hasta se seca en su curso inferior cuando se practica el corte del agua en la parte para el reparto de agua de riego. La descarga media anual registrada en la Estacion Manchay, para el periodo de registro Enero 1938 a Diciembre 2003, en la estación Limnimitrica de Manchay Bajo, que controla el 60% aproximadamente del área bajo riego del valle Lurín, fue de 4.49 m<sup>3</sup>/seg que representa un volumen medio anual de 139.64 MMC, y a una persistencia del 75% que representaría un volumen disponible de 86.29 MMC. El río Lurín descarga el 68.3% de su volumen promedio anual durante los 3 meses que dura el periodo de avenida (Enero a Noviembre), el 11.4% durante los 7 meses que constituyen el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre) y el 20.3% restante durante los dos periodos transicionales que tiene en conjunto una duración de 02 meses (Abril y Diciembre). Ver Tabla N°5 y Figura N°11

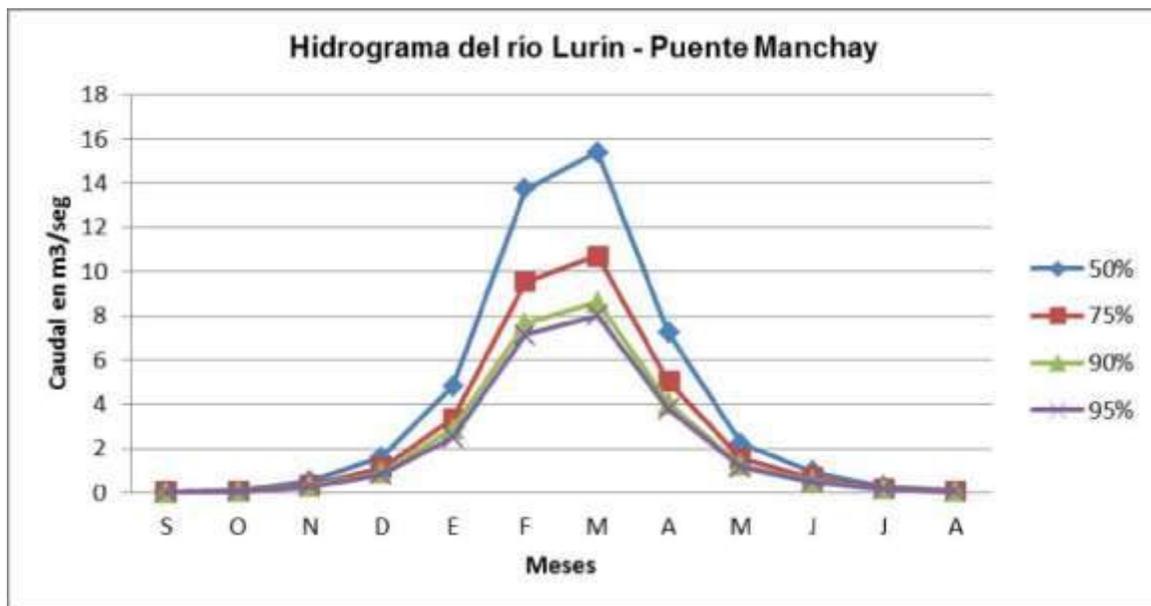


Figura N°11 Hidrograma del río Lurín

Persistencia (%)	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
50	0.04	0.08	0.51	1.59	4.82	13.72	15.41	7.23	2.22	0.94	0.27	0.08
75	0.03	0.06	0.35	1.10	3.35	9.54	10.71	5.03	1.54	0.65	0.19	0.06
90	0.02	0.05	0.28	<b>0.88</b>	2.89	7.66	8.61	4.04	1.24	0.52	0.15	0.05
95	0.02	0.04	0.27	0.82	2.50	7.13	8.01	3.76	1.15	0.49	0.14	0.04

Tabla N°5 persistencia del río Lurín

### 3.5.1 CAUDALES

El río Lurín al igual que la mayoría de los ríos de la costa, presenta un régimen de descargas irregulares y de carácter torrencioso con una diferencia bastante pronunciada entre sus valores extremos. La descarga media anual en la Estación Manchay durante el periodo 1961 – 2003 fue de 4.76 m<sup>3</sup>/seg.

El río Lurín descarga el 68.3% de su volumen promedio anual durante los 3 meses que dura el periodo de avenidas (Enero a Marzo), el 11.4% durante los 7 meses que constituyen el periodo de estiaje (Mayo a Noviembre) y el 20.3% restante durante los dos periodos transicionales que tiene en conjunto una duración de 2 meses (Abril a Diciembre). Tabla N°6 y Figura N°12

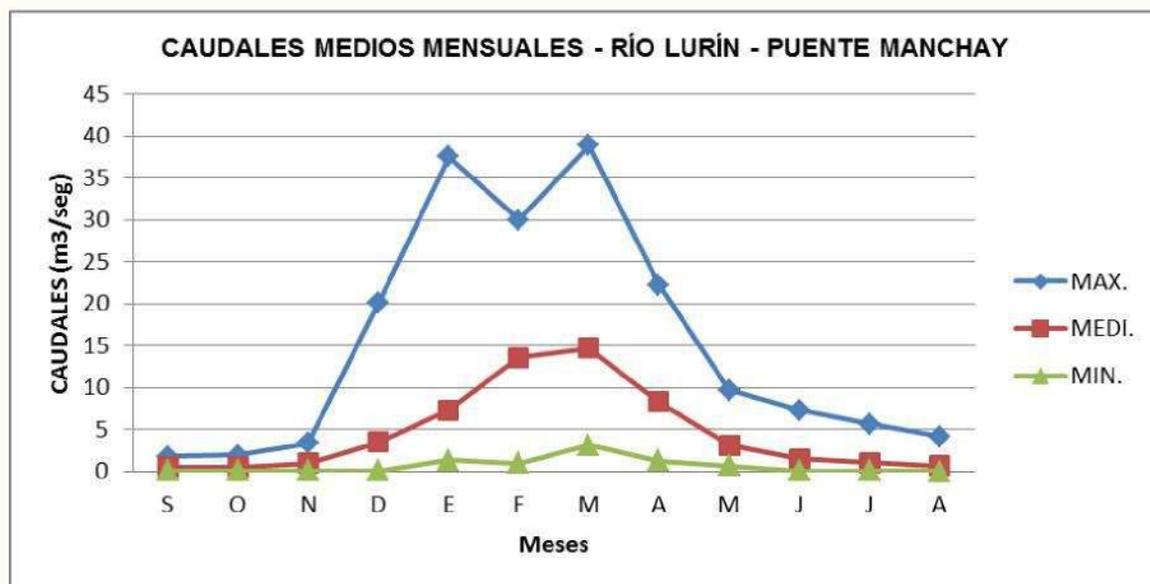


Figura N°12 Caudales mensuales Río Lurín

	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
<b>Max.</b>	<b>1.78</b>	<b>1.90</b>	<b>3.34</b>	<b>20.12</b>	<b>37.55</b>	<b>30.02</b>	<b>38.86</b>	<b>22.25</b>	<b>9.71</b>	<b>7.31</b>	<b>5.70</b>	<b>4.16</b>
<b>Medi.</b>	<b>0.49</b>	<b>0.50</b>	<b>0.95</b>	<b>3.51</b>	<b>7.29</b>	<b>13.57</b>	<b>14.71</b>	<b>8.29</b>	<b>3.09</b>	<b>1.51</b>	<b>1.05</b>	<b>0.69</b>
<b>Min</b>	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>1.34</b>	<b>0.94</b>	<b>3.09</b>	<b>1.28</b>	<b>0.68</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	<b>0.02</b>

Tabla N° 6 Caudales Río Lurín

### 3.6 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

#### 3.6.1 LITOLOGÍA DEL ACUIFERO

El reservorio acuífero subterráneo del valle Lurín, está representado por los depósitos aluviales cuaternarios de origen fluvio – aluvial, que se encuentran en el canal erosionado de las rocas pre – cuaternarias consolidadas, que constituyen el basamento del acuífero. El relleno aluvial reciente y antiguo, se encuentra delimitado lateralmente en ambas márgenes del río, por cadenas de lomadas y cerros compuestos de rocas consolidadas sedimentarias, ígneas y metamórficas, con elevaciones importantes que le confieren un relieve encañonado en la parte alta del valle hacia aguas abajo, este relieve adopta secciones variables con una tendencia de aumento hasta su cono de deyección en la parte baja del valle las Quebradas tributarias del río Lurín, ahora secas se encuentran más elevadas, pero interdigitadas con los depósitos aluviales más recientes del Cuaternario.

Por el proceso dinámico de la formación del relleno cuaternario reciente, los materiales más gruesos se encuentran generalmente en la parte alta y media alta y los menos gruesos se encuentran generalmente en la parte alta y media alta y los menos gruesos con matrices finas en la parte baja del valle Lurín. Los modelos litológicos de estos materiales. Específicamente en cuanto a su granulometría, tienen relación con las distancias recorridas y los cambios climáticos de los periodos glaciares e interglaciares recientes. De la misma manera la forma de los materiales, angulosos, sub-angulosos y con matriz generalmente de limo o arena fina; y el modelo litológico de

los materiales aluviales recientes, presentan formas mayormente menos angulosas a subredondeadas por las distancias recorridas. En forma general las alternancias de materiales gruesos permeables con lentes o estratos de limos o arcillas, están relacionadas a los cambios climáticos y los años hidrológicos muy húmedos, húmedos o secos, que originan regímenes de flujos de aguas superficiales torrentosos o turbulentos o de deposición de materiales en calma.

Las características físicas y químicas de los materiales fluvio-aluviales, tienen relación con los tipos de rocas predominantes en la cuenca del río Lurín. Los materiales detríticos, tienen forma de bloques, cantos rodados, gravas arenas, arenas limos y arcillas.

Las variaciones de la granulometría de los materiales fluvio-aluviales en tamaño y forma y las intercalaciones que se dan entre materiales gruesos permeables con sedimentos finos, explica las variaciones de la permeabilidad en sentido horizontal y vertical.

### **3.7 PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO ROCOSO**

Para el análisis y los diagramas de la profundidad del basamento rocoso en el Valle del Río Lurín, ha sido analizada con los resultados alcanzados por los estudios geofísicos elaborados por el consultor Ing. Alfonso Velásquez Savatti Enero 1997, las cuales estuvieron disponibles por el equipo de Aguas Subterráneas de la Empresa SEDAPAL.

La cuenca del Valle del Río Lurín tiene una forma alargada en la parte alta del valle y ensanchada en la parte media del valle y del litoral costero. Se ha determinado que el basamento rocoso del acuífero del Valle Lurín, presenta una morfología con elevaciones y depresiones en algunos sectores del Valle.

Para la elaboración de los diagramas y el cálculo de las profundidades del basamento rocoso, han sido elaborados por Sondajes Eléctricos Verticales los cuales fueron elaborados en el ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL POTENCIAL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURIN elaborado para Empresa SEDAPAL por el Ing. Alfonso Velásquez Savatti Enero 1997. Los diagramas transversales del acuífero del Valle del Río Lurín se presentan en la Anexo 1- Lamina N°1

### **SECCION A-A'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección A-A' se elaboró 10 sondajes eléctricos verticales con sentido E-W. Las cuales estas mostraron presencia de material granular, la cual su profundidad del basamento rocoso varía entre 140 a 175 metros cerca a la playa. Ver Anexo - Lamina N°1A

### **SECCION B-B'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección B-B' se elaboró 6 sondajes eléctricos verticales con sentido NE-SW. Las cuales mostraron presencia de material rocoso con una fuerte pendiente cuyas profundidades varían entre 70 a 150 metros. Ver Anexo - Lamina N°2A

### **SECCION C-C'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección C-C' se elaboró 3 sondajes eléctricos verticales con sentido NE-SW. Las cuales mostraron presencia de material rocoso, cuyas profundidades varían entre 70 a 120 metros. Ver Anexo - Lamina N°3ª

### **SECCION D-D'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección D-D' se elaboró 8 sondajes eléctricos verticales con sentido NW-SE. Las cuales mostraron presencia de material granular

grueso y fina. En la sección también se puede observar que el acuífero presenta un levantamiento en la parte central. Cuyas profundidades varían entre los 100 a 200 metros. Ver Anexo - Lamina N°4A

### **SECCION E-E'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección E-E' se elaboró 4 sondajes eléctricos verticales con sentido NW-SE. Las cuales mostraron presencia de material granular y fina. La cual presenta un basamento que varía entre los 105 a 140 metros. Ver Anexo - Lamina N°5A<sup>a</sup>

### **SECCION F-F'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección F-F' se elaboró 5 sondajes eléctricos verticales con sentido NW-SE. Las cuales mostraron presencia de material granular y fina. La cual presenta un basamento que varía entre los 50 a 145 metros. Ver Anexo - Lamina N°6A

### **SECCION G-G'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección G-G' se elaboró 3 sondajes eléctricos verticales con sentido NW-SE. Las cuales mostraron presencia de material granular y fina. La cual presenta un basamento que varía entre los 150 a 200 metros. Ver Anexo - Lamina N°7A

### **SECCION H-H'**

Para la elaboración de la sección del corte transversal de la sección H-H' se elaboró 4 sondajes eléctricos verticales con sentido NW-SE. Las cuales mostraron presencia de material granular y

fina. La cual presenta un basamento que varía entre los 70 a 140 metros. Ver Anexo - Lamina N°8A

### **3.8 PARAMETROS HIDRAULICOS**

Los parámetros hidrodinámicos como Transmisividad ( $T$  m<sup>2</sup>/día) y Permeabilidad ( $K$  m<sup>2</sup>/día) son muy útiles ya que estos datos nos muestra el comportamiento del agua dentro del acuífero y como esta se traslada.

Para la interpretación y estudio de los parámetros hidrodinámicos del acuífero del Valle del Río Lurín, han sido evaluados por los resultados de las pruebas de bombeo elaboradas por la Empresa SEDAPAL.

La prueba consta de 29 pruebas experimentales a caudal constante Ver anexo 2. Las cuales se encuentran ubicados en distintos sectores del Valle Lurín, las cuales estas pruebas datos entre los años 1969 y 1996 las cuales también estas prueba de bombeo presentan sus graficos semi-logaritmicos. Estas pruebas a caudal constante, han tenido como objetivo principal determinar sus parámetros hidrodinámicos de transmisividad ( $T$ ), y permeabilidad ( $K$ ).

Estas pruebas de bombeo se han realizado en dos fases, la primera se denomina “Descenso del nivel de agua”, la cual comprende el periodo de bombeo y la segunda fase “Recuperación del nivel de agua”, el cual consiste desde que se detiene el periodo de bombeo y se prolonga hasta la recuperación del nivel estático inicial, medido inicialmente en el pozo.

## **A) TRANSMISIVIDAD**

El cálculo o interpretación de la transmisividad del acuífero tiene una relación directa con la permeabilidad y el espesor del acuífero. De los ensayos de pruebas de bombeo para el Valle del Río Lurín se consideró los siguientes rangos de variación. Ver Anexo 1 – Lamina N°2

K. En la Zona del Distrito de Lurin se encontró una variación de:  $1.49 \times 10^{-02}$  m<sup>2</sup>/seg (1289.088 m<sup>2</sup>/dia) a  $1.69 \times 10^{-02}$  m<sup>2</sup>/seg (1460.160 m<sup>2</sup>/dia)

L. En la Zona de Manchay se encontró una variación de:  $1.40 \times 10^{-02}$  m<sup>2</sup>/seg (1209.600 m<sup>2</sup>/dia) a  $3.35 \times 10^{-02}$  m<sup>2</sup>/seg (2894.400 m<sup>2</sup>/dia)

M. En la Zona de Pachacamac se encontró una variación de:  $1.00 \times 10^{-03}$  m<sup>2</sup>/seg (86.400 m<sup>2</sup>/dia) a  $5.23 \times 10^{-02}$  m<sup>2</sup>/seg (4518.720 m<sup>2</sup>/dia)

N. En la Zona de Cieneguilla se encontró una variación de:  $4.89 \times 10^{-03}$  m<sup>2</sup>/seg (422.496 m<sup>2</sup>/dia) a  $9.85 \times 10^{-03}$  m<sup>2</sup>/seg (851.040 m<sup>2</sup>/dia)

O. De Los rangos de variación de transmisividad para los diferentes distritos del acuífero del valle del Río Lurín se obtuvo que la zona de Lurín presenta una transmisividad alta, para Manchay presenta una transmisividad alta, Pachacamac presenta zonas de baja y muy alta transmisividad, Cieneguilla presenta una alta transmisividad.

## **B) PERMEABILIDAD**

P. Para el cálculo de la permeabilidad se determinó con los datos de la transmisividad obtenidos en las prueba de bombeo. Los cuales se consideraron los siguientes rangos de variación.

- Q. En la Zona del Distrito de Lurin se encontró una variación de:  $3.35 \times 10^{-4}$  m/seg (28.94 m/día) a  $2.97 \times 10^{-4}$  m/seg (25.66 m/día)
- R. En la Zona de Manchay se encontró una variación de:  $2.65 \times 10^{-4}$  m/seg (22.90 m/día) a  $5.49 \times 10^{-4}$  m/seg (47.43 m/día)
- S. En la Zona de Pachacamac se encontró una variación de:  $1.66 \times 10^{-5}$  m/seg (1.43 m/día) a  $7.42 \times 10^{-4}$  m/seg (64.11 m/día)
- T. En la Zona de Cieneguilla se encontró una variación de:  $7.19 \times 10^{-5}$  m/seg (6.21m/día) a  $5.29 \times 10^{-4}$  m/seg (45.71m/día)
- U. De Los rangos de variación de permeabilidad para los diferentes distritos del acuífero del valle del Río Lurín se obtuvo que la zona de Lurín presenta una permeabilidad alta, para Manchay presenta una permeabilidad alta, Pachacamac presenta zonas de media y muy alta permeabilidad, Cieneguilla presenta una zona de media y alta permeabilidad.

### **3.9 INVENTARIOS DE FUENTES DE AGUA**

La elaboración del inventario de fuentes de agua subterráneas de la cuenca del Valle del Río Lurín se basa en dos fuentes de información, la primera por la Dirección de Recursos Hídricos – Intendencia de Recursos Hídricos INRENA año 2005 y el segundo por el Equipo de Agua Subterráneas (EASu) de SEDAPAL.

Los cuales para la elaboración del inventario de fuentes de agua se dividirán en pozos.

En el inventario de fuentes de agua para INRENA, está compuesto por pozos según su estado, uso, y su distribución según equipamiento.

En el caso de SEDAPAL, está dividido por su tipo de uso, y el estado de los pozos.

### **3.10 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA – FUENTE INRENA**

#### **DISTRIBUCION DE POZOS POR DISTRITO**

Para la elaboración de pozos según INRENA del año 2005 Tabla N°7, existen 1230 pozos entre tubulares y de tajo abierto, de los cuales Lurín presenta el 43.01%, Pachacamac 46.75%, Cieneguilla 10.24%. Ver Anexo – Lamina N°3.

DISTRITO	N° POZOS	%
Lurín	529	43.01
Pachacamac	575	46.75
Cieneguilla	126	10.24
TOTAL	1230	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°7 Distribución de pozos por distrito Valle Río Lurín

#### **TIPOS DE POZOS**

##### **A. POZOS TUBULARES**

Según el inventario elaborado por INRENA en el año 2005 se ha inventariado 67 pozos tubulares en toda la cuenca del Valle del Río Lurín los cuales el distrito de Pachacaman tiene el 3.01% del total de pozos inventariados, Lurín el 1.38%, y Cieneguilla el 1.06% del total. Ver Tabla N°8

##### **B. POZOS A TAJO ABIERTO**

Los pozos a tajo abierto son los tipos de pozos más comunes que existen en la cuenca del Valle del Río Lurín, principalmente en el distrito de Pachacamac, el cual presenta una cantidad de 1,149 pozos, el cual es el 93.41% del total del inventario. El distrito de Pachacamac tiene 532 pozos a

tajo abierto el cual es el 43.25%, seguido por Lurín con 41.14% y Cieneguilla con 9.02%. Ver Tabla N°8

### C. POZOS MIXTOS

En la Cuenca del Valle del Río Lurín se ha registrado 14 pozos mixtos los cuales representan 1.14% del total del inventario de pozos presentes en la cuenca. Lurín y Pachacamac presentan el 0.49% del total, y Cieneguilla el 0.16% del inventario. Ver Tabla N°8

DISTRITO	TUBULAR		TAJO ABIERTO		MIXTO		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	17	1.38	506	41.14	6	0.49	529	43.01
Pachacamac	37	3.01	532	43.25	6	0.49	575	46.75
Cieneguilla	13	1.06	111	9.02	2	0.16	126	10.24
TOTAL	67	5.45	1149	93.41	14	1.14	1230	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°8 Distribución de pozos por su tipo Valle Río Lurín

No todos estos pozos como se muestra en el Ver Tabla N°9. Son pozos utilizables, en la cuenca del Valle del Río Lurín existen pozos que están inoperativos entre los tubulares, mixtos, y a tajo abierto. El cual se presentara en el siguiente.

DISTRITO	TUBULAR		TAJO ABIERTO		MIXTO		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	413	43.98	10	1.06	4	0.43	427	45.47
Pachacamac	388	41.32	24	2.56	3	0.32	415	44.20
Cieneguilla	87	9.27	8	0.85	2	0.21	97	10.33
TOTAL	888	94.57	42	4.47	9	0.96	939	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°9 Distribución de pozos utilizados según su tipo Valle Río Lurín

Como se puede apreciar en la Tabla N°5. Que de 1230 pozos existentes en el Valle del Río Lurín solo 939 son utilizables. El Distrito de Lurín presenta el 45.47% del total de pozos utilizables de los cuales 413 son pozos tubulares, 10 a tajo abierto y 4 son mixtos. Seguido por Pachacamac que presenta una cantidad 415 pozos utilizables de los cuales 388 son tubulares, 24 a tajo abierto, 3 son mixtos. Esto nos presenta que en los distritos de Lurín y Pachacamac hay una mayor explotación de reservas de agua subterráneas.

### **DISTRIBUCION DE LOS POZOS SEGÚN SU ESTADO**

Según INRENA la mayor cantidad de pozos perforados se encuentran en el distrito de Pachacamac con 575 pozos el cual representa el 46.75%, seguido por Lurín con 529 pozos (43.01%), y finalmente Cieneguilla con 126 pozos (10.24%). Ver Tabla N°10

DISTRITO	UTILIZADO		UTILIZABLE		NO UTILIZABLE		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	427	34.72	100	8.13	2	0.16	529	43.01
Pachacamac	415	33.74	152	12.36	8	0.65	575	46.75
Cieneguilla	97	7.89	25	2.03	4	0.33	126	10.24
TOTAL	939	76.34	277	22.52	14	1.14	1230	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°10 Distribución de pozos por su estado Valle Río

### **Lurín DISTRIBUCION DE POZOS SEGÚN EL TIPO DE USO HUMANO**

Según INRENA existen 939 pozos utilizables, de los cuales uso es variado como se puede apreciar en el Ver Tabla N°11 .los cuales se dividen por su tipo de uso humano que le dan al agua subterránea como doméstico, agrícola, pecuario, industrial.

En el Ver Tabla N°4.se puede ver que en Lurín 193 pozos (20.55%) de los 427 pozos son para uso Agrícola, Pachacamac presenta 213 pozos (22.68%) de los 415 pozos son para uso doméstico, y

Cieneguilla presenta la menor cantidad de pozos explotados dominando para este distrito el uso doméstico con 50 pozos (5.32%) sobre el uso agrícola con 45 pozos (4.79%) de los 97 pozos existentes.

DISTRITO	DOMESTICO		AGRICOLA		PECUARIO		INDUSTRIAL		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	182	19.38	193	20.55	45	4.79	7	0.75	427	45.47
Pachacamac	213	22.68	181	19.28	21	2.24	0	0.00	415	44.20
Cieneguilla	50	5.32	45	4.79	2	0.21	0	0.00	97	10.33
TOTAL	445	47.39	419	44.62	68	7.24	7	0.75	939	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°11 Distribución de pozos utilizados según el tipo de uso Humano Valle Río Lurín

#### A. POZOS PARA USO DOMESTICO

En el inventario elaborado por INRENA se ha registrado 445 pozos que representan el 47.39% del total de pozos utilizados, las cuales la mayoría se encuentran en el distrito de Pachacamac con 213 pozos, seguido por Lurín con 182 pozos, y Cieneguilla con 50 pozos. Ver Tabla N°12

DISTRITO	TUBULAR		TAJO ABIERTO		MIXTO		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	180	40.45	1	0.22	1	0.22	182	40.90
Pachacamac	201	45.17	12	2.70	0	0.00	213	47.87
Cieneguilla	44	9.89	6	1.35	0	0.00	50	11.24
TOTAL	425	95.51	19	4.27	1	0.22	445	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°12 Distribución de pozos utilizados de tipo domestico Valle Río Lurín

#### B. POZOS PARA USO AGRICOLA

Del inventario elaborado por INRENA se ha registrado 419 pozos los cuales representa el 44.62% del total de pozos utilizables, el distrito de Lurín presenta la mayor cantidad de pozos para este uso

con 193 pozos (20.55%), seguido por Pachacamac con 181 pozos (19.28%), y Cieneguilla con 45 pozos (4.79%). Ver Tabla N°13

DISTRITO	TUBULAR		TAJO ABIERTO		MIXTO		TOTAL	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Lurín	185	44.15	6	1.43	2	0.48	193	46.06
Pachacamac	166	39.62	12	2.86	3	0.72	181	43.20
Cieneguilla	41	9.79	2	0.48	2	0.48	45	10.74
TOTAL	392	93.56	20	4.77	7	1.67	419	100

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°13 Distribución de pozos utilizados de tipo agrícola Valle Río Lurín

### C. POZOS DE USO PECUARIO

Del inventario elaborado por INRENA se ha registrado 68 pozos los cuales estos representan el 7.24% del total de pozos utilizables, el distrito de Lurín presenta 45 pozos (4.79%), seguido por Pachacamac con 21 pozos (2.24%) y finalmente Cieneguilla con 2 pozos (0.21%)

### D. POZOS DE USO INDUSTRIAL

Del inventario elaborado por INRENA se ha registrado 7 pozos los cuales estos representan el 0.75% del total de pozos utilizables, siendo 4 pozos a tajo abierto y 3 pozos tubulares, de tal manera este distrito representa una mayor demanda del uso de la fuente de agua para estos fines.

## MANANTIALES

INRENA ha elaborado un inventario de manantiales en la Cuenca del Valle del Río Lurín un total de 13 manantiales, de las cuales el tipo de uso que le dan a estas fuentes es para fines agrícolas y uso doméstico.

Ver Tabla N°14

DISTRITO	MANANTIAL	SECTOR	CAUDAL (l/seg)	ESTADO	USO	EXPLOTACION ANUAL (m3)
Lurín	M1	Julio C. Tello	30	Utilizado	Agrícola	315,360.00
	M2	Buenavista Baja	55	Utilizado	Agrícola	578,160.00
	M3	Cerro Colorado	15	Utilizado	Agrícola	157,680.00
Pachacamac	M1	Cuayabo	22	Utilizado	Agrícola	231,264.00
	M2	Manchay Bajo	16	Utilizado	Agrícola	168,192.00
	M3	Tambo Bajo	32	Utilizado	Agrícola	336,384.00
	M4	Los Sauces	12	Utilizado	Agrícola	126,144.00
	M5	Pan de Azúcar	25	Utilizado	Agrícola	262,800.00
	M6	Picapiedra	14	Utilizado	Agrícola	147,168.00
	M7	La Capitana	9	Utilizado	Agrícola	47,304.00
Cieneguilla	M1	Molle Bajo	16	Utilizado	Agrícola	504,576.00
	M2	Cóndor Huaca Molina	28	Utilizado	Agrícola	294,336.00
	M3	Huaycán	25	Utilizado	Agrícola	262,800.00

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°14 Características generales de los manantiales Valle Río Lurín

### 3.11 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA – FUENTE SEDAPAL

SEDAPAL cuenta con un inventario de 1307 pozos elaborados por el Equipo de Aguas Subterráneas (EASu). De los cuales existen 1267 pozos los cuales ubicados en la cuenca del Valle del Río Lurín los cuales representan el (96.94%), y siguiendo a sedapal con un total de 40 pozos que representan el 3.06%. Ver Tabla N°15

TIPO DE POZO	N° POZOS	%
Pozos terceros	1267	96.94%
Sedapal	40	3.06%
TOTAL	1307	100.00

FUENTE SEDAPAL

Tabla N°15 Distribución de pozos Valle Río Lurín

### **3.12 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO**

Para la elaboración y análisis de la explotación del acuífero, se comparara los volúmenes calculados por las dos identidades INRENA y el Equipo de Aguas Subterráneas (EASu) SEDAPAL.

### **3.13 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO – FUENTE INRENA**

INRENA en su informe “INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA EN VALLE DE LURÍN” del año 2005. Se elaboró dos análisis de explotación la primera en el año 1981 y otra en el año 2005.

#### **3.13.1 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO EN EL AÑO 1981**

En el año 1981 se registraron en la cuenca del Valle del Río Lurín un total de 692 pozos, del cual 86 pozos eran tubulares, y 606 eran a tajo abierto. De los 692 pozos 516 pozos eran utilizados, 84 utilizables y 92 no utilizables. De los 516 pozos utilizables 221 eran para uso doméstico, 177 de uso agrícola, 110 para uso pecuario y 8 para uso industrial.

De esta manera se registró un volumen de agua explotado para el año 1981 un total de 16'000,000 m<sup>3</sup> (16.00 MMC), que equivale a un caudal continuo de explotación de 0.51 m<sup>2</sup>/seg. El cual su uso mayor era para uso agrícola y domestico

#### **3.13.2 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO EN EL AÑO 2005**

En el año 2005 se registró un volumen de explotación del acuífero del Valle del Río de Lurín el cual fue de 13'649,922.71 m<sup>3</sup> (13.65 MMC), el cual equivale a un caudal continuo de 0.43 m<sup>3</sup>/seg. Ver Tabla N°16

DISTRITO	VOLUMEN DE EXPLOTACIÓN (m <sup>3</sup> )				TOTAL
	AGRICOLA	DOMESTICO	PECUARIO	INDUSTRIAL	
Lurín	1'937,310.30	555'935,16	218,736.06	92,665.40	2'804,646.92
Pachacamac	1'405,621.00	7'213,230.89	152,990.30		8'771,842.59
Cieneguilla	457,497.80	1'520,823.40	95,112.00		2'073,433.20
TOTAL	3'800,429.10	9'289,989.45	466,838.36	92,665.40	13'649.922.71

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°16 Pozos de explotación por su uso Valle Río Lurín

Del volumen total explotado se tiene que el 9'289,989.45 m<sup>3</sup> que representa el 68.06% de agua explotada es para uso doméstico, seguido por el uso agrícola con 3'800,429.10 m<sup>3</sup> que representa el 27.84%. Ver

Tabla N°17

Como se puede ver también que el distrito de Pachacamac es que mayor explotación de volumen

de agua con 8'771,842.19 m<sup>3</sup>.

DISTRITO	VOLUMEN DE EXPLOTACIÓN (m <sup>3</sup> )								TOTAL
	AGRICOLA		DOMESTICO		PECUARIO		INDUSTRIAL		
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
Lurín	1,937,310.30	14.19%	555,935.16	4.07%	218,736.06	1.60%	92,665.40	0.68%	2,804,646.92
Pachacamac	1,405,621.00	10.30%	7,213,230.89	52.84%	152,990.30	1.12%			8,771,842.19
Cieneguilla	457,497.80	3.35%	1,520,823.40	11.14%	95,112.00	0.70%			2,073,433.20
TOTAL	3,800,429.10	27.84%	9,289,989.45	68.06%	466,838.36	3.42%	92,665.40	0.68%	13,649,922.31

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°17 Distribución de pozos por su estado Valle Río Lurín

### 3.14 EXPLOTACIÓN DEL ACUIFERO – FUENTE SEDAPAL

El Equipo de Aguas Subterráneas (EASU) SEDAPAL, lleva un control mensual de la explotación de sus pozos y de los terceros en lo que corresponde al uso industrial, comercial y doméstico.

Sedapal en el año 2007 la explotación del agua subterránea alcanzo a 14.84 MMC/año, de los cuales 8.78 MMC/año corresponde al uso doméstico, 2.74 MMC/año al uso agrícola, 0.45 MMC/año al uso pecuario y 2.87 MMC/año al uso industrial.

### 3.15 EXPLOTACION DEL ACUIFERO DE LURÍN POR USO AÑO 2007

Como se puede apreciar en la Tabla N° 18 se tiene la explotación histórica entre los años 1997 y 2007, donde se puede apreciar que la mayor explotación de agua subterránea se llevó en los años 2000 y 2007

USOS	AÑOS			
	1997	2000	2005	2007
DOMESTICO	7.45	10.3	8.1	8.78
AGRICOLA	3.04	1.81	3.2	2.74
PECUARIO	0.12	0.32	0.55	0.45
INDUSTRIAL	1.05	0.99	1.45	2.87
TOTAL(MMC/año)	11.66	13.42	13.3	14.84

Fuente: Modelamiento matematico del acuífeo Lurín - Sedapal

Tabla N°18 Explotación del acuífero de Lurín por uso Año 2007

### 3.16 BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO DE LURÍN

El recurso hídrico de la cuenca del valle del Lurín, tiene como principal agente al río Lurín, el cual se ha hecho un registro en el puente ANTAPUCRO, cabecera del valle, el cual se estima un volumen anual del 75% de persistencia de 82 MMC, como se puede Ver Tabla N°19 .En el valle también abundan matinales, que afloran un volumen anual de 3.5 MMC Según INRENA año 2005 Ver Figura N°13

Persistencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
50%	7.06	10.49	13.49	5.98	2.04	0.65	0.25	0.14	0.2	0.41	0.97	3.25	3.74
75%	5.23	7.56	8.9	5.07	1.47	0.47	0.18	0.05	0.08	0.19	0.5	1.81	2.63
90%	3.07	4.98	6.43	2.9	0.94	0.35	0.14	0.03	0.03	0.05	0.3	1.21	1.7
95%	2.72	3.12	5.48	2.66	0.88	0.3	0.1	0	0	0.01	0.22	0.73	1.35

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°19 Caudales promedios mensuales M3 Puente Antapucro Valle Río Lurín

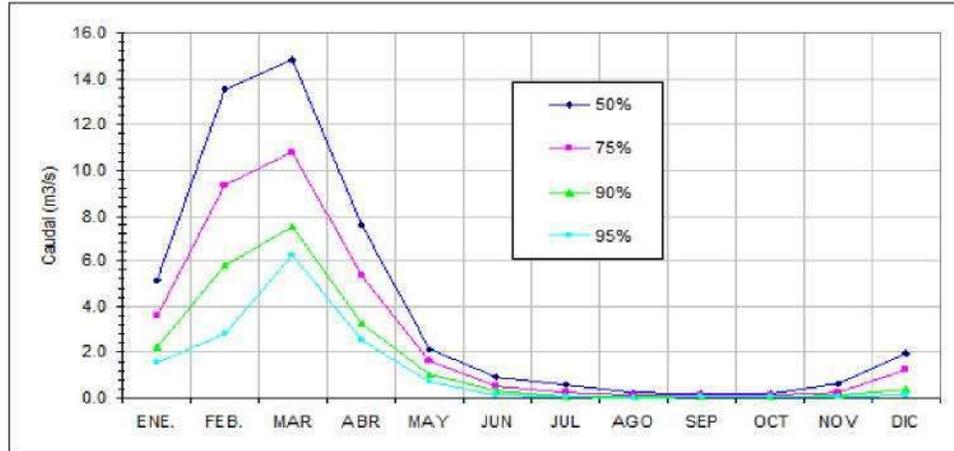


Figura N°13 Persistencia del Río Lurín – Puente Antapucro

### 3.17 RECARGA DEL ACUIFERO

La recarga del Acuífero del Valle del Río Lurín se genera principalmente por los aportes de filtraciones del Río Lurín en todo su cauce, y también por las áreas de riego, y por filtraciones de sistemas canales de derivación.

#### 3.17.1 RECARGA DIRECTA

Para la elaboración del análisis de la recarga directa se tomó como aporte principal el Río Lurín, los cuales se tomaron registro en el puente ANTAPUCRO, Ver Tabla N°20 y los sistemas de canales de derivación que llegan a la cuenca, de las cuales el 20% es filtración.

<b>BALANCE ANUAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	<b>MMC</b>
Recarga directa a través del lecho de río Lurín	3.27
Recarga directa en el sistema de conducción	21.02
<b>TOTAL RECARGA DIRECTA EN MMC/año</b>	<b>24.29</b>

FUENTE INRENA-2005

Tabla N°20 Recarga directa Valle Río Lurín

#### 3.17.2 RECARGA INDIRECTA

La recarga indirecta se produce generalmente por los aportes de las áreas de cultivo, el cual presenta un volumen anual de 26,71 MMC/año. Ver Tabla N°21

### RECARGA INDIRECTA EN EL AREA BAJO RIEGO EN VALLE DEL RÍO LURÍN

DISTRITO DE RIEGO	JUNTA DE USUARIOS	COMISIÓN DE REGANTES/BLOQUE	SUPERFICIE BAJO RIEGO (ha)	VOLUMEN ASIGNADO PROMEDIO (m³)	LAMINA AGUA APLICADA (mm)	FACTOR INFILTRACIÓN POR RIEGO	RECARGA (mm)	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (m3)
LURÍN CHILCA	LURÍN	Sub. Sec. Cieneguilla	258.45	2610000	1010	0.6	606	1,566,000.00
		Nueva Toledo	263.84	3415000	1294	0.6	777	2,049,000.00
		Cieneguilla	420.75	4928000	1171	0.6	703	2,956,800.00
		Condorhuaca	214.26	1237000	577	0.6	346	742,200.00
		Tambo Inga	509.83	2595000	509	0.6	305	1,557,000.00
		Jatosisa - Sotel	258.22	2486000	963	0.6	578	1,491,600.00
		Caña Hueca	331.39	2811000	848	0.6	509	1,686,600.00
		San Fernando	443.59	3726000	840	0.6	504	2,235,600.00
		Pan de Azucar	440.64	2411000	547	0.6	328	1,446,600.00
		Mejorada	792.71	5261000	664	0.6	398	3,156,600.00
		Venturosa	379.39	2309000	609	0.6	635	1,385,400.00
		Lurín	1407.74	10729000	762	0.6	457	6,437,400.00
<b>TOTAL</b>			<b>5720.81</b>	<b>44518000</b>				<b>26,710,800.00</b>

FUENTE-SEDAPAL

Tabla N°21 Recarga indirecta en el área bajo riego en Valle del Río Lurín

### 3.18 DESCARGA DEL ACUIFERO

Para la elaboración del análisis del uso de aguas subterráneas se ha considerado dos tipos de forma las que se producen de forma artificial, las cuales vienen son por el uso de pozos los cuales incluyen pozos de terceros y pozos hechos por Sedapal y las de tipo natural las cuales vienen a ser el uso de los 13 manantiales que son de uso Agrícola.

#### 3.18.1 DESCARGA ARTIFICIAL

Actualmente la cuenca del valle del Río Lurín cuenta con alrededor de 1307 pozos de explotación los cuales 1267 son de terceros, y 40 pertenecen al Equipo de Aguas Subterráneas (EASu) SEDAPAL. Estos pozos anualmente vienen explotando 21 MMC, para el año 2013.

#### 3.18.2 DESCARGA NATURAL

INRENA ha elaborado un inventario de 13 manantiales los cuales vienen siendo explotados para uso agrícola. Su volumen de explotación de dichos manantiales es de 3.4 MMC Ver Tabla N°13

### 3.19 BALANCE HIDRICO FINAL

Para el análisis del balance Hídrico se ha considerado los datos dados por INRENA del año 2005 y los datos de explotación de los pozos del año 2013 dado por el Equipo de Aguas Subterráneas (EASu) SEDAPAL. Ver Tabla N°22

TIPO	RECARGA MMC/AÑO	DESCARGA MMC/AÑO	VARIACIÓN DE RESERVAS MMM/AÑO
DIRECTO	24.29	-3.40	20.89
INDIRECTO	26.71		26.71
ARTICIAL		-24.40	-24.4
TOTAL	51	-27.80	23.20

Tabla N°22 Balance Hídrico

### 3.20 INTERPRETACIÓN DEL NIVEL PIEZOMETRICO

Para la ejecución del modelo matemático se ha considerado 27 pozos de observación ver Tabla N°23, de las cuales se ha elaborado el plano de ubicación ver anexo N°1, Lamina N°4 y de Hidroisohipsas. Ver Lamina N°5. El cual se trabajara desde el año 2000 hasta el 2013.

Distrito Nombre del Pozo	Nombre del Pozo	Cota del terreno	Este	Norte
<b>Lurín</b>				
3	Fortunato Blas	58.26	297580.00	8645946.00
10	PROVIESA	7.64	297398.80	8642271.82
21	Carlos Pretell	12.14	294358.84	8643466.79
28	Almonacid - IRHS N° 517	5.83	295858.83	8641776.82
48	Humberto Blas	6.83	293618.86	8642771.80
49	Camal Municipal	8.12	297318.80	8642351.82
52	Campo Mar U	5.36	294648.84	8642011.81
67	Michael Debakey 1	15.24	299060.00	8641890.00
95	Genaro Delgado Parker	4.36	295408.83	8641541.82
97	Alejandro Aquino	2.60	297508.80	8641051.83
103	Isidoro Mendoza	63.26	298188.79	8645061.78
167	Mateo Yaranga	76.40	295464.82	8647940.73
<b>Pachacamac</b>				
159	Ricardo Rendon	77.87	295796.81	8648537.72
171	Picapedra 1	137.57	296798.79	8651961.68
174	Familia Pretell/Octavio Riberos	152.25	297408.78	8653261.66
228	Pedro Rodriguez	88.54	296263.81	8649185.71
237	Hacienda Tomina/Juli Tamaris	109.41	297598.78	8650581.7
243	Ricardo Martinez	185.99	299978.74	8655051.64
257	Isabel Villanueva	110.70	296598.8	8650771.69
273	Donato Ambas (Chacra)	138.04	297238.79	8652561.67
291	Pedro Reyes	135.23	297878.78	8651941.68
311	Eduardo Saavedra	95.34	296578.8	8649831.71
334	Donato Ambas 2	138.22	296958.79	8652101.67
432	Antonio Porras	153.82	298690.77	8652713.67
<b>Cieneguilla</b>				
403	Perú Mercantil	274.09	301488.72	8656781.62
556	Jaime Eduardo Butrich Velayos	293.60	303566.68	8659791.58
628	PP-1 3era. Etapa Cieneguilla	386.85	307108.62	8663566.53

DATUM: WGS84

Tabla N°23 Niveles Piezómetros Pozos de observación Valle Río Lurín

### 3.21 HIDROGRAMAS DE LA VARIACIÓN DE LA NAPA EN POZOS DE OBSERVACIÓN REPRESENTATIVOS DEL VALLE DE LURÍN

Para la elaboración de los hidrogramas se tomó como consideración 16 pozos de los 27 pozos de observación desde los años 2002 hasta 2013. Ver Figuras del 14 al 25.

## HIDROGRAMAS DEL DISTRITO DE LURIN

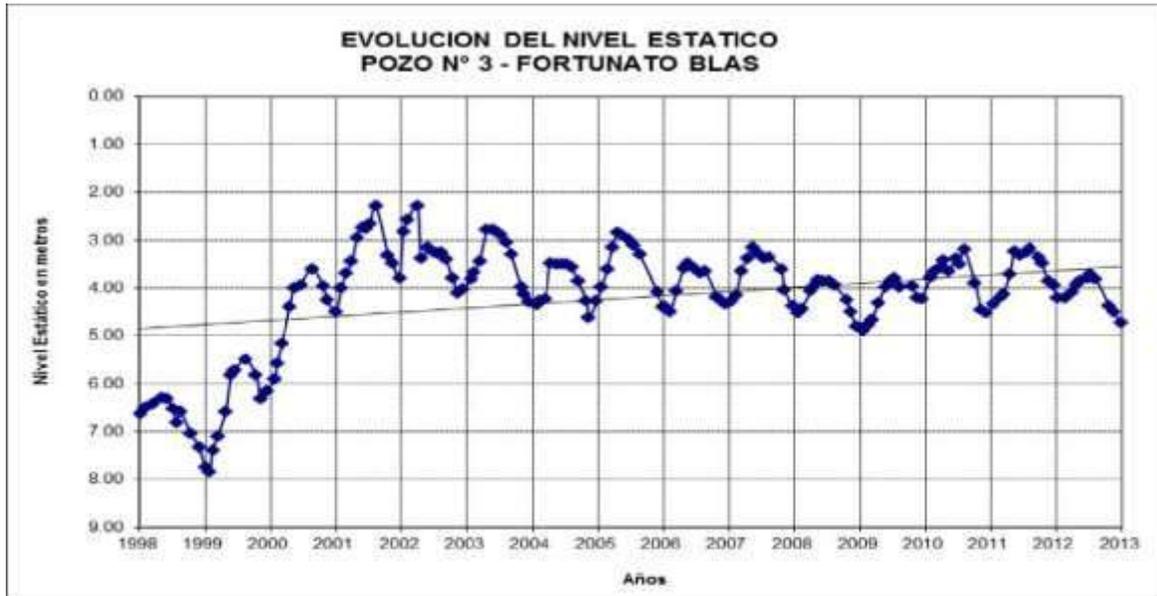


Figura N°14 Evolución estático Pozo N°3 años 1998 - 2013 (Distrito Lurín)

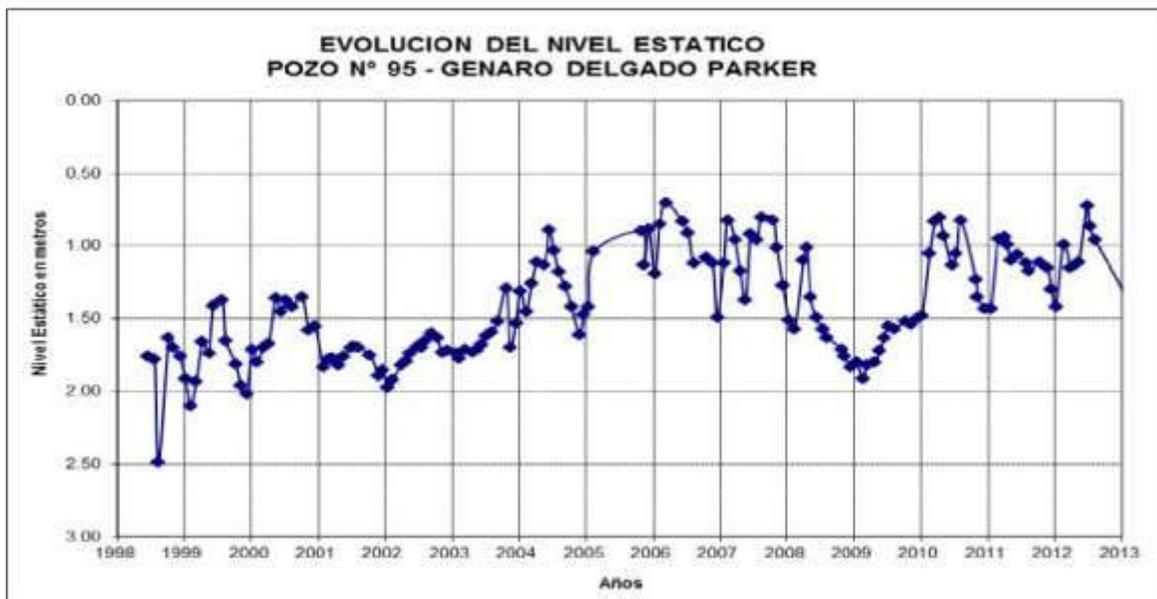


Figura N°15 Evolución estático Pozo N°95 años 1998 - 2013 (Distrito Lurín)

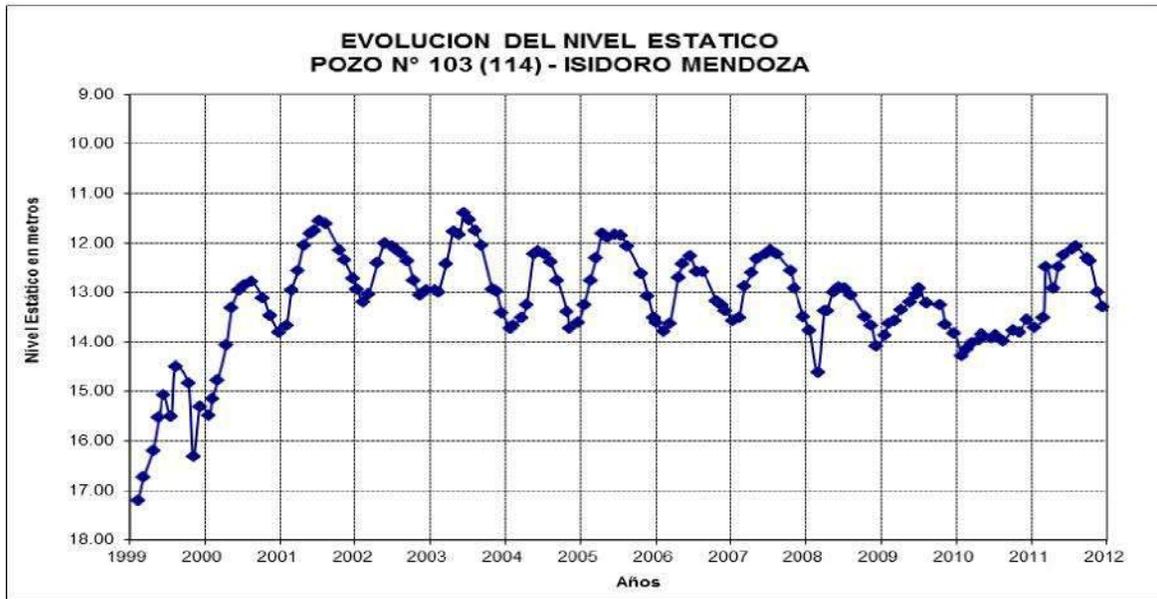


Figura N°16 Evolución estático Pozo N°114 años 1998 - 2013 (Distrito Lurín)

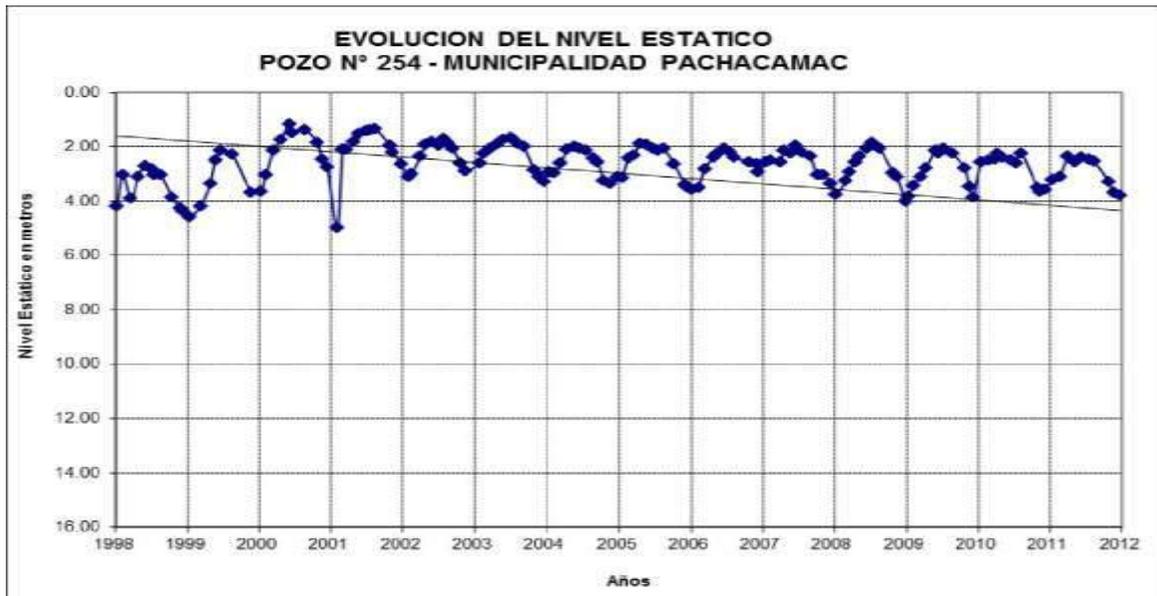


Figura N°17 Evolución estático Pozo N°254 años 1998 - 2013 (Distrito Lurín)

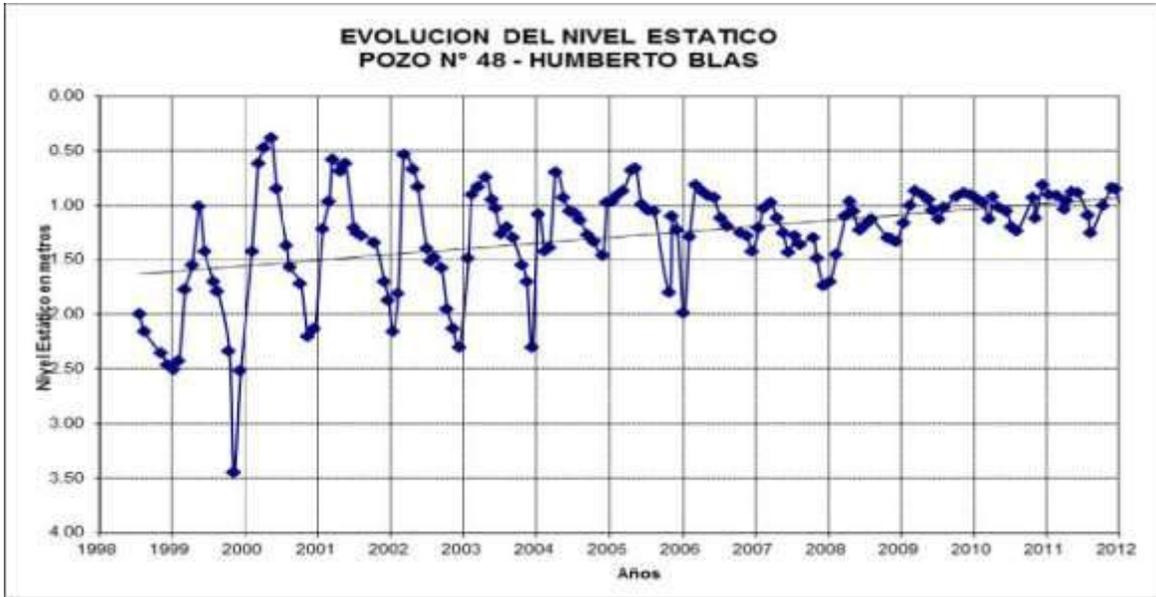


Figura N°18 Evolución estático Pozo N°48 años 1998 - 2013 (Distrito Lurín)

### HIDROGRAMAS DEL DISTRITO DE PACHACAMAC

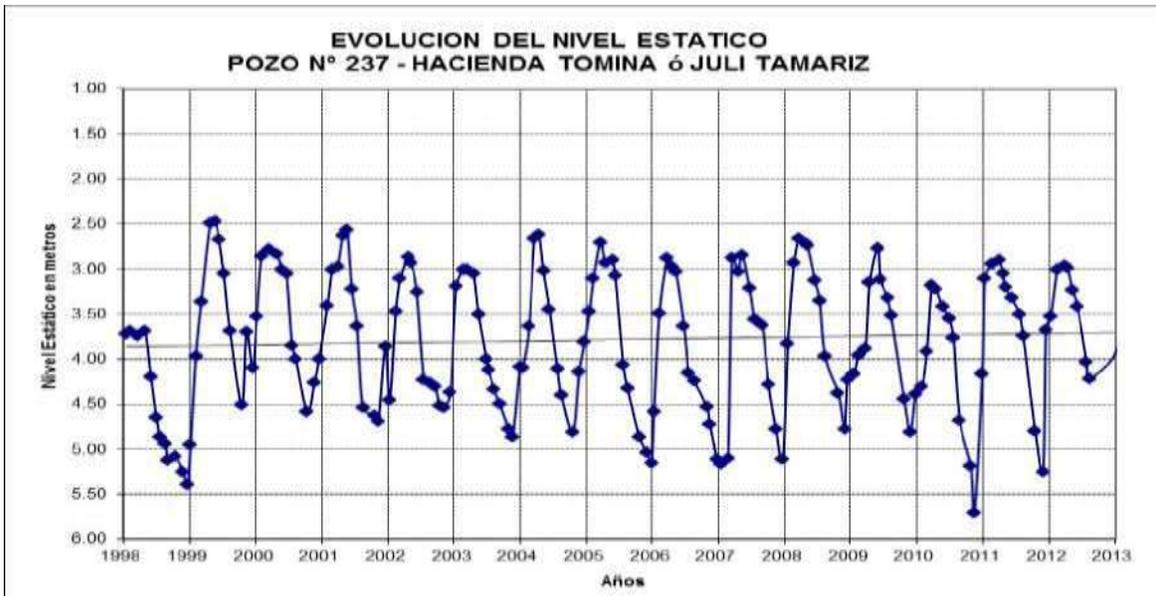


Figura N°19 Evolución estático Pozo N°237 años 1998 - 2013 (Distrito Pachacamac)

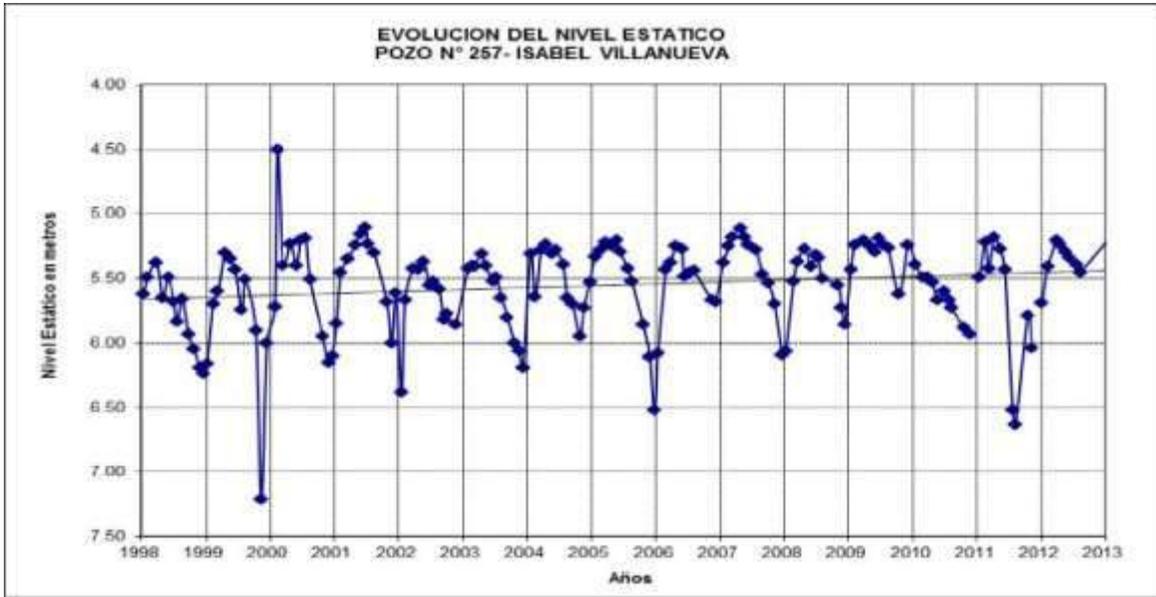


Figura N°20 Evolución estático Pozo N°257 años 1998 - 2013 (Distrito Pachacamac)

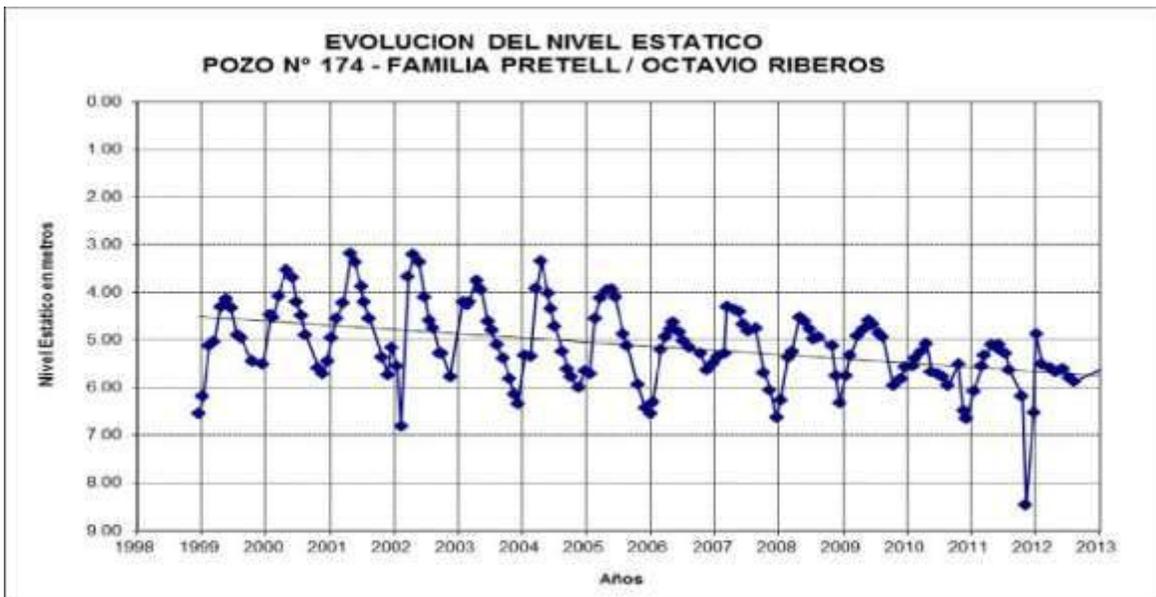


Figura N°21 Evolución estático Pozo N°174 años 1998 - 2013 (Distrito Pachacamac)

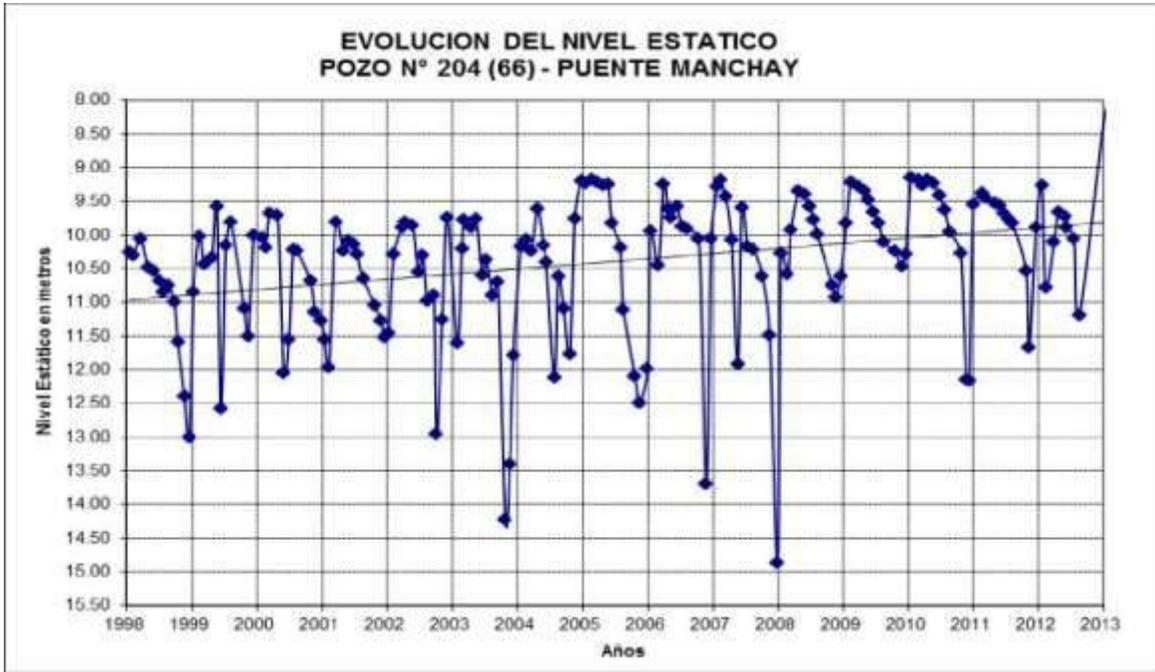


Figura N°22 Evolución estático Pozo N°204 años 1998 - 2013 (Distrito Pachacamac)

### HIDROGRAMAS DEL DISTRITO DE CIENEGUILLA

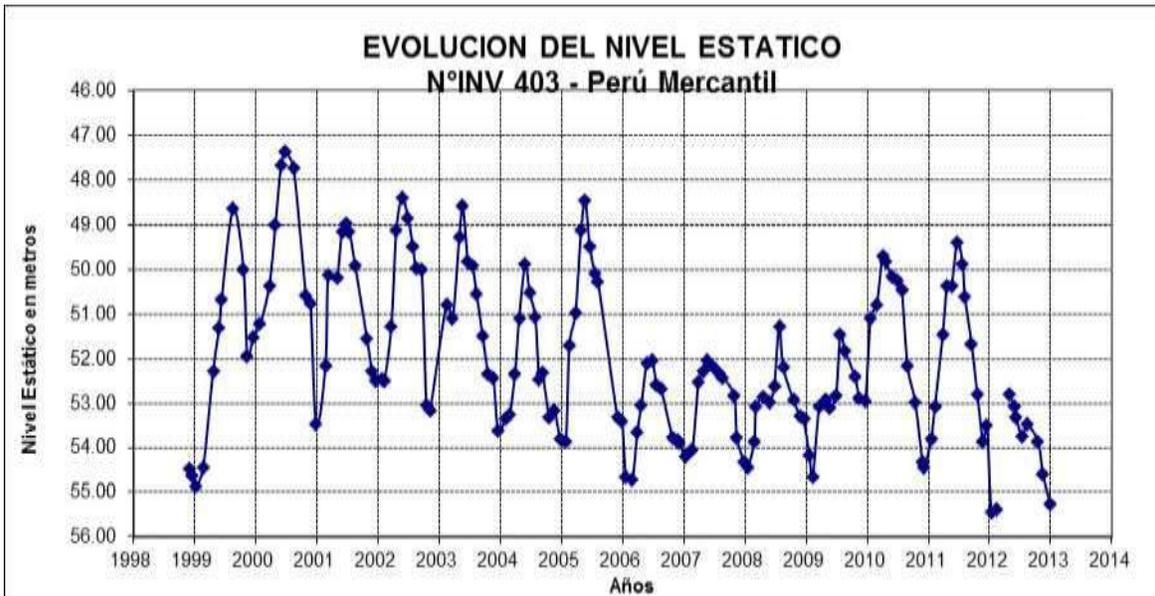


Figura N°23 Evolución estático Pozo N°403 años 1998 - 2013 (Distrito Cieneguilla)

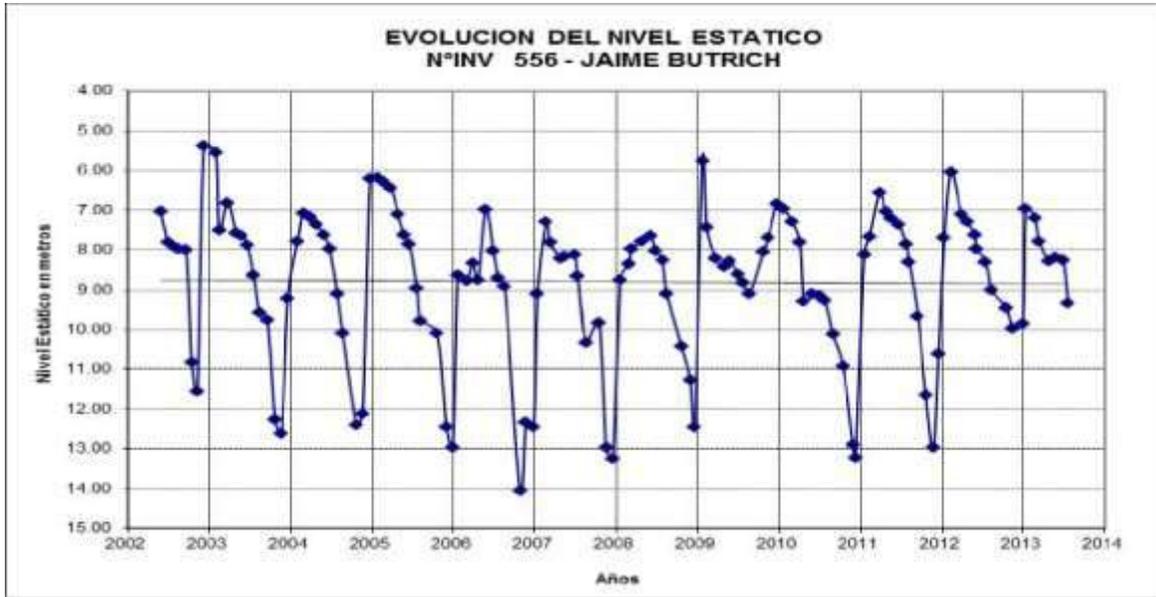


Figura N°24 Evolución estático Pozo N°556 años 1998 - 2013 (Distrito Cieneguilla)

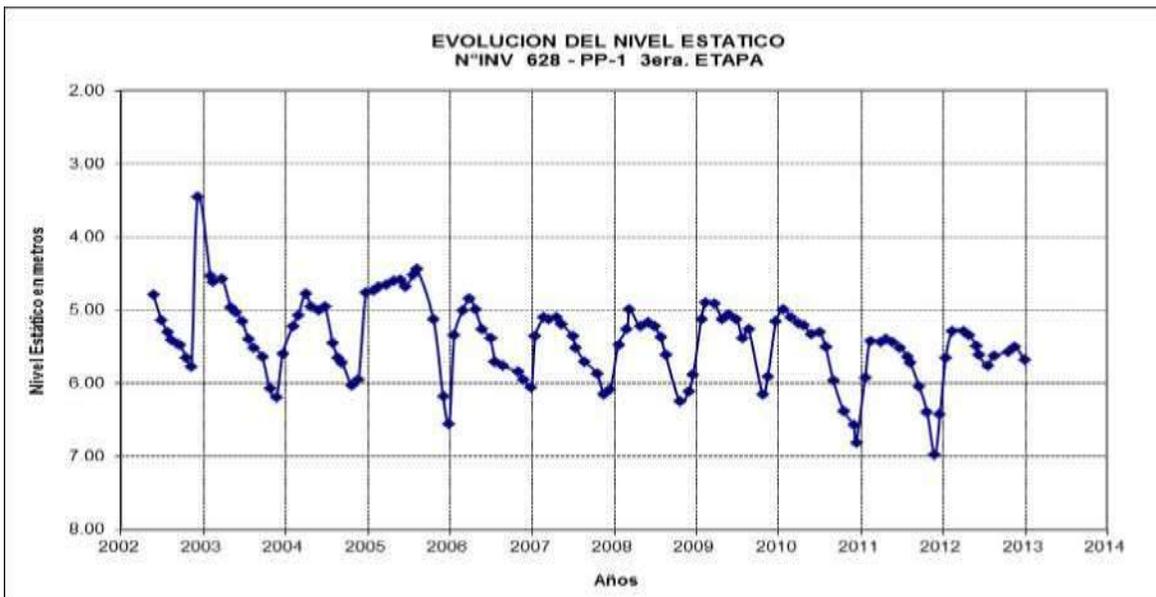


Figura N°25 Evolución estático Pozo N°628 años 1998 - 2013 (Distrito Cieneguilla)

#### 4.1 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

En base a caracterización geológica del lugar se pueden distinguir las siguientes unidades hidrogeológicas:

##### A. Depósitos aluviales Pleistocenicos (Qp-al)

Está formado por materiales aluviales de diferentes espesores, compuesto por conglomerados, con cantos de diferentes tipos y rocas especialmente intrusivas y volcánicas, de forma subredondeados, gravas, arenas de granulometría variable y en menor proporción limos y arcillas. Estos depósitos se encuentran en las Quebradas desérticas en la parte media del valle Lurín sobre la margen derecha del río y las Quebradas de Tinajas y Río Seco en la margen izquierda del río.

##### B. Depósitos Eólicos

Estos depósitos están ubicados cerca de la costa y son transportadas por el viento. Conformado generalmente de arenas de playa formadas por la acción de las olas o por los sedimentos transportados al mar por los ríos y distribuidos por las corrientes a los largo del litoral costero.

Las arenas eólicas se distribuyen en forma de mantos, dunas longitudinales y barcanes en los que es común encontrar barcanes grandes debido a la fusión de pequeños medanos. Se diferencian dos tipos de depósitos eólicos, los antiguos posiblemente pleisocénicos formados por acumulaciones de arenas antiguas, encontrándose en la actualidad estabilizadas formando lomadas y cerros de arenas como sucede en el Cerro Lomo de Corvina que se extiende hasta

Tablada de Lurin. Los depósitos recientes que adoptan formas de manto, dunas o colinas de arenas en movimiento con formas de media luna que son pequeñas colonias de barbajes con alturas de hasta 2 m y movimiento en dirección de los movimientos predominantes.

### C. Depósitos Marinos

Estos se encuentran en línea de costa. Su procedencia los materiales clásticos transportados al mar por carga de los ríos, así como por la acción erosiva de las olas. Se distinguen los depósitos antiguos o Pleistocénicos y los recientes; los primeros se encuentran en terrazas marinas de areniscas cementadas y gravas y zonas de marismas, de arenas con alta salinidad. Los depósitos recientes zona acumulaciones de arenas y cantos distribuidos por las corrientes marinas litorales como producto de la erosión y disgregación de las rocas cercanas a la línea de costa y además de los materiales que transportan los ríos hacia el mar.

#### 4.1.1 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA

Para la elaboración del mapa de hidroisohipsas se han considerado los datos procedentes de los pozos de observación. En la Tabla 24 se resume la información disponible, cuya localización puede verse en la Lamina N°4.

En el área de estudio los niveles piezométricos registrados en los puntos de control varían entre un máximo de 224.56msnm y un mínimo de 3.29msnm. La dirección del flujo es preferencialmente, desde el noreste hacia el sur oeste. El gradiente hidráulico medio en el área de estudio se encuentra en torno a 0.65%.

POZO	ESTE	NORTE	Cota del Tereno (msnm)	Nivel Piezometrico (msnm)
3	297580	8645946	58.26	53.06
10	297556	8642715	7.64	3.29
28	295831	8642147	5.83	3.61
48	293848	8643152	6.83	6.15
167	295673	8648309	76.4	61.98
171	297020	8652330	137.57	113.91
174	297630	8653630	152.25	131.84
228	296471	8649560	88.54	81.43
237	297820	8650950	109.41	98.72
291	298100	8652310	135.23	119.73
556	303776	8660157	293.6	277.18
628	307337	8663389	386.85	224.56

Tabla N° 24 Puntos de control Piezométrico

#### 4.1.2 FLUCTUACIONES DEL NIVEL PIEZOMETRICO

Los datos piezómetros abarcan desde enero del 1999 hasta diciembre del 2013, como se puede ver en el Capítulo III ítem 3.20. Las variaciones observadas en el periodo de tiempo registrado.

#### 4.1.3 ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA

Las zonas de recarga que influyen en el acuífero del Río Lurín, son generadas por las lluvias que se originan en la parte alta de la cuenca y estas al cargar el río contribuyen en su recarga.

Las zonas de descarga del río se dividen en dos Descarga artificial; que son los pozos de explotación, y de descarga natural; que son los manantiales.

#### 4.2 MODELO HIDROGEOLOGICO NUMÉRICO

La construcción del modelo matemático en aguas subterráneas es una representación física - matemática del modelo conceptual que simplifica los cálculos hidrogeológicos, para una zona determinada. Esta representación matemática está compuesta por un conjunto de elementos físicos que interactúan con las leyes que gobiernan el flujo de aguas subterráneas, de esta manera

permiten simular el comportamiento del sistema hidrogeológico y predecir la respuesta del sistema ante diferentes escenarios.

Para elaborar el modelo matemático del sistema hidrogeológico se ha utilizado el software Visual Modflow v 4.6, creado por Schlumberger, el cual resuelve la ecuación general de flujo mediante el método de diferencias finitas.

#### **4.2.1 MALLA DEL MODELO**

El medio físico representado en el modelo se ha discretizado mediante una malla regular de 150 columnas por 160 filas, que cubre una superficie aproximada.

En la vertical se han discretizado

Una capa:

- La capa tiene un espesor variable de 250 metros. Esta capa representa los materiales correspondientes a los aluviales cuaternarios.

#### **4.2.2 LIMITES DEL MODELO**

Tal y como se ha indicado anteriormente, el modelo construido representa sistema hidrogeológico que corresponde al Valle del Río Lurín.

De esta forma como límites del modelo se han considera los siguientes:

- Nor - Este. Se ha simulado como un límite abierto y se ha hecho coincidir con el pozo de observación 628 y se ha simulado mediante la condición tipo potencial constante, con un valor de potencial correspondiente a la isopieza de 224.56 msnm. De esta forma se simula la transferencia lateral de agua subterránea desde el sistema hidrogeológico situado aguas arriba del área modelizada.

- ▮ Sur - Oeste. Se ha simulado, al igual que el límite oriental, como un límite abierto y se ha simulado mediante la condición tipo potencial constante, con un valor de potencial correspondiente a la cota del mar.
- ▮ Nor – Oeste : Se ha simulado como un límite seco y se ha hecho coincidir con el trazo de la quebrada.
- ▮ Nor – Este: Se ha simulado como un límite seco y se ha hecho coincidir con el trazo de la quebrada.

#### 4.2.3 PARAMETROS HIDRAULICOS

##### 4.2.3.1 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es un parámetro muy importante ya que está condicionada por la geología del lugar, el grado de esparcimiento del material, rugosidad.

Para el proceso de calibración y asignación de los valores de permeabilidad se ha partido de los valores de permeabilidad de las pruebas de bombeo. En la Tabla N°23, se recoge la comparativa entre los valores de permeabilidad obtenidos en las pruebas de bombeo y los valores de permeabilidad consignados durante el proceso de calibración del modelo en régimen estacionario. Tabla N°25

UNIDAD GEOLOGICA	ZONA	VALORES DE PERMEABILIDAD PRUEBA DE BOMBEO (m/dia)	VALORES DE LA CALIBRACION (m/dia)
CUATERNARIO	LURIN	26	25
CUATERNARIO	CIENEGUILLA	23	25
CUATERNARIO	PACHACAMAC	40	25

Tabla N° 25 Valores de permeabilidad obtenido de la calibración

#### 4.2.3.2 RIOS Y CONDUCTANCIA HIDRAULICA DEL RIO

Para simular los Ríos. Se ha utilizado la condición tipo río Tabla N°26, incorporado en el código Modflow. Las cotas de los ríos han sido tomadas de la topografía del terreno. Como altura de la lámina de agua se ha considerado una capa variable en para condiciones de temporada seca de 0.1 metros de altura, y época húmedas hasta 0.5 metros de altura.

A continuación se describe como se ha calculado el valor de la conductancia para las distintas quebradas simuladas.

La conductancia hidráulica de un río es un parámetro que nos dice la facilidad que tiene para transmitir agua al acuífero. Este parámetro está ligado directamente con el espesor saturado del lecho del río y la permeabilidad del espesor saturado del río, longitud del río, ancho del río. La cual tiene la siguiente expresión:

$$C = \frac{K \times L \times W}{M}$$

Siendo:

K: permeabilidad en la zona saturada del río

L: longitud del río

W: ancho del río

M: espesor saturado del río

RIO	K	L	W	M	C
	m/día	metros	metros	metros	metros
Lurín	7.00E-03	50	50	0.3	58

Tabla N° 26 Estimación de conductancia

#### 4.2.3.3 RECARGA DEL SISTEMA

La recarga del acuífero, se produce por transferencia lateral del flujo de agua subterránea procedente del resto del sistema que se localiza aguas arriba del área modelizada. Para su representación en el modelo se ha utilizado, tal y como se ha mencionado, la condición de potencial constante con un valor de potencial hidráulico 224.56 msnm igual a la isopieza correspondiente.

Se considera que la recarga directa por infiltración de la precipitación es mínima, ya que tal y como se ha indicado en el apartado de caracterización climática la precipitación media anual del área es de 32.8 mm/año. Calibración del modelo numérico

Se ha llevado a cabo la simulación en régimen estacionario o de equilibrio del sistema hidrogeológico para el Valle del Río Lurín. Para ello se ha partido de los datos de permeabilidad obtenidos a partir de las pruebas de bombeo. A partir de la interpretación de los datos de piezometría y tomando como base el modelo conceptual descrito en los apartados anteriores, se ha elaborado la superficie piezométrica adjunta en la Lamina N°5, la cual se considera representativa del estado estacionario.

En la Tabla 27, se recoge la comparativa entre los valores de permeabilidad obtenidos en los ensayos de permeabilidad realizados y los valores de permeabilidad consignados durante el proceso de calibración del modelo en régimen estacionario.

En la Tabla adjunta se muestra el balance obtenido para el modelo calibrado en régimen transitorio.

ELEMENTO	AÑO 2013	
	ENTRADAS	SALIDAS
	m3/día	m3/día
Almacenamiento	19543.14	4.62
Carga constante	36126.02	35615.37
Ríos	6119.81	37560.00
Recarga precipitación y áreas verdes	49899.87	0.00
Pozos	0.00	38509.41
Total	111688.85	111689.40
Error		0.001

Tabla N°27 Recarga del sistema año 2013

**5.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO**

Para la elaboración del modelo numérico en el VisualModFlow se realizó una primera calibración que fue en estado permanente, esto quiere decir un estado natural donde no aplica el tiempo, donde no existe extracción solo recarga, en el estado Permanente se puede observar que el agua que ingresa por infiltración, y recarga del rio, es igual a la descarga del modelo.

Luego de la calibración en estado permanente se procedió a la calibración en estado No Permanente donde el modelo aplica la variable tiempo, esto quiere decir que ya el acuífero está siendo explotado y recargado artificialmente por los regadíos.

**5.2 CALIBRACION DEL MODELO EN ESTADO PERMANENTE**

El modelo se calibro en forma inicial en estado permanente para ajustar los parámetros de permeabilidad, recarga, para que luego esto pueda coincidir con los niveles piezómetros tomados en el año 2002. Figura N°26

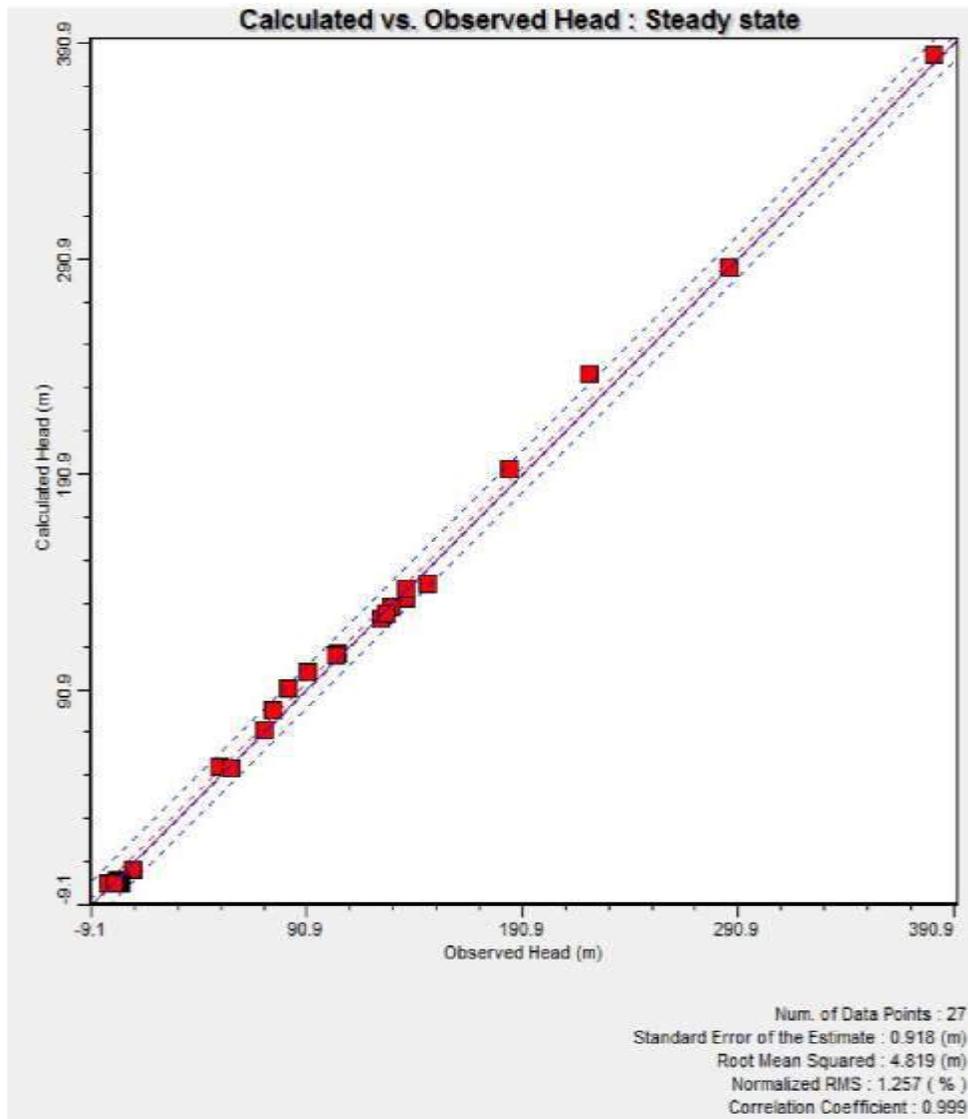


Figura N°26 Calibración del modelo en estado permanente

## 5.2.1 PARAMETROS DEL ACUIFERO EN ESTADO PERMANENTE

### PERMEABILIDAD

Para la calibración del modelo se procedió solo a aplicar una permeabilidad equivalente a todo el acuífero, ya que este se trata de un acuífero libre, compuesto por material aluvial formado estos por el arrastre del río. Ver Figura N°27

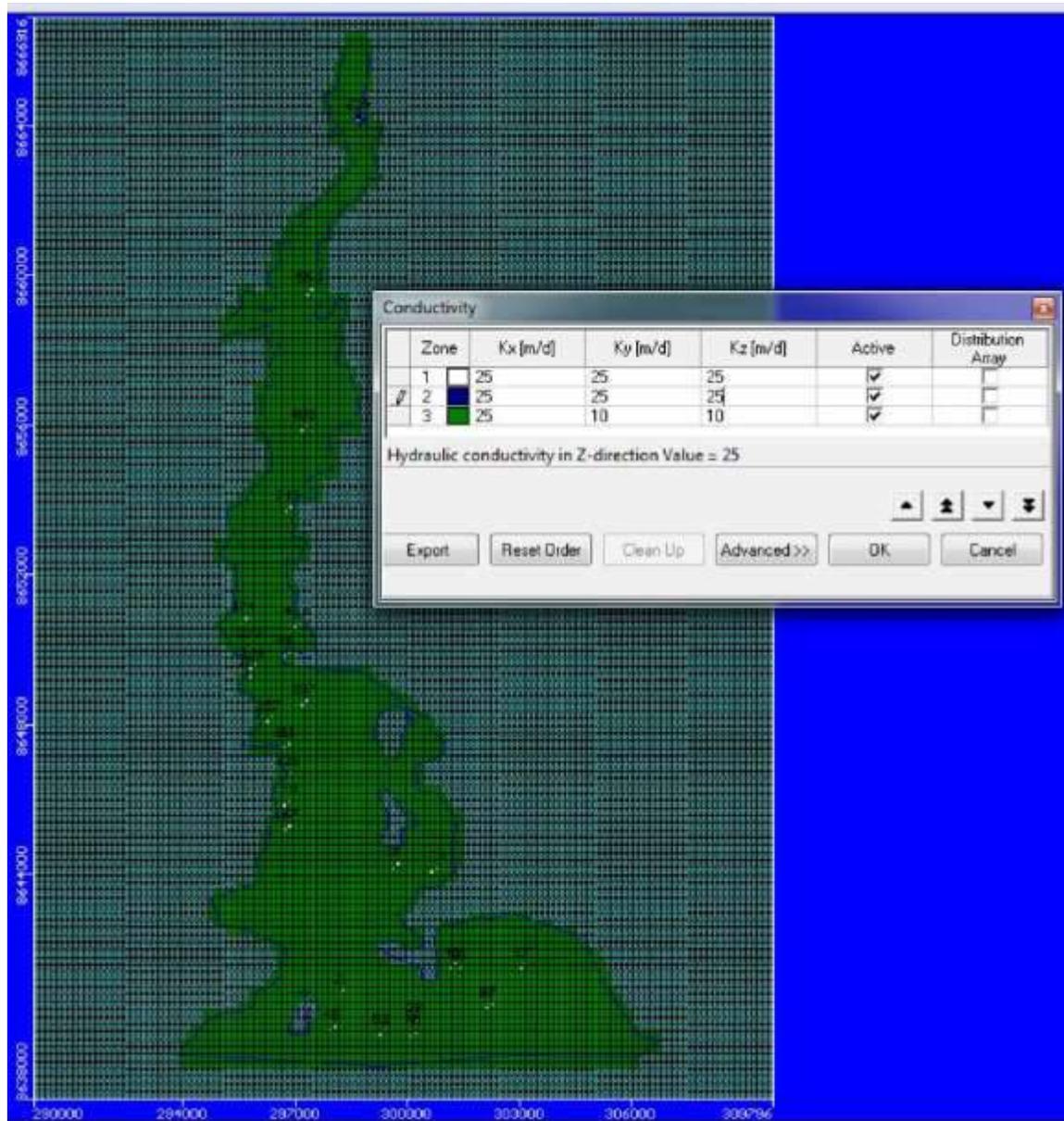


Figura N°27 Permeabilidad del Acuífero del Valle Río Lurín

## 5.2.2 RECARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO PERMANENTE

Para la recarga del acuífero se consideró únicamente la recarga generada por el río, y la lluvia que se produce en el lugar. Ver Figura N°28

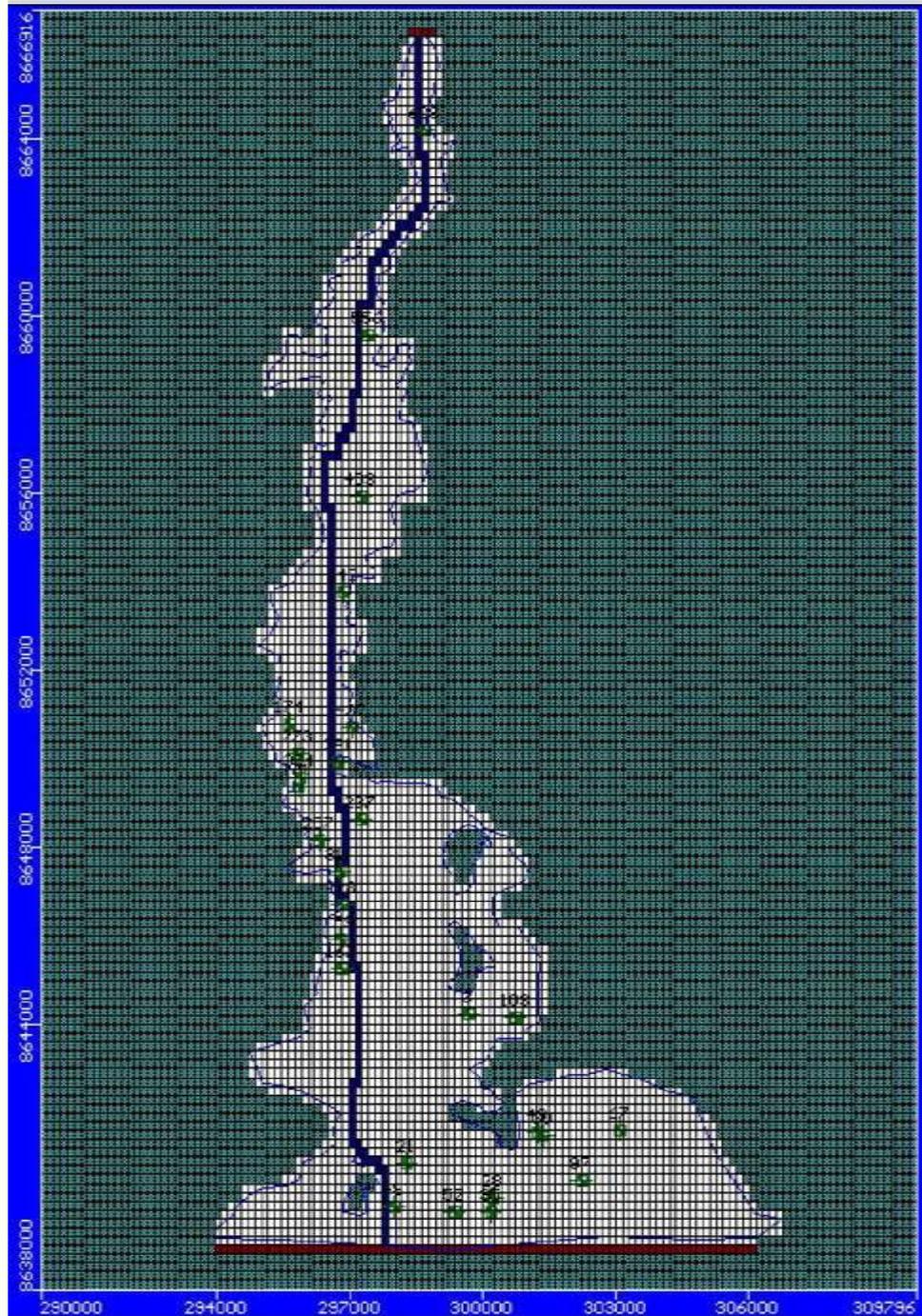


Figura N°28 Recarga del Acuífero del Valle Río Lurín

### 5.3 CALIBRACION DEL MODELO EN ESTADO NO PERMANENTE

Para la calibración en estado No Permanente, se usó como base el estado Permanente, ya que con esto se calibra los niveles de los piezómetros para el año 2013, como en el estado No Permanente está afectado el factor tiempo, en este caso se incluyó los pozos de extracción, las zonas agrícolas, y el coeficiente de almacenamiento. Ver Figura N°29

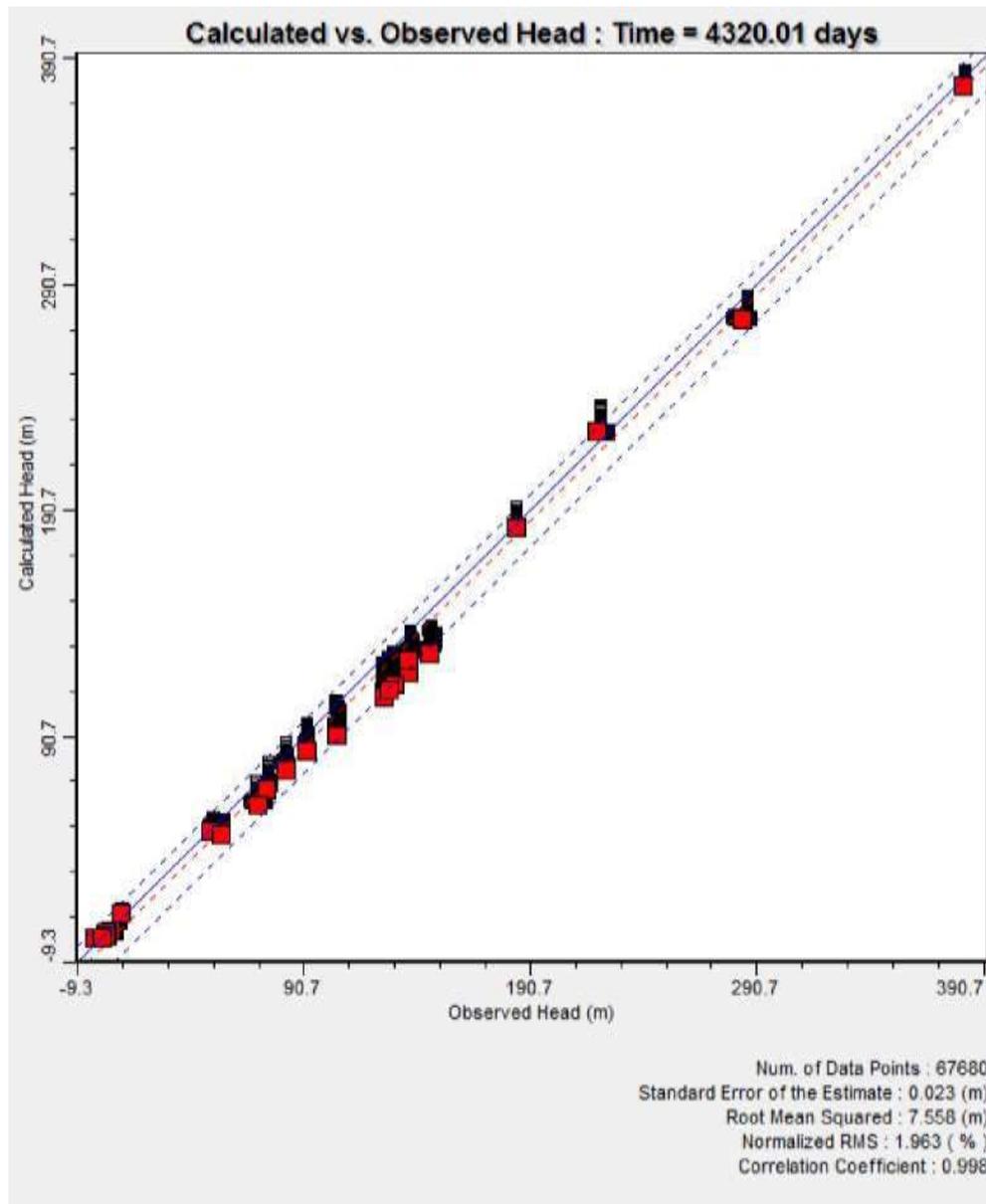


Figura N°29 Calibración del modelo en estado No Permanente

### **5.3.1 CALIBRACION DE LOS PIEZOMETROS OBSERVADOS VERSUS LOS CALCULADOS POR EL MODELO**

En el estado No Permanente, se debe verificar que en la calibración de los pozos calculados por modelo y los pozos de observación tengan el mismo comportamiento y el mismo diagrama, esto nos indica que el modelo está apto y listo para simular escenarios a futuros.

Para los siguientes gráficos mostrados se pueden apreciar que hay una variación mínima entre el comportamiento de los pozos observados con los calculados. Estos casos se presentan muy a menudo, ya que a veces no se toman con mucha precisión en el campo habiendo una diferencia entre la cota tomada por GPS y la cota real, o también por fallas de la sonda eléctrica el cual mide la profundidad del nivel freático, por esta razón se llega a estas variaciones en el modelo el cual es considerable ya que poder representar el comportamiento en todos los pozos de observación es casi imposible, y cuando no se lleva un buen control en los pozos de explotación de terceros.

Esta diferencia entre las variaciones del pozo de observación y el calculado por el modelo, también se puede presentar, ya que para el acuífero de Lurín no se pudieron tomar datos de extracción de los pozos de terceros mensuales, si no los datos habían sido dados por año, y el modelo necesita datos mensuales, igual que las recargas por los regadíos que fueron dados anuales. Ver Figuras del 30 al 56.

## DISTRITO DE LURÍN

### Pozo N°3

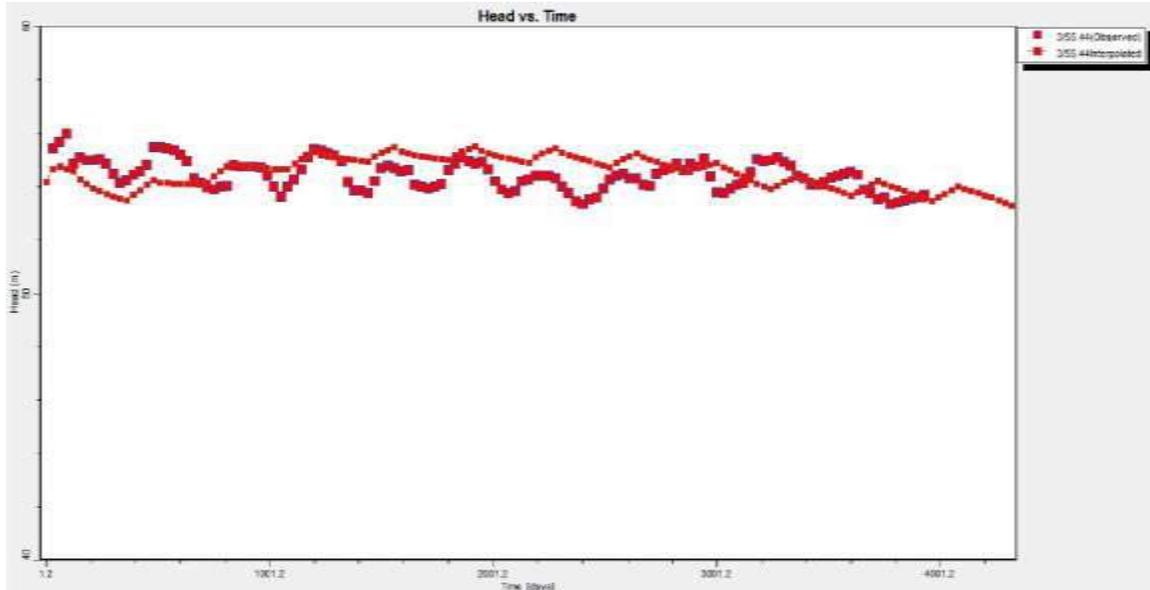


Figura N°30 Calibración del modelo para el pozo N°3, Distrito de Lurín

### Pozo N° 10

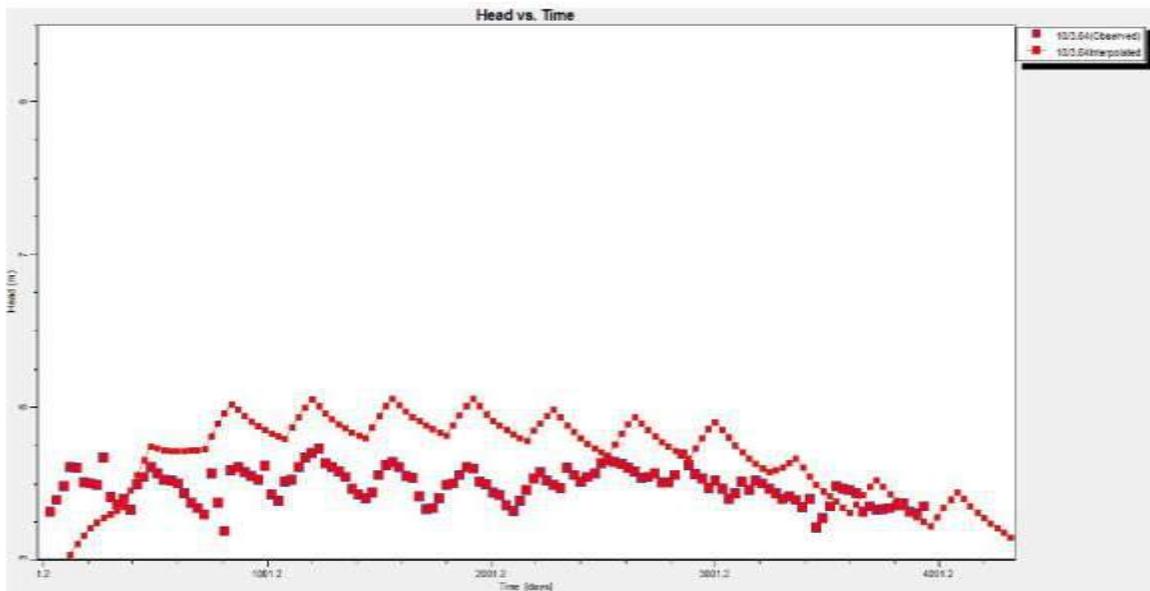


Figura N°31 Calibración del modelo para el pozo N°10, Distrito de Lurín

### Pozo N°21

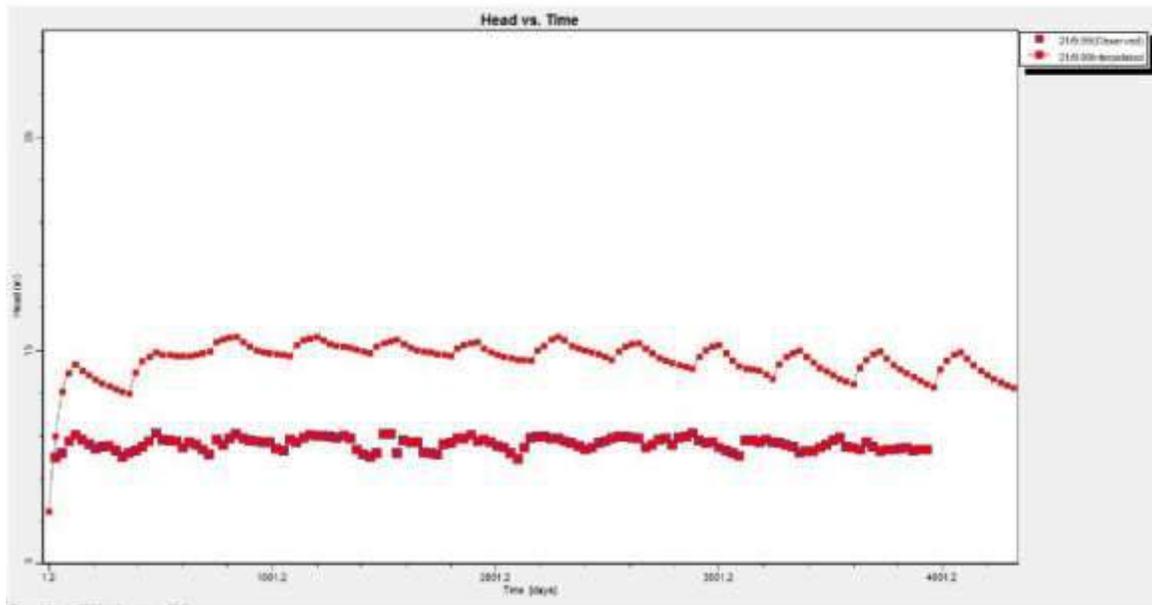


Figura N°32 Calibración del modelo para el pozo N°21, Distrito de Lurín

### Pozo N°28

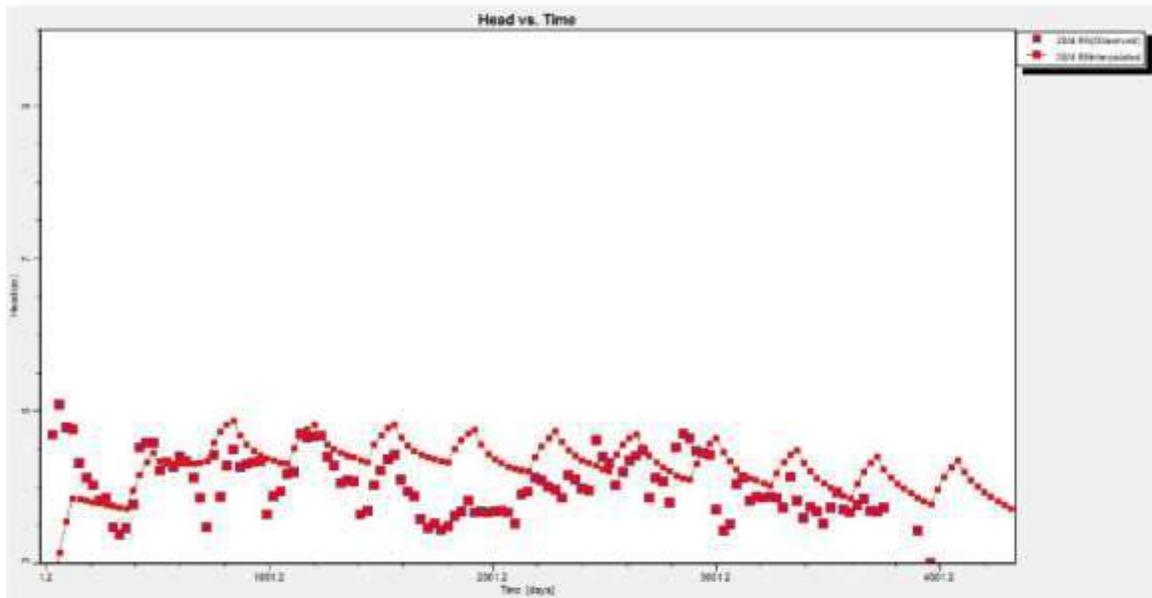


Figura N°33 Calibración del modelo para el pozo N°28, Distrito de Lurín

### Pozo N°48

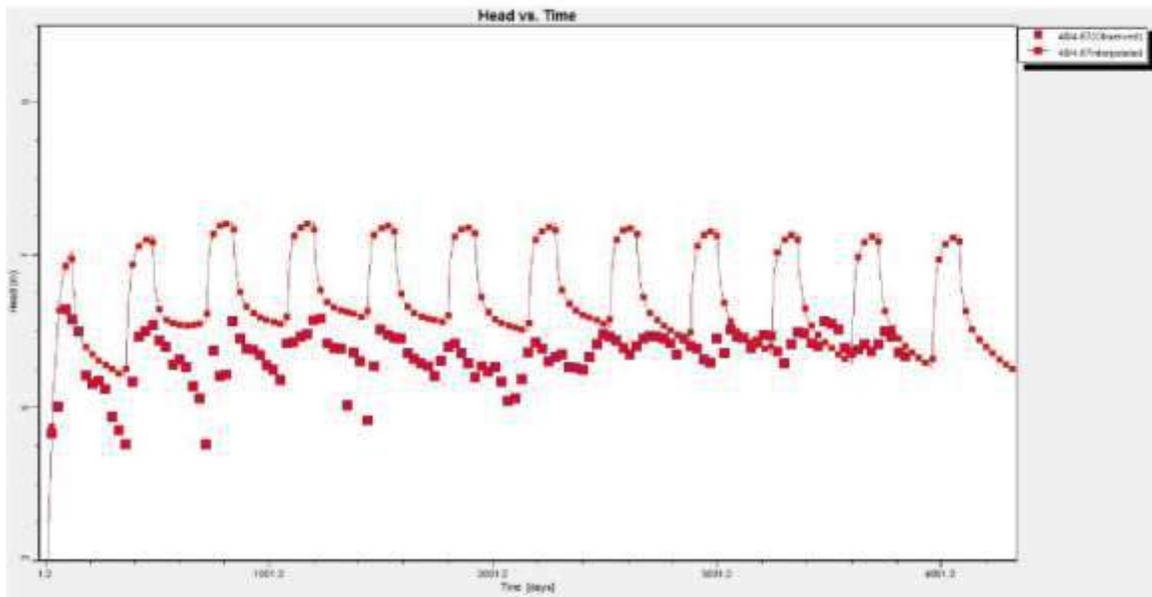


Figura N°34 Calibración del modelo para el pozo N°48, Distrito de Lurín

### Pozo N°49

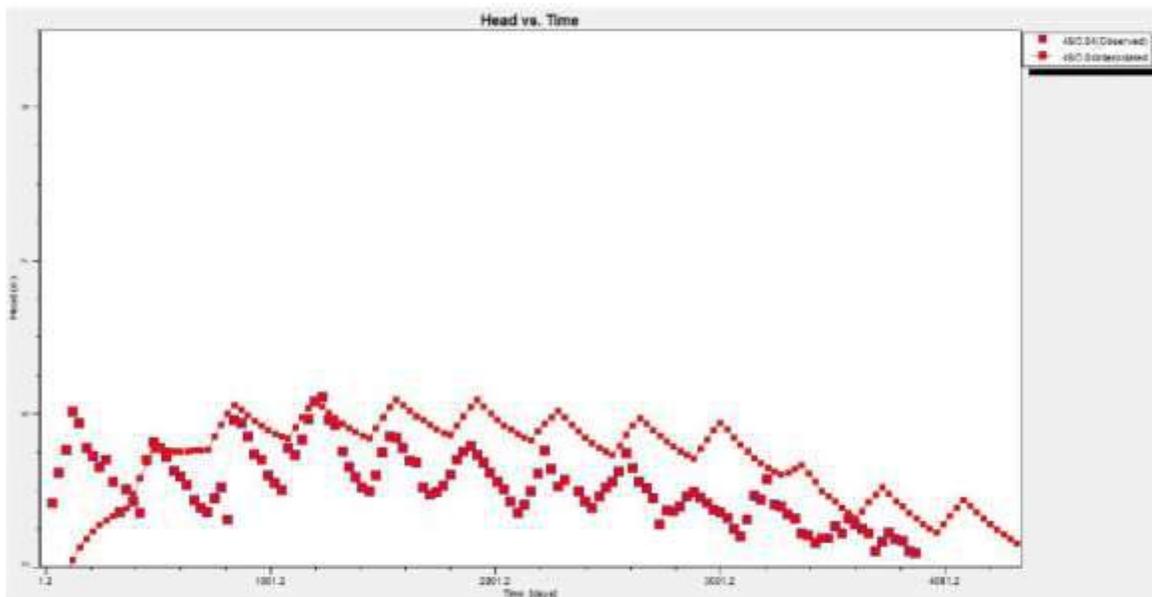


Figura N°35 Calibración del modelo para el pozo N°49, Distrito de Lurín

### Pozo N°52

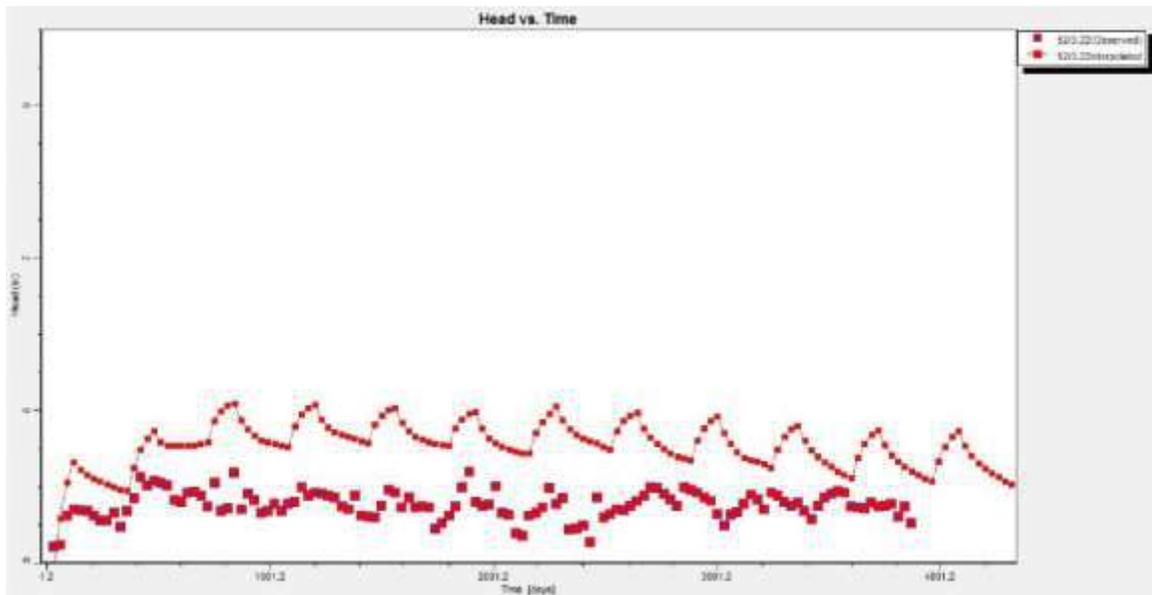


Figura N°36 Calibración del modelo para el pozo N°52, Distrito de Lurín

### Pozo N°67

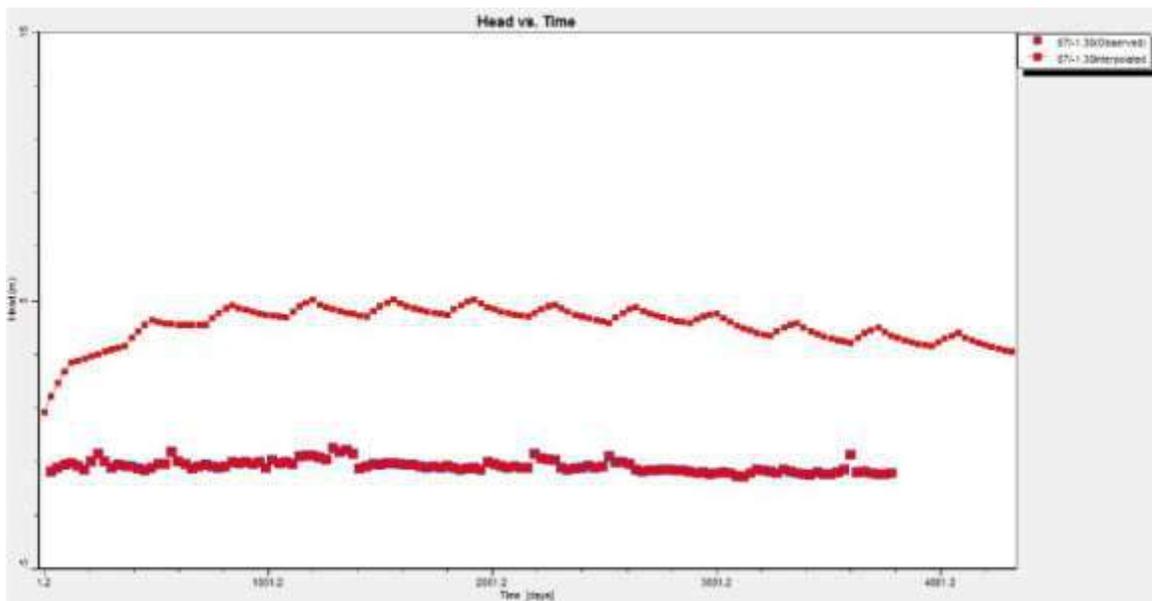


Figura N°37 Calibración del modelo para el pozo N°67, Distrito de Lurín

### Pozo N°95

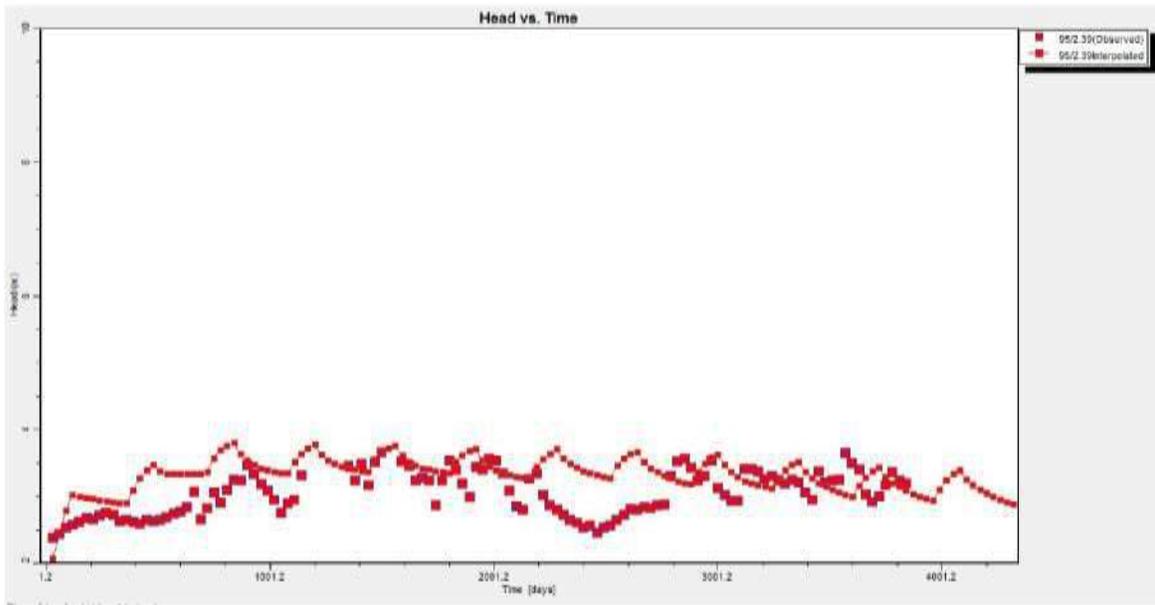


Figura N°38 Calibración del modelo para el pozo N°95, Distrito de Lurín

### Pozo N°97

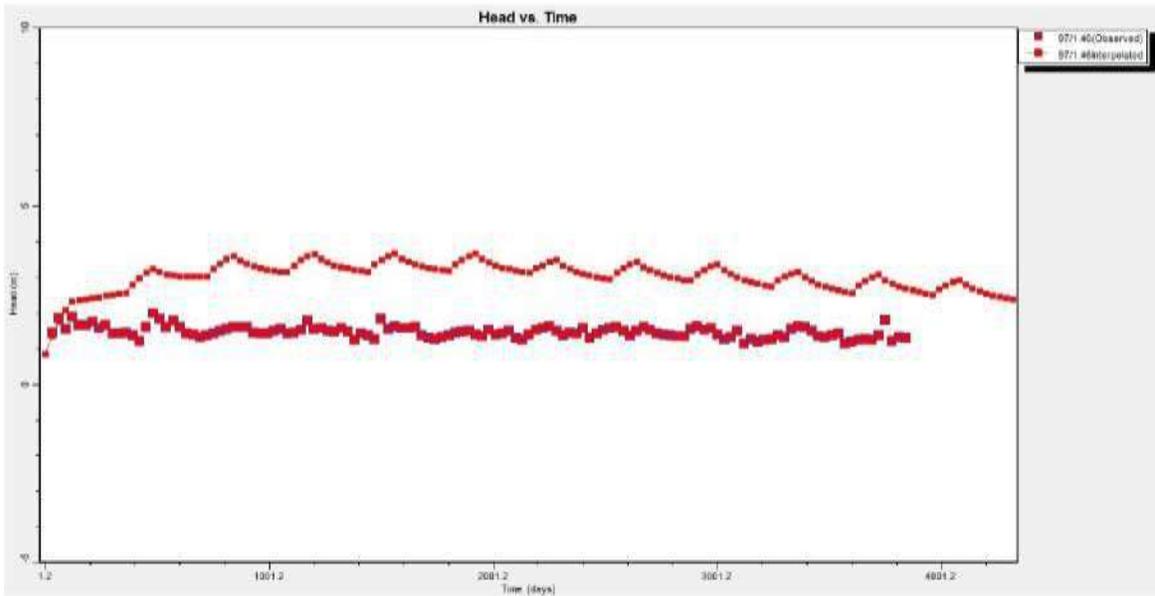


Figura N°39 Calibración del modelo para el pozo N°97, Distrito de Lurín

### Pozo N°103

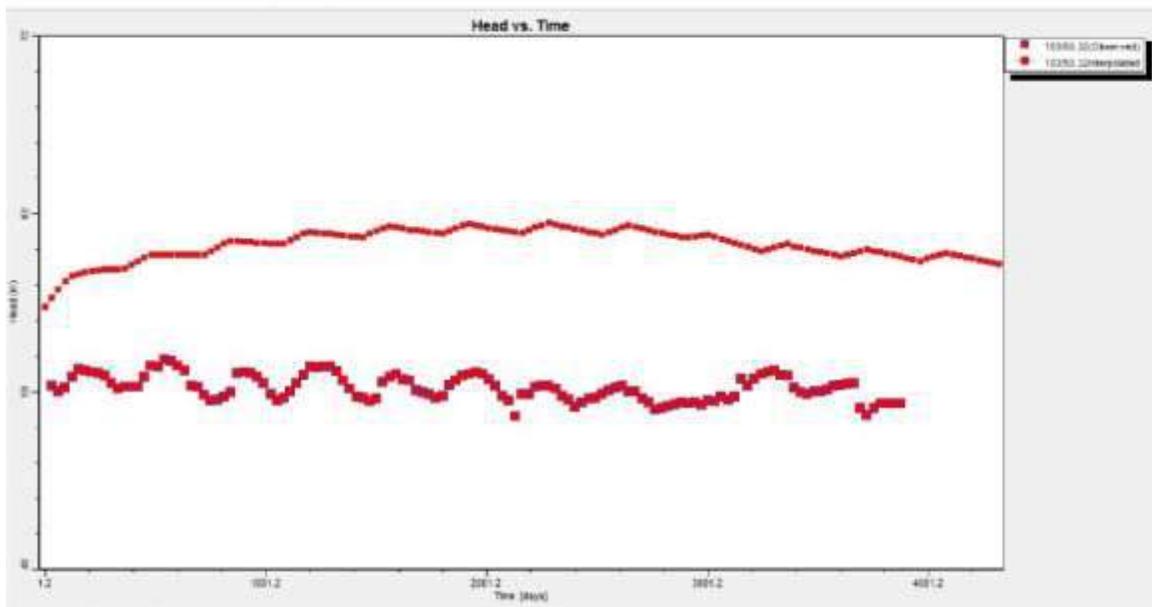


Figura N°40 Calibración del modelo para el pozo N°103, Distrito de Lurín

### Pozo N°167

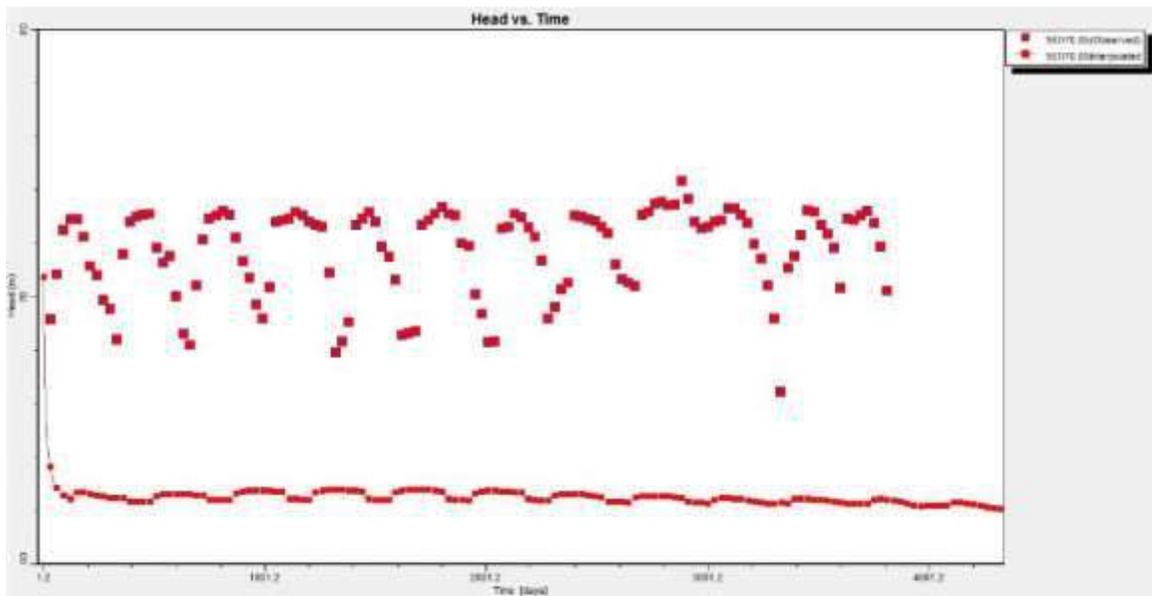


Figura N°41 Calibración del modelo para el pozo N°167, Distrito de Lurín

## DISTRITO DE PACHCAMAC

### Pozo N°159

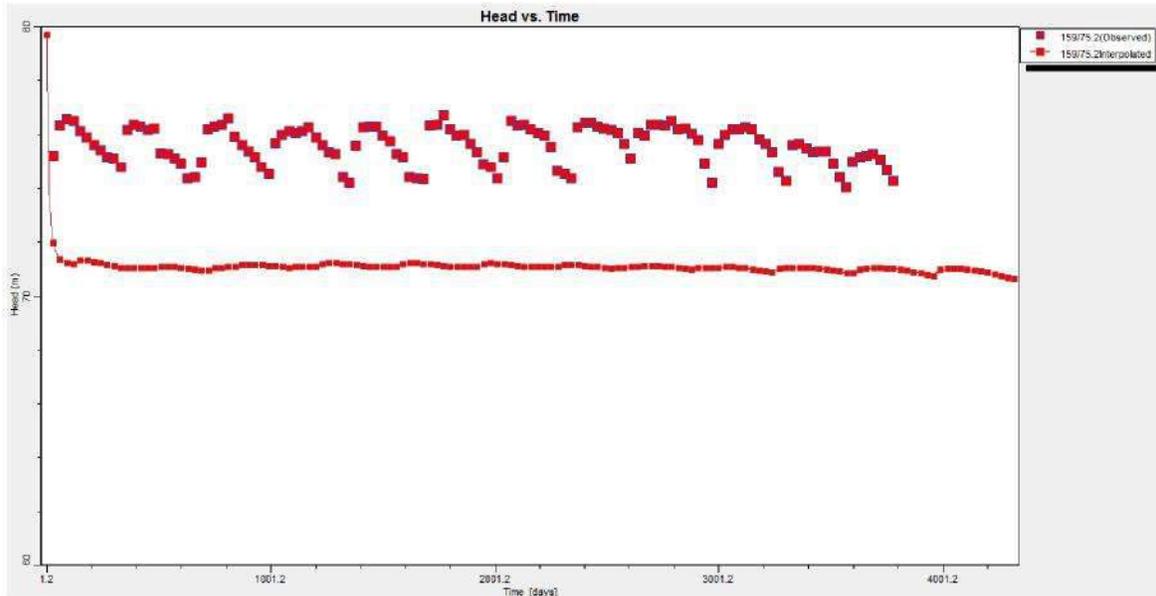


Figura N°42 Calibración del modelo para el pozo N°159, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°171

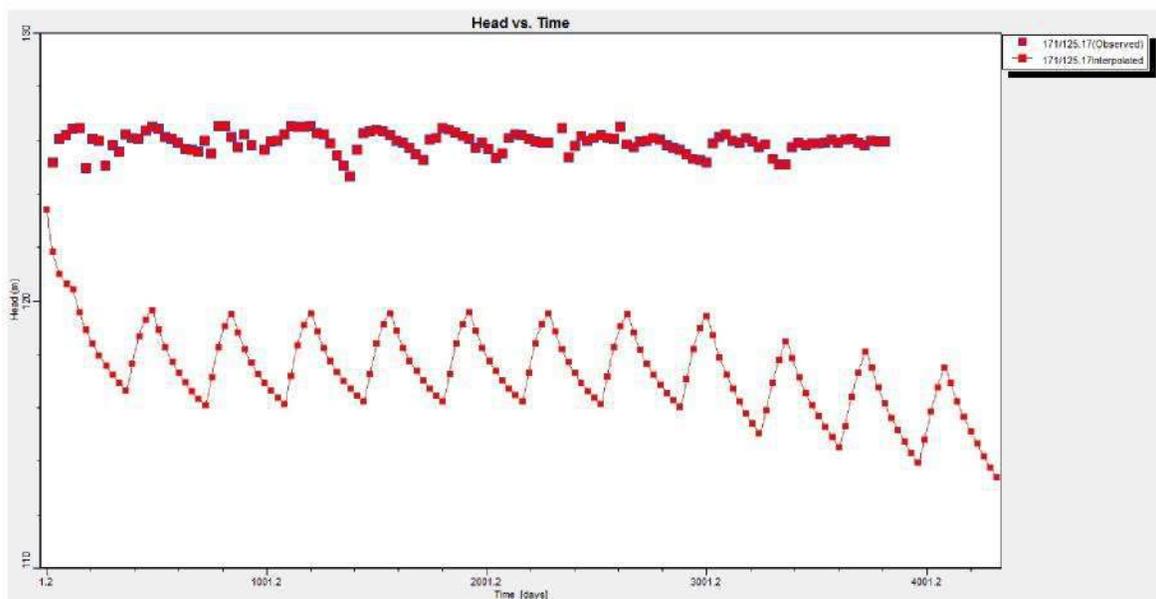


Figura N°43 Calibración del modelo para el pozo N°171, Distrito de Pachacamac

## Pozo N°174

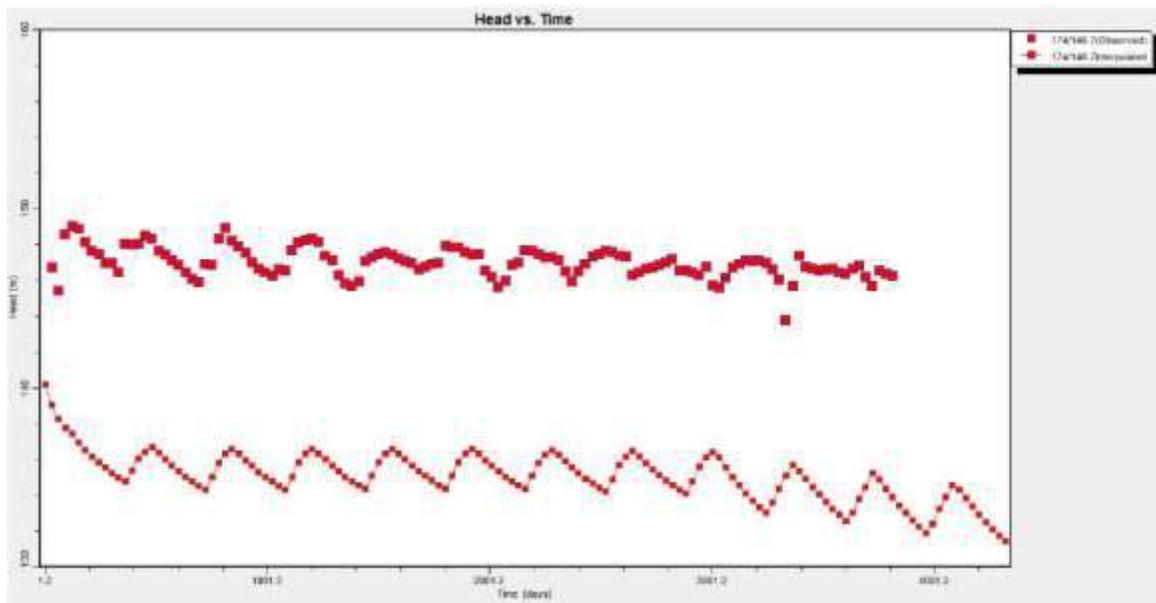


Figura N°44 Calibración del modelo para el pozo N°174, Distrito de Pachacamac

## Pozo N°228

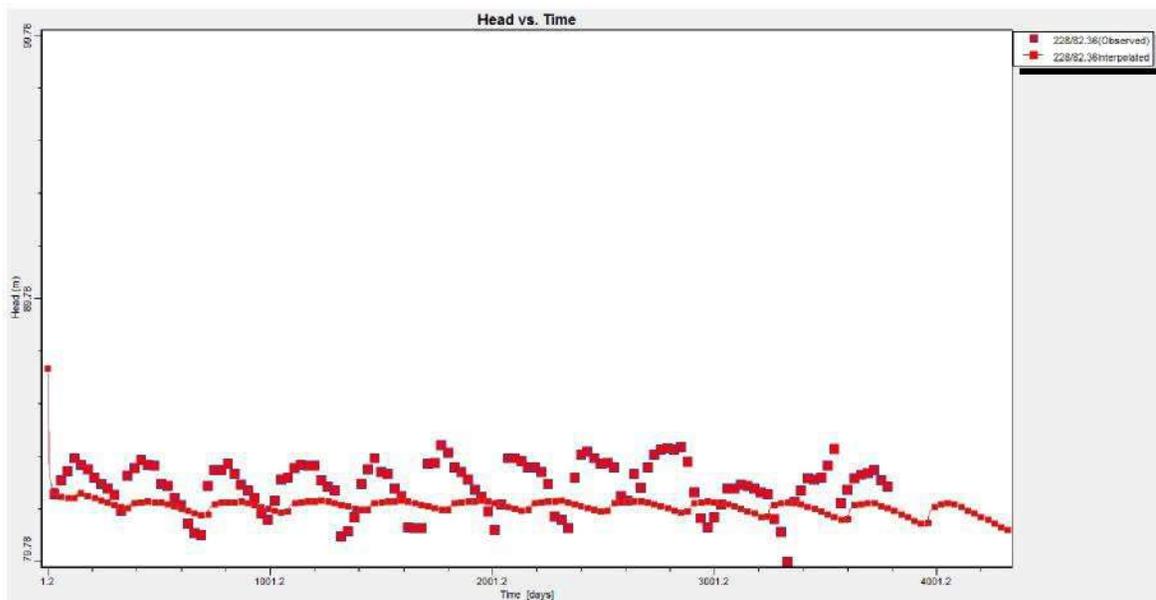


Figura N°45 Calibración del modelo para el pozo N°228, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°237

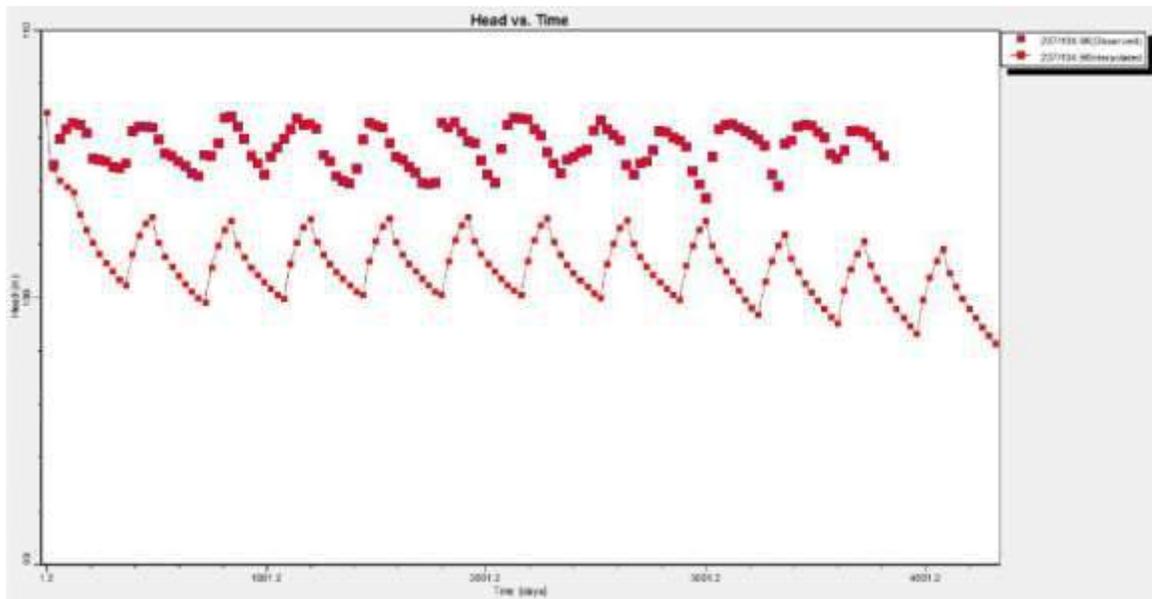


Figura N°46 Calibración del modelo para el pozo N°237, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°243

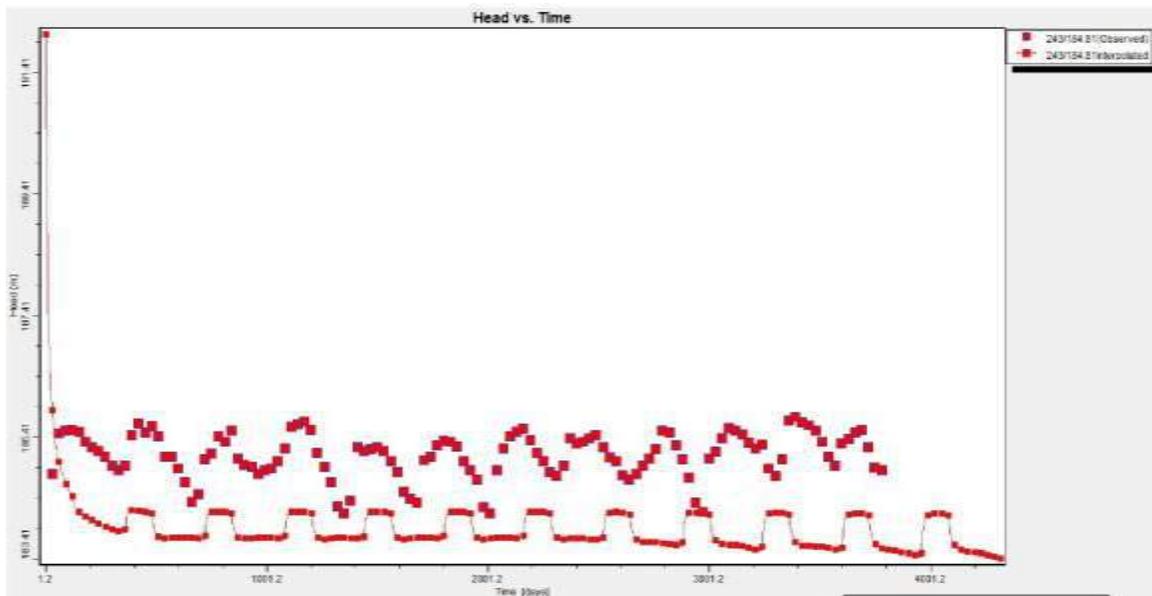


Figura N°47 Calibración del modelo para el pozo N°243, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°257

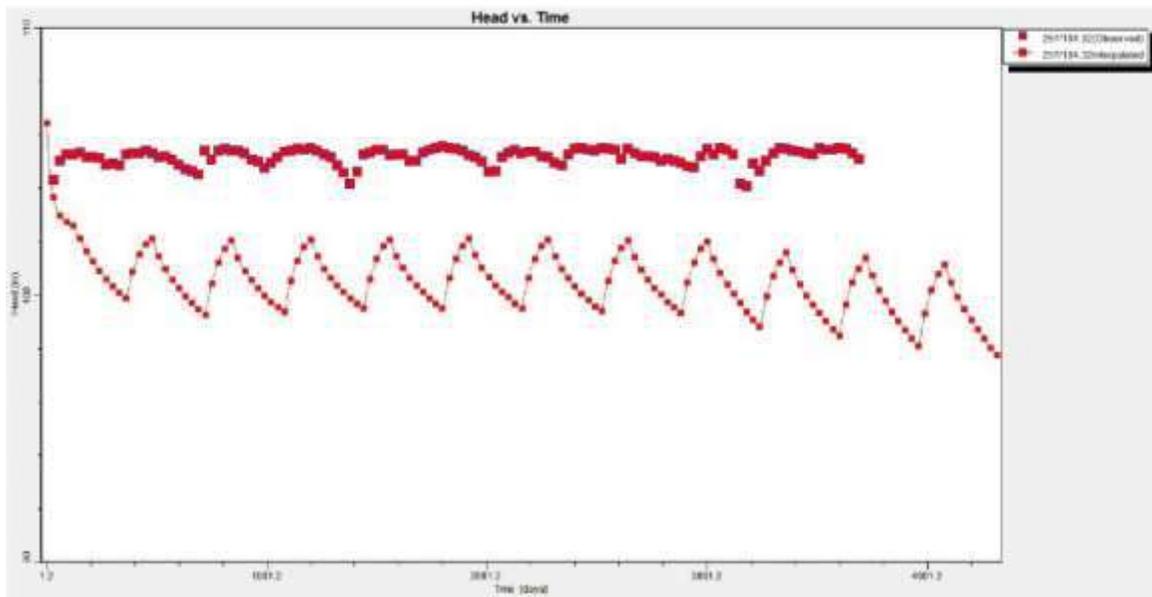


Figura N°48 Calibración del modelo para el pozo N°257, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°273

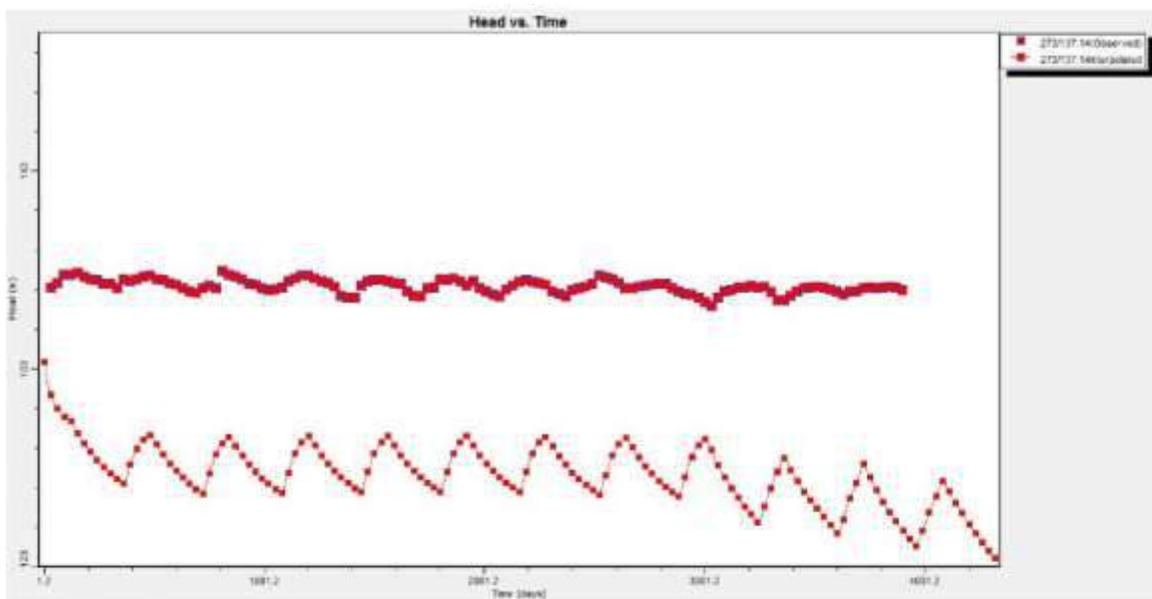


Figura N°49 Calibración del modelo para el pozo N°273, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°291

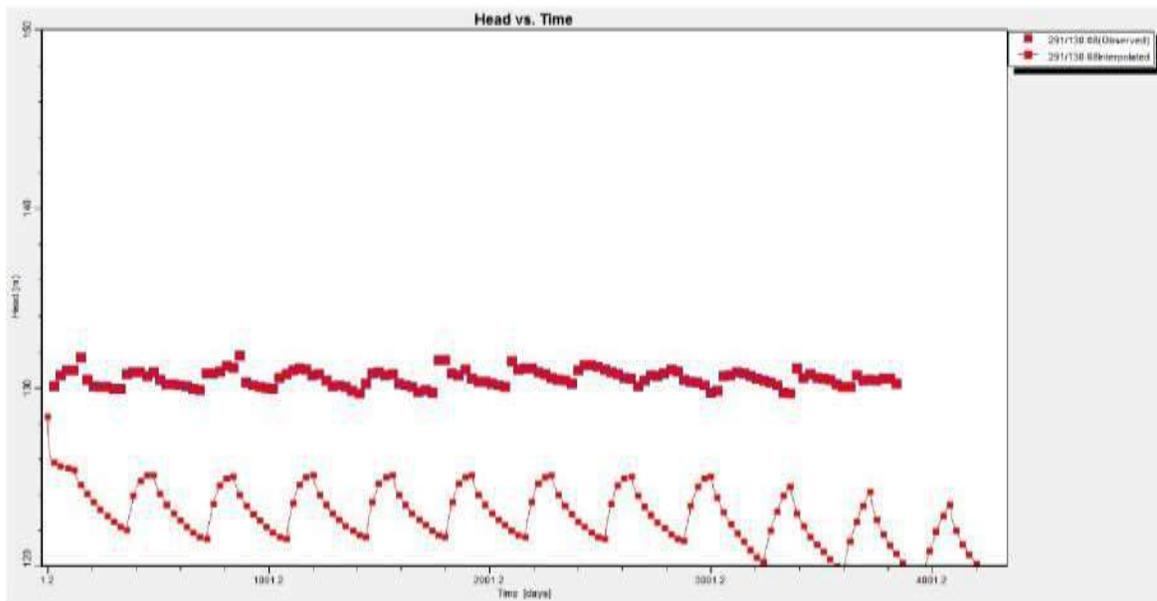


Figura N°50 Calibración del modelo para el pozo N°291, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°311

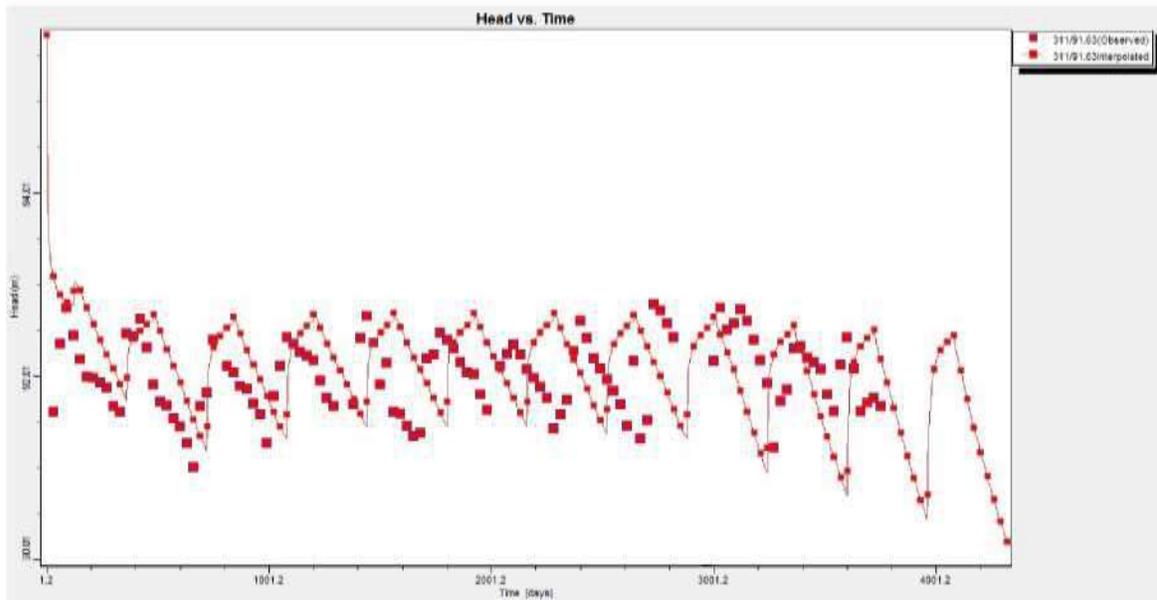


Figura N°51 Calibración del modelo para el pozo N°311, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°334

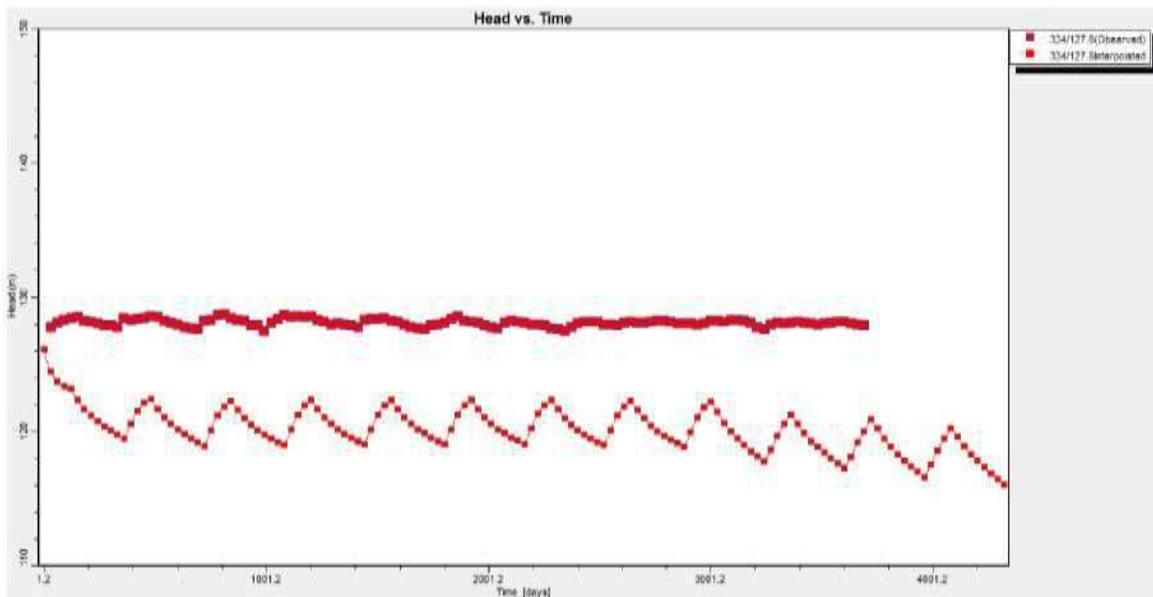


Figura N°52 Calibración del modelo para el pozo N°334, Distrito de Pachacamac

### Pozo N°432

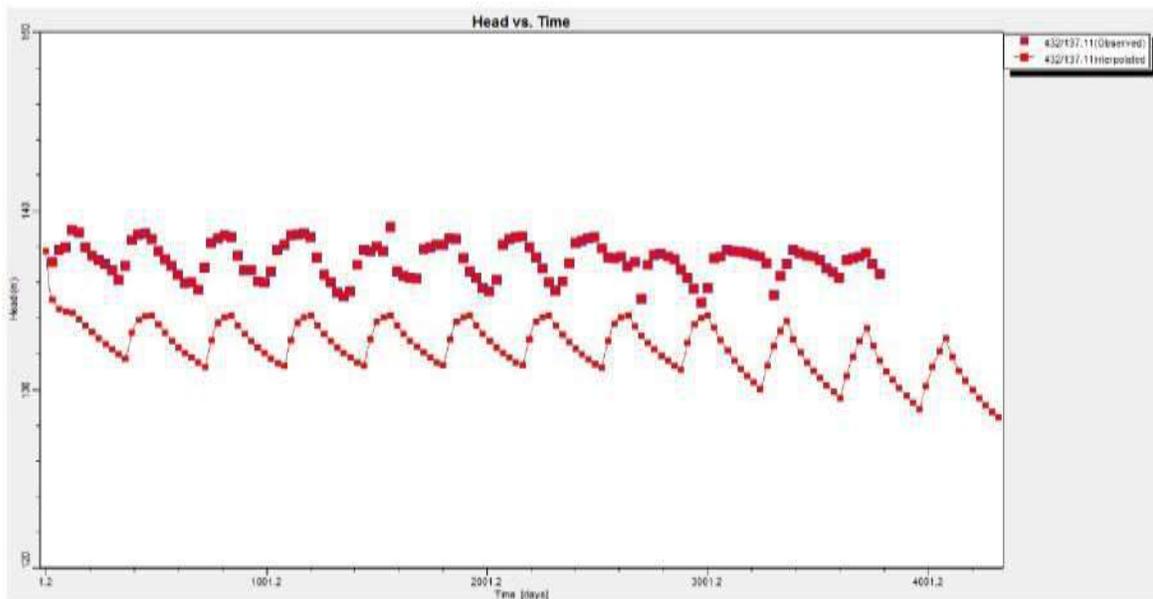


Figura N°53 Calibración del modelo para el pozo N°432, Distrito de Pachacamac

## DISTRITO DE CIENEGUILLA

### Pozos N°403

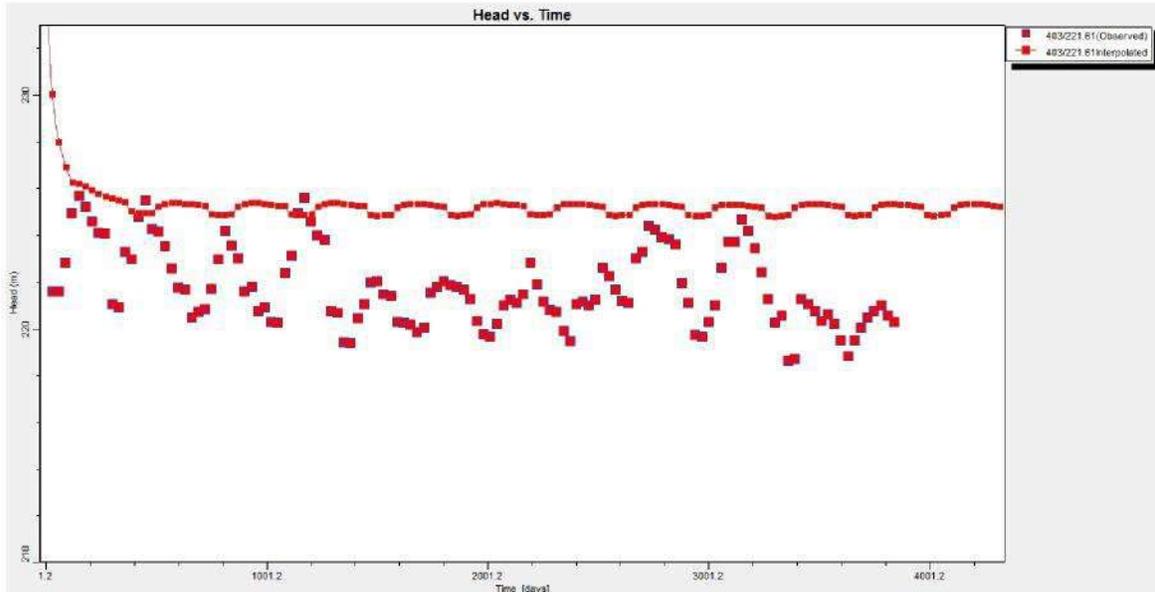


Figura N°54 Calibración del modelo para el pozo N°403, Distrito de Cieneguilla

### Pozos N°556

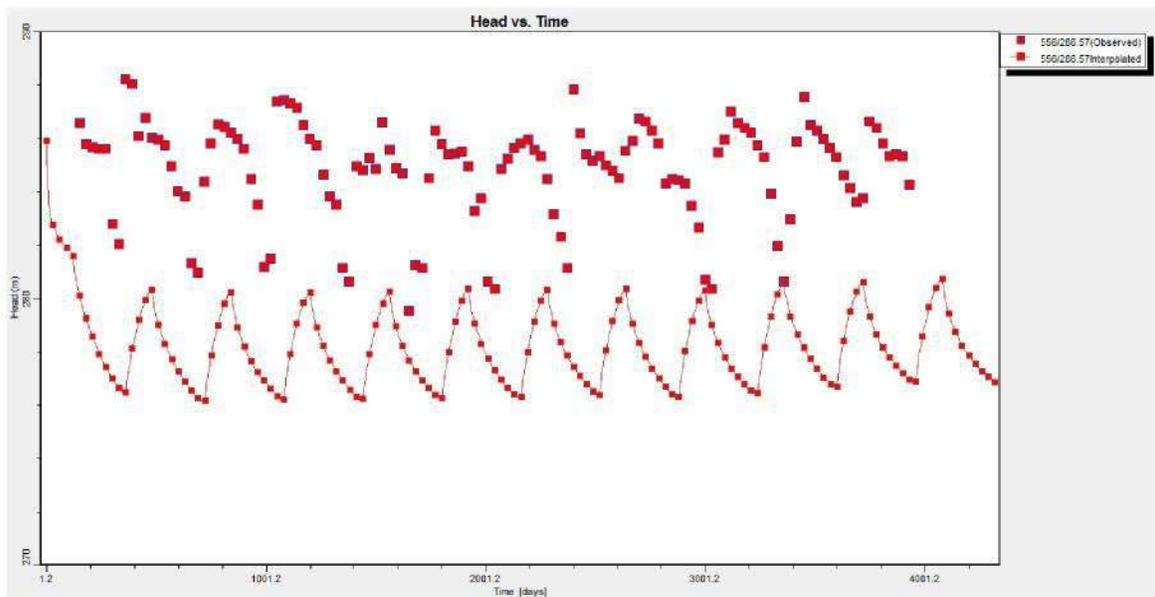


Figura N°55 Calibración del modelo para el pozo N°556, Distrito de Cieneguilla

## Pozos N°628

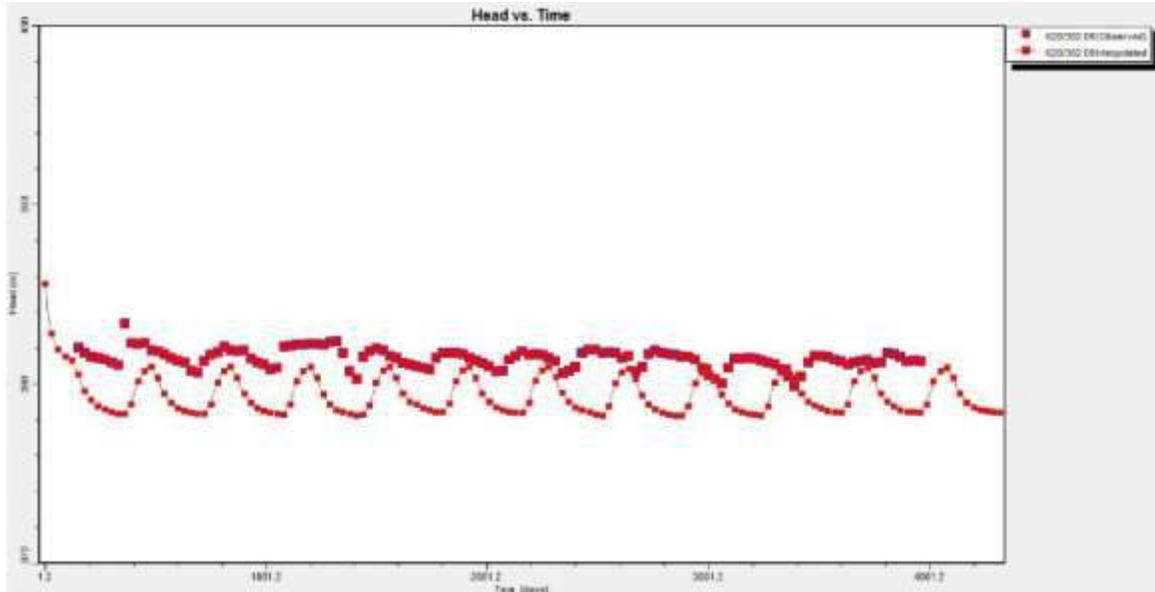


Figura N°56 Calibración del modelo para el pozo N°628, Distrito de Cieneguilla

### 5.3.2 PARAMETROS DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE

#### PERMEABILIDAD

Para la calibración del modelo se procedió solo a aplicar una permeabilidad equivalente a todo el acuífero, ya que este se trata de un acuífero libre, compuesto por material aluvial formado estos por el arrastre del río. Ver Figura N°57

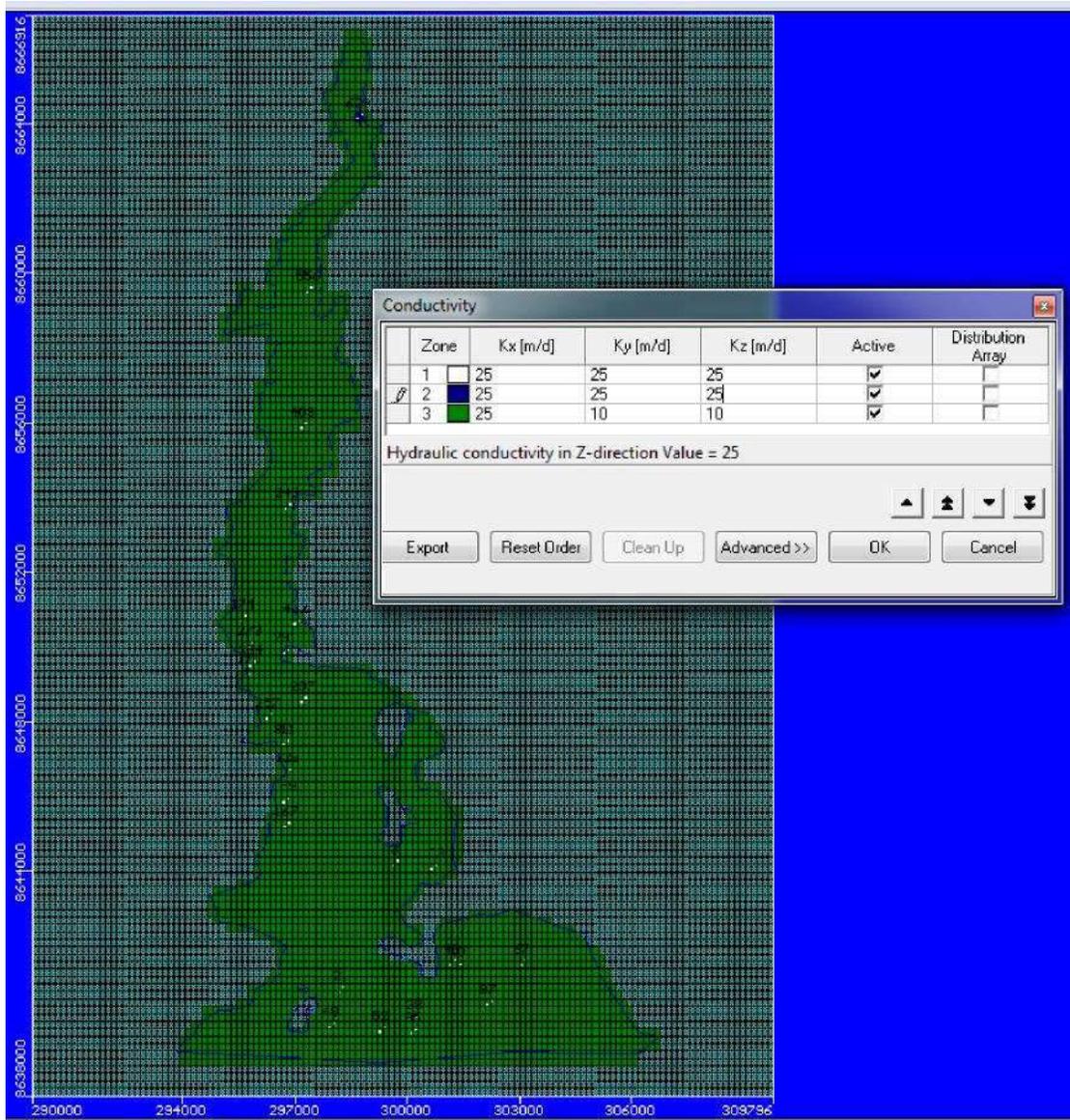


Figura N°57 Parámetros de permeabilidad en estado Permanente

## COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Para la calibración del modelo considero un coeficiente de almacenamiento de 8%, ya que para acuíferos aluviales el coeficiente de almacenamiento varía entre 5 y 20%. Ver Figura N°58

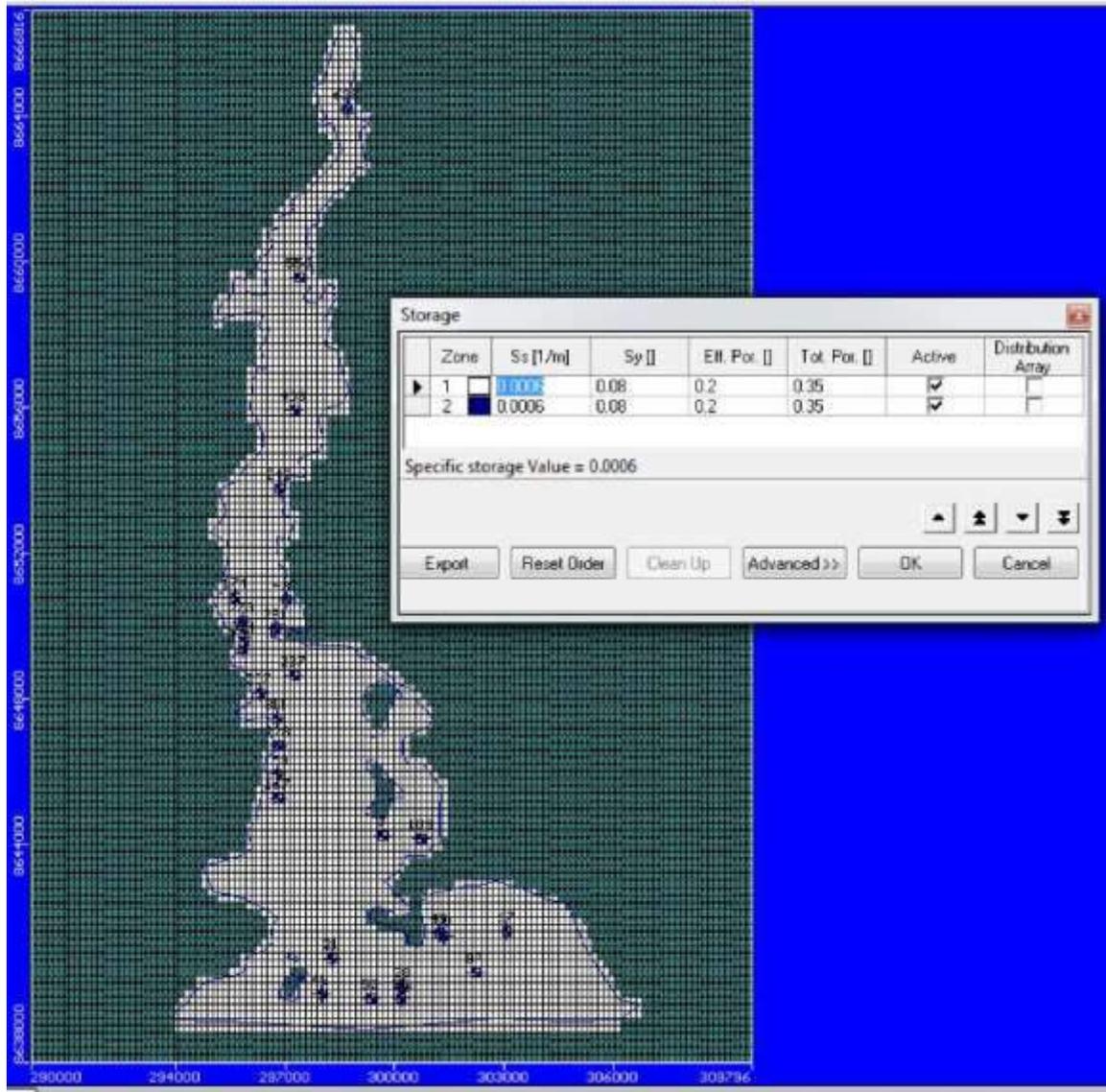


Figura N°58 Parámetros de Coeficiente de almacenamiento

### 5.3.3 RECARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE

Para la recarga del acuífero se consideró la recarga generada por el río, la lluvia que se produce en el lugar, y la recarga en las zonas de regadío, estos datos fueron dados anuales. Ver Figura N°59

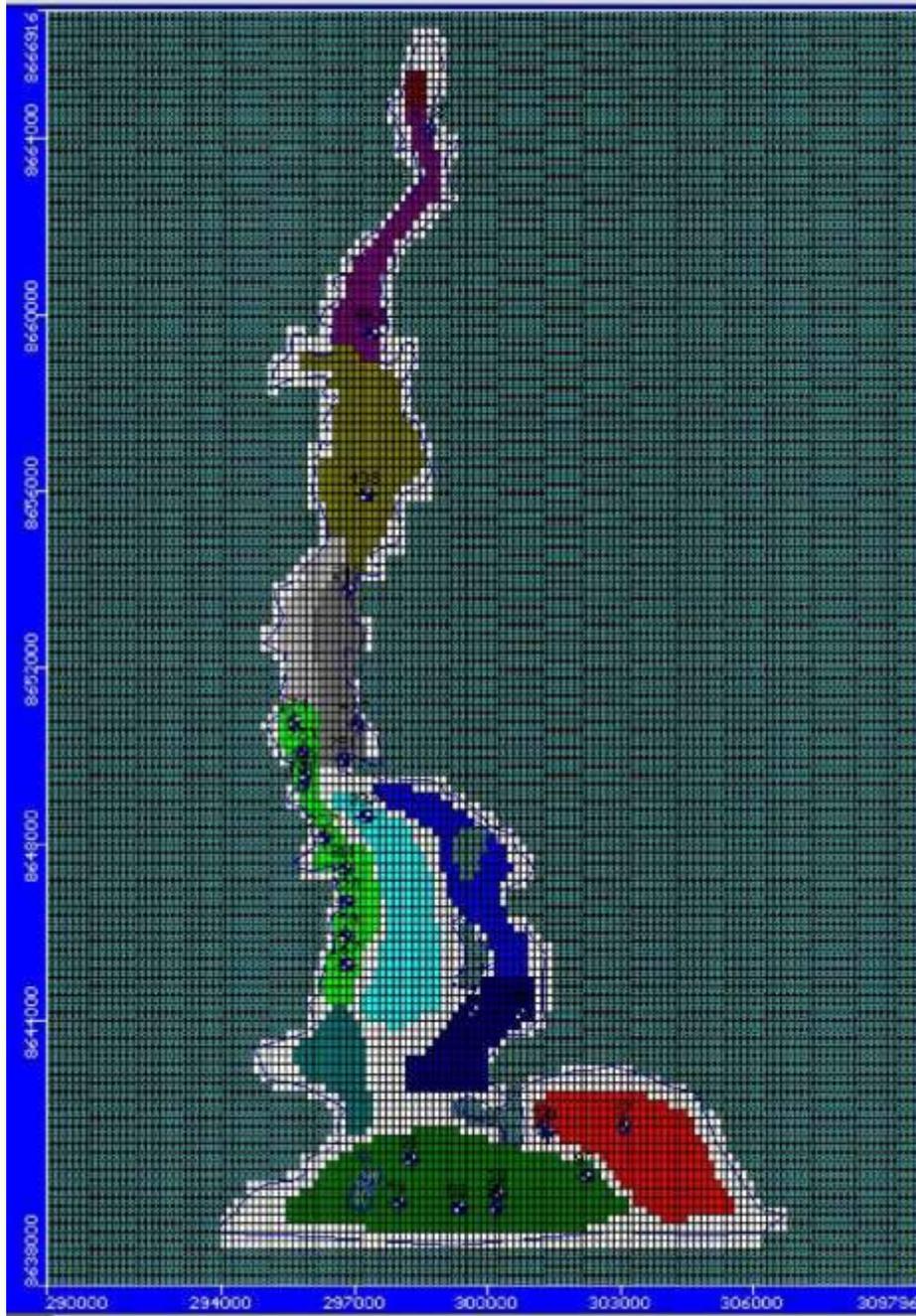


Figura N°59 Recargas del acuífero en estado no permanente

### 5.3.4 DESCARGA DEL ACUIFERO EN ESTADO NO PERMANENTE

Para el modelo número se consideró una descarga del acuífero producido por los pozos de bombeo. Ver Figura N°60

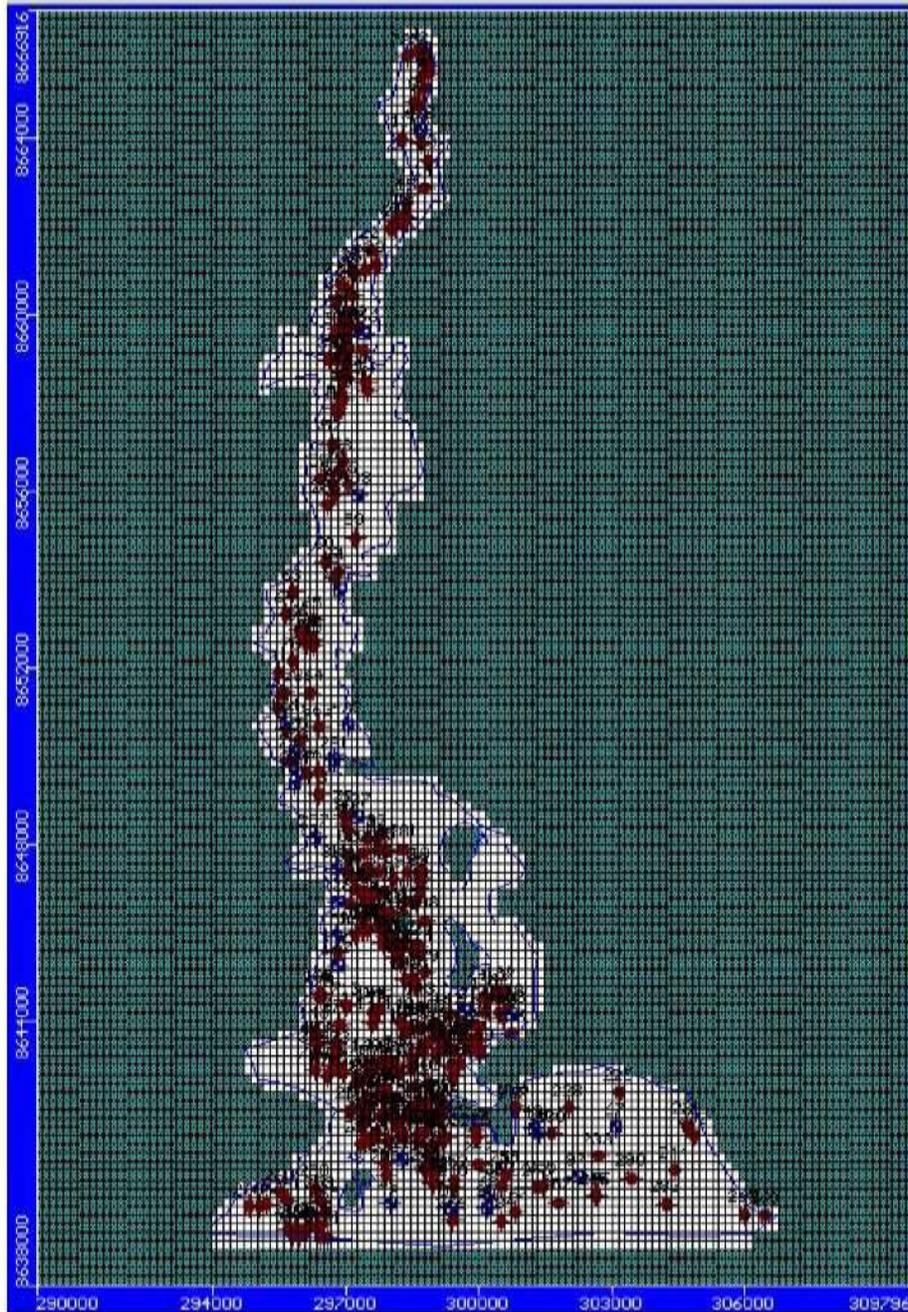


Figura N°60 descarga del acuífero en estado no permanente

#### 5.4 BALANCE DEL ACUIFERO

Luego de la calibración del modelo para el año 2013, se procedió hacer el balance de masa, el cual este resultado nos muestra que el agua que ingresa es igual al agua que sale. Ver Tabla N°28.

El porcentaje de discrepancia nos indica cuan aceptable es el modelo, se considera que el modelo está bien calibrado, en otras palabras entre el flujo de entrada y el flujo de salida es menor 10%

ELEMENTO	AÑO 2013	
	ENTRADAS	SALIDAS
	m3/dia	m3/dia
Almacenamiento	19543.14	4.62
Carga constante	36126.02	35615.37
Ríos	6119.81	37560.00
Recarga precipitación y áreas verdes	49899.87	0.00
Pozos	0.00	38509.41
Total	111688.85	111689.40
Error		0.001

Tabla N° 28 Balance del Acuífero año 2013

### 7.1 ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMETRICOS

Para la estimación del comportamiento de los niveles piezómetros, se plantearon 3 escenarios desde el año 2013 al año 2033 Ver tablas del 29 al 31, ubicados en los distritos de Pachacamac y Lurín. Los escenarios considerados fueron los siguientes:

- ▣ Escenario 1: considero un caudal de extracción de 33111.32 m<sup>3</sup>/día
- ▣ Escenario 2: considero un caudal de extracción de 46516.32 m<sup>3</sup>/día
- ▣ Escenario 3: considero un caudal de extracción de 52996.32 m<sup>3</sup>/día.

POZO	ESTE	NORTE	N.E año 2013	N.E año 2033
3	297580	8645946	53.06	46.09
10	297556	8642715	3.29	1.50
21	294580	8643835	13.63	11.92
28	295831	8642147	3.61	2.67
48	293848	8643152	6.15	4.51
167	295673	8648309	61.98	59.65
171	297020	8652330	113.91	108.13
174	297630	8653630	131.84	127.54
228	296471	8649560	81.43	76.08
237	297820	8650950	98.72	92.16
291	298100	8652310	119.73	113.56
403	301710	8657150	398.72	378.67
556	303776	8660157	277.18	274.09
628	307337	8663389	224.56	224.34

Tabla N°29 Niveles observados y calibrado para los años 2013 y 2033

POZO	ESTE	NORTE	N.E año 2013	N.E año 2033
3	297580	8645946	53.23	44.34
10	297556	8642715	3.41	1.14
21	294580	8643835	13.71	10.62
28	295831	8642147	3.76	2.40
48	293848	8643152	6.74	4.20
167	295673	8648309	61.90	56.68
171	297020	8652330	114.43	109.27
174	297630	8653630	132.24	128.37
228	296471	8649560	81.72	75.95
237	297820	8650950	99.41	93.35
291	298100	8652310	120.72	114.57
403	301710	8657150	222.55	222.87
556	303776	8660157	270.57	272.81
628	307337	8663389	377.77	378.43

Tabla N°30 Niveles observados y calibrado para los año 2013 y 2033, con 7 pozos instalados en la zona de Pachacamac y Cieneguilla

POZO	ESTE	NORTE	N.E año 2013	N.E año 2033
3	297580	8645946	53.2	40.7
10	297556	8642715	3.4	1.0
21	294580	8643835	13.7	9.4
28	295831	8642147	3.8	2.1
48	293848	8643152	6.74	3.71
167	295673	8648309	61.79	52.00
171	297020	8652330	114.48	107.47
174	297630	8653630	132.27	127.29
228	296471	8649560	81.71	72.33
237	297820	8650950	99.45	90.79
291	298100	8652310	120.78	112.98
403	301710	8657150	224.43	222.32
556	303776	8660157	277.80	272.47
628	307337	8663389	397.73	378.41

Tabla N°31 Niveles observados y calibrado para los año 2013 y 2033, con 10 pozos instalados en la zona de Pachacamac y Cieneguilla

## 7.2 BALANCE DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RÍO LURÍN PARA EL AÑO 2033.

Luego de la calibración del modelo para el año 2033, se procedió hacer el balance de masa, el cual este resultado nos muestra que el agua que ingresa es igual al agua que sale.

El porcentaje de discrepancia nos indica cuan aceptable es el modelo, se considera que el modelo está bien calibrado, en otras palabras entre el flujo de entrada y el flujo de salida es menor 10%

ELEMENTO	AÑO 2033	
	ENTRADAS	SALIDAS
	m3/dia	m3/dia
Almacenamiento	25069.66	4.06
Carga constante	65061.39	43956.14
Ríos	6765.33	33318.70
Recarga precipitación y áreas verdes	13493.15	0.00
Pozos	0.00	33111.33
Total	110389.52	110390.22
Error		0.001

Tabla N° 32 Balance del Acuífero año 2033

### 7.3 BALANCE DEL ACUIFERO PARA EL AÑO 2033 CON 7 POZOS DE EXPLOTACION.

Luego de la calibración del modelo para el año 2033, con 7 pozos ubica, 4 de ellos ubicados en el distrito de Pachacamac y 3 en el distrito de Lurin, se procedió hacer el balance de masa, el cual este resultado nos muestra que el agua que ingresa es igual al agua que sale.

El porcentaje de discrepancia nos indica cuan aceptable es el modelo, se considera que el modelo está bien calibrado, en otras palabras entre el flujo de entrada y el flujo de salida es menor 10%

ELEMENTO	AÑO 2033	
	Con 7 pozos	
	ENTRADAS	SALIDAS
	m3/dia	m3/dia
Almacenamiento	29840.35	49.14
Carga constante	36194.23	22323.02
Ríos	7166.05	17801.65
Recarga precipitación y áreas verdes	13489.50	0.00
Pozos	0.00	46516.33
Total	86690.14	86690.14
Error		0.001

Tabla N° 33 Balance del Acuífero año 2033, 7 Pozos

#### 7.4 BALANCE DEL ACUIFERO PARA EL AÑO 2033 CON 10 POZOS DE EXPLOTACION.

Luego de la calibración del modelo para el año 2033, con 7 pozos ubica, 6 de ellos ubicados en el distrito de Pachacamac y 4 en el distrito de Lurin, se procedió hacer el balance de masa, el cual este resultado nos muestra que el agua que ingresa es igual al agua que sale.

El porcentaje de discrepancia nos indica cuan aceptable es el modelo, se considera que el modelo está bien calibrado, en otras palabras entre el flujo de entrada y el flujo de salida es menor 10%

ELEMENTO	AÑO 2033	
	Con 10 pozos	
	ENTRADAS	SALIDAS
	m3/dia	m3/dia
Almacenamiento	31719.11	11.06
Carga constante	36198.11	19755.44
Ríos	7304.86	15948.76
Recarga precipitación y áreas verdes	13489.50	0.00
Pozos	0.00	52996.33
Total	88711.58	88711.59
Error		0.001

Tabla N° 34 Balance del Acuífero año 2033, 10 Pozos

## **7.5 HIDRODINAMICA DEL ACUÍFERO DEBIDO A LA EXPLOTACIÓN**

En los diagramas se puede apreciar el cambio de los niveles freáticos afectados por los pozos de extracción desde el año 2013 hasta el 2033. Ver figuras del 61 al 64.

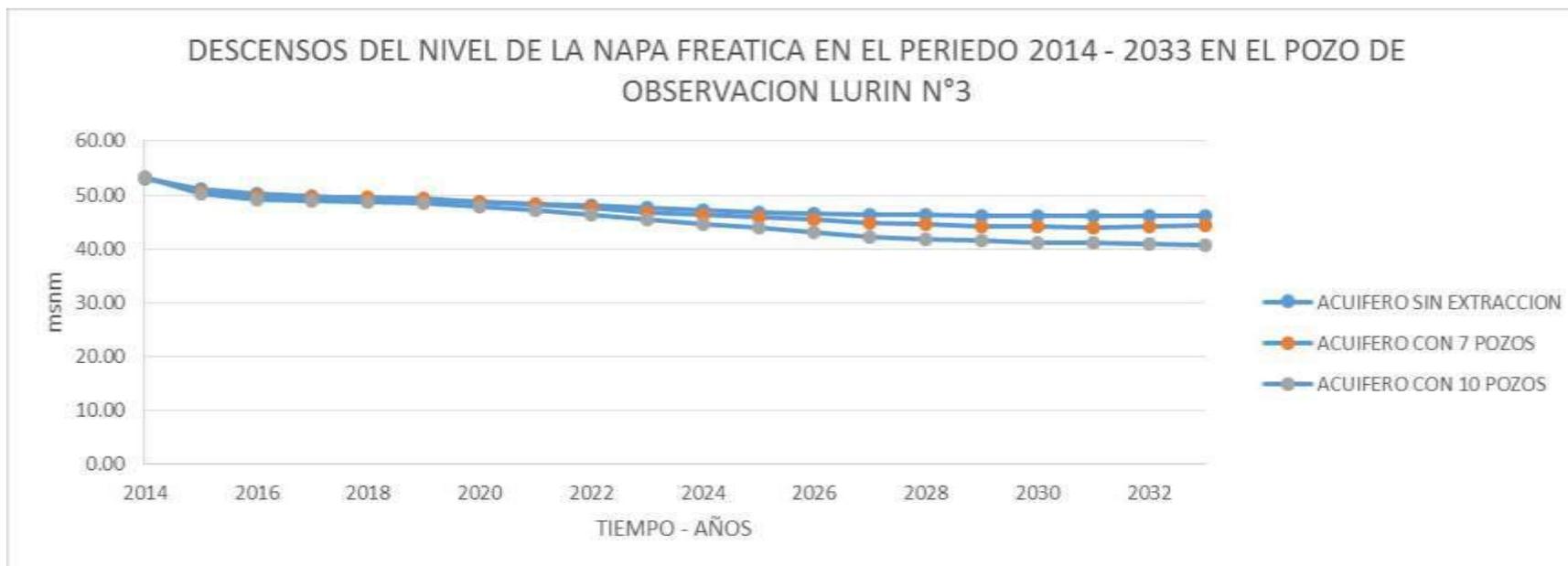


Figura N°61 muestra el resumen de la simulación del modelo para 7 y 10 pozos de extracción.

En la presente Figura N°61 se puede observar que se produce un descenso para el pozo de observación N°3 en el caso que se proceda a ubicar 7 o 10 nuevos pozos en el valle del río Lurín.

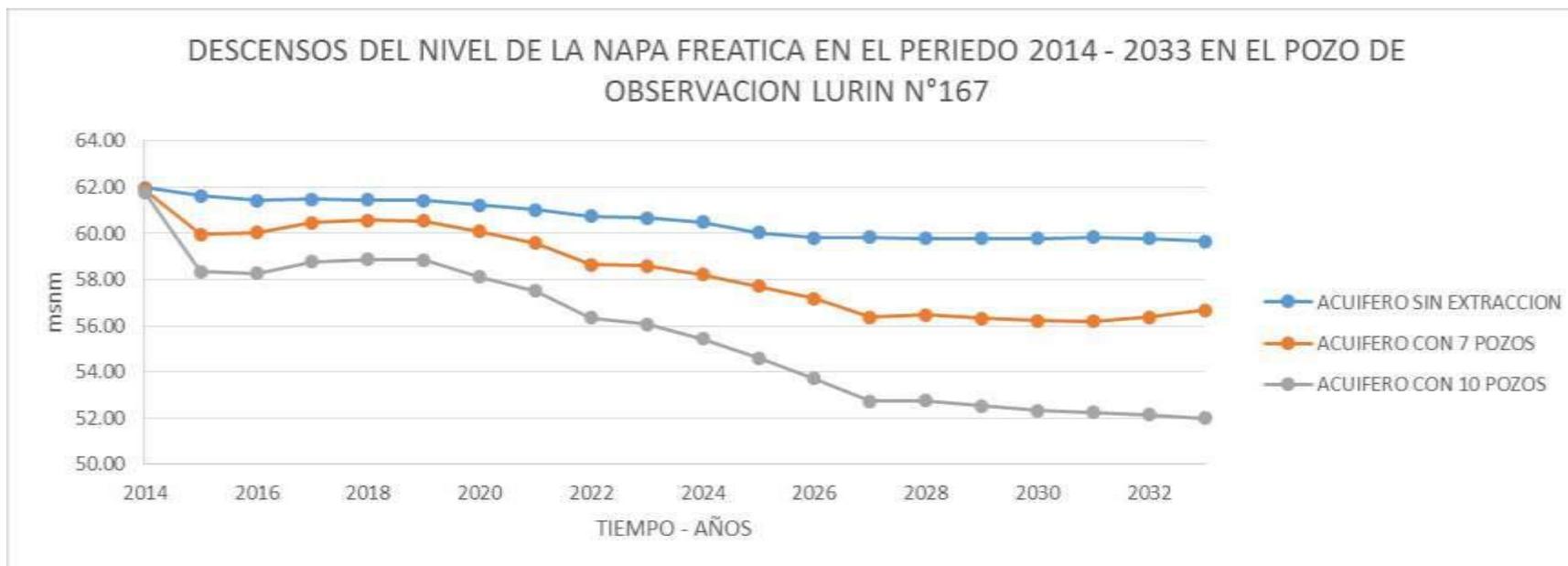


Figura N°62 muestra el resumen de la simulación del modelo para 7 y 10 pozos de extracción.

En la presente Figura N°62 se puede observar que se produce un descenso para el pozo de observación N°167 en el caso que se proceda a ubicar 7 o 10 nuevos pozos en el valle del río Lurín.

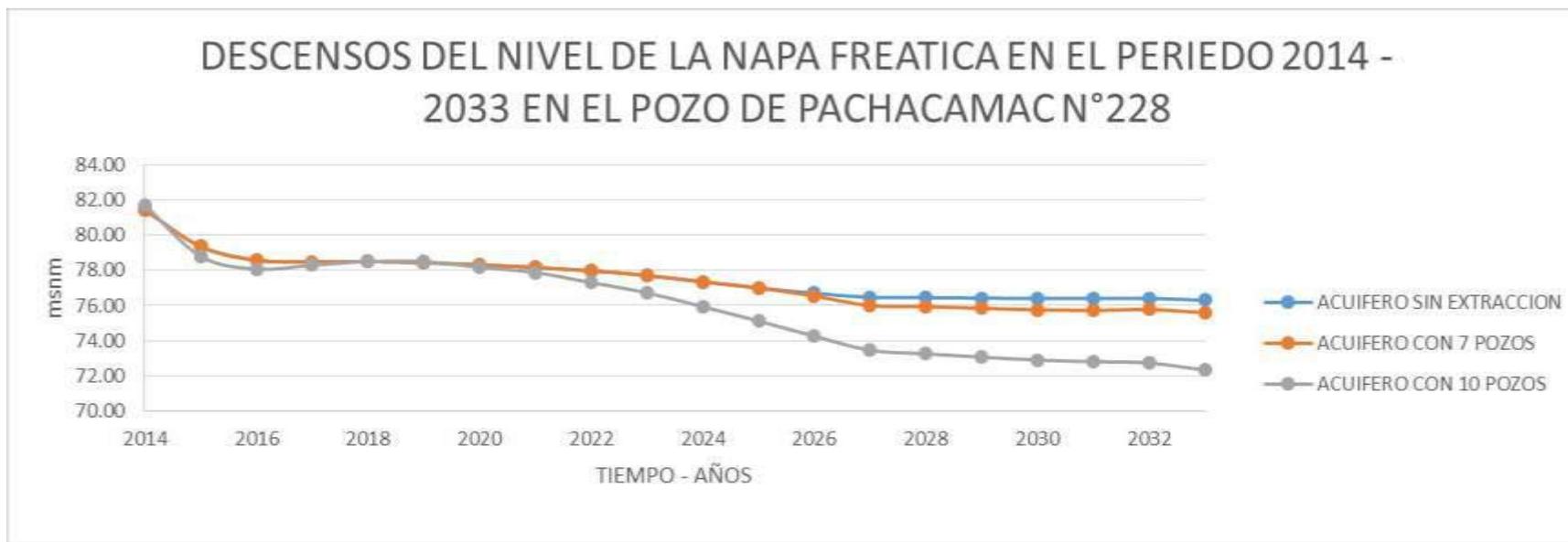


Grafico N°63 muestra el resumen de la simulación del modelo para 7 y 10 pozos de extracción.

En la presente Figura N°63 se puede observar que se produce un descenso para el pozo de observación N°228 en el caso que se proceda a ubicar 7 o 10 nuevos pozos en el valle del río Lurín.

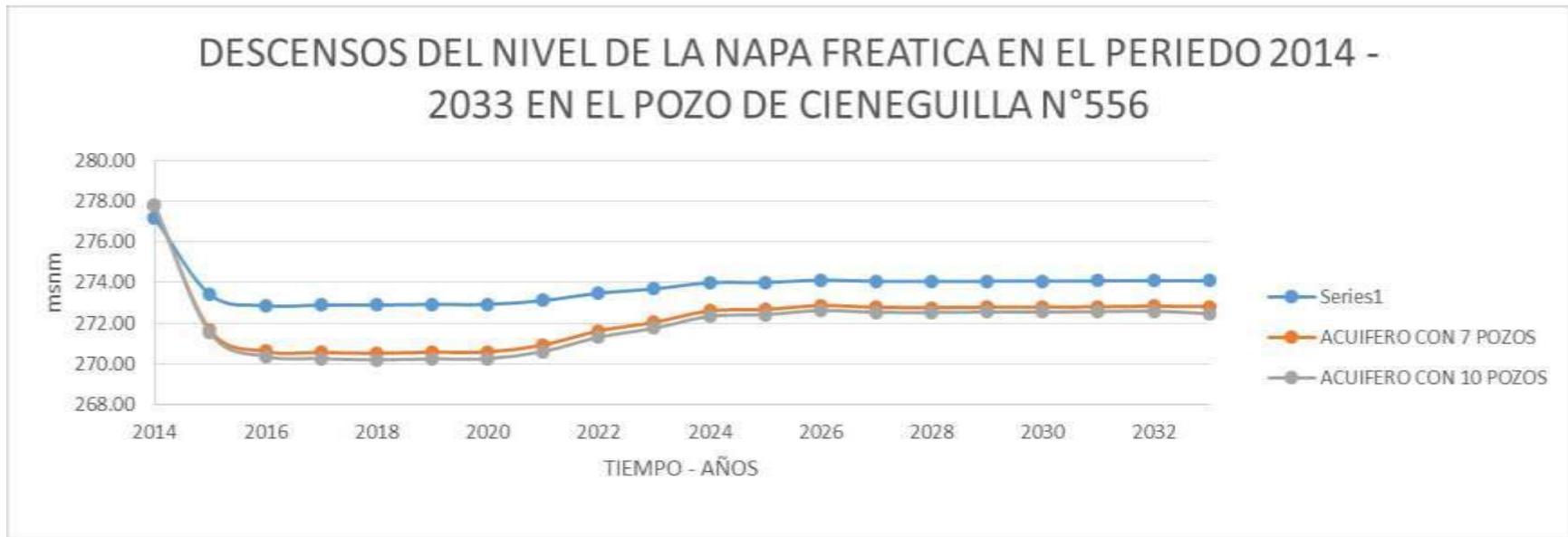


Grafico N°64 muestra el resumen de la simulación del modelo para 7 y 10 pozos de extracción.

En la presente Figura N°64 se puede observar que se produce un descenso y luego una recuperación para el pozo de observación N°556 en el caso que se proceda a ubicar 10 nuevos pozos en el valle del río Lurín.

**7.1 CONCLUSIONES**

- a) Se consideró una permeabilidad de 25 m/día para el acuífero del valle del río Lurín, ya que según su geología está compuesta por cantos rodados, gravas, arena gruesa, y finos.
- b) El coeficiente de almacenamiento para el acuífero del valle del río Lurín se encuentra por el orden del 8%, lo que es representativo para un acuífero libre.
- c) Para la evaluación del descenso de la napa freática se consideró 3 escenarios para un periodo de 20 años:
  - Escenario 1 considera un caudal constante de extracción de 33111.32 m<sup>3</sup>/día, entre los años 2014 y 2033
  - Escenario 2 considera un caudal constante de extracción de 46516.32 m<sup>3</sup>/día, entre los años 2014 y 2033.
  - Escenario 3 considera un caudal constante de extracción de 52996.32 m<sup>3</sup>/día, entre los años 2014 y 2033.
- d) Escenario 2
  - El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 3 es de 1.75m con descenso anual promedio de 0.08 m/año y para el pozo de observación N° 167 es de

2.97m con un descenso promedio anual por año de 0.15 m/año. Ambos pozos ubicados en el distrito de Lurín.

- El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 228 es de 0.70m con un descenso anual de 0.03 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Pachacamac
- El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 556 es de 1.28m con un descenso anual de 0.06 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Cieneguilla.

e) Escenario N°3

- El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 3 es de 5.39m con descenso anual promedio de 0.26 m/año y para el pozo de observación N° 167 es de 7.65m con un descenso promedio anual por año de 0.38 m/año. Ambos pozos ubicados en el distrito de Lurín.
- El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 228 es de 3.97m con un descenso anual de 0.20 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Pachacamac.
- El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 556 es de 1.62m con un descenso anual de 0.08 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Cieneguilla.

- f) Teniendo en cuenta las consideraciones tomadas anteriormente, se concluye que el caudal que se podría extraer del acuífero del valle del río Lurín sin producir un descenso acelerado es de 46516.32 m<sup>3</sup>/día, equivalente a un caudal instantáneo de 0.53 m<sup>3</sup>/seg.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- a) Llevar un control de los pozos de terceros para mejorar la modelación matemática del acuífero del Lurín.
- b) Verificar las cotas topográficas de los pozos y piezómetros.
- c) Mejorar la descripción litológica de los pozos perforados.
- d) Las pruebas de bombeo deben de ser de preferencia mayor a 3 días para un mejor cálculo de los parámetros hidráulicos del acuífero.
- e) Instalar más pozos de observación con equipos de medición electrónica.
- f) Instalar dos estaciones hidrométricas con equipos de medición electrónica. La primera en la zona de Cieneguilla y otra en la zona de descarga del río Lurín al mar.

## BIBLIOGRAFIA

---

1Emilio Custodio, *Hidrología Subterránea* (Barcelona: Omega, 1975)

2Autoridad Nacional del Agua, Diagnostico Situacional de Recarga de Acuíferos (Perú: 2009)

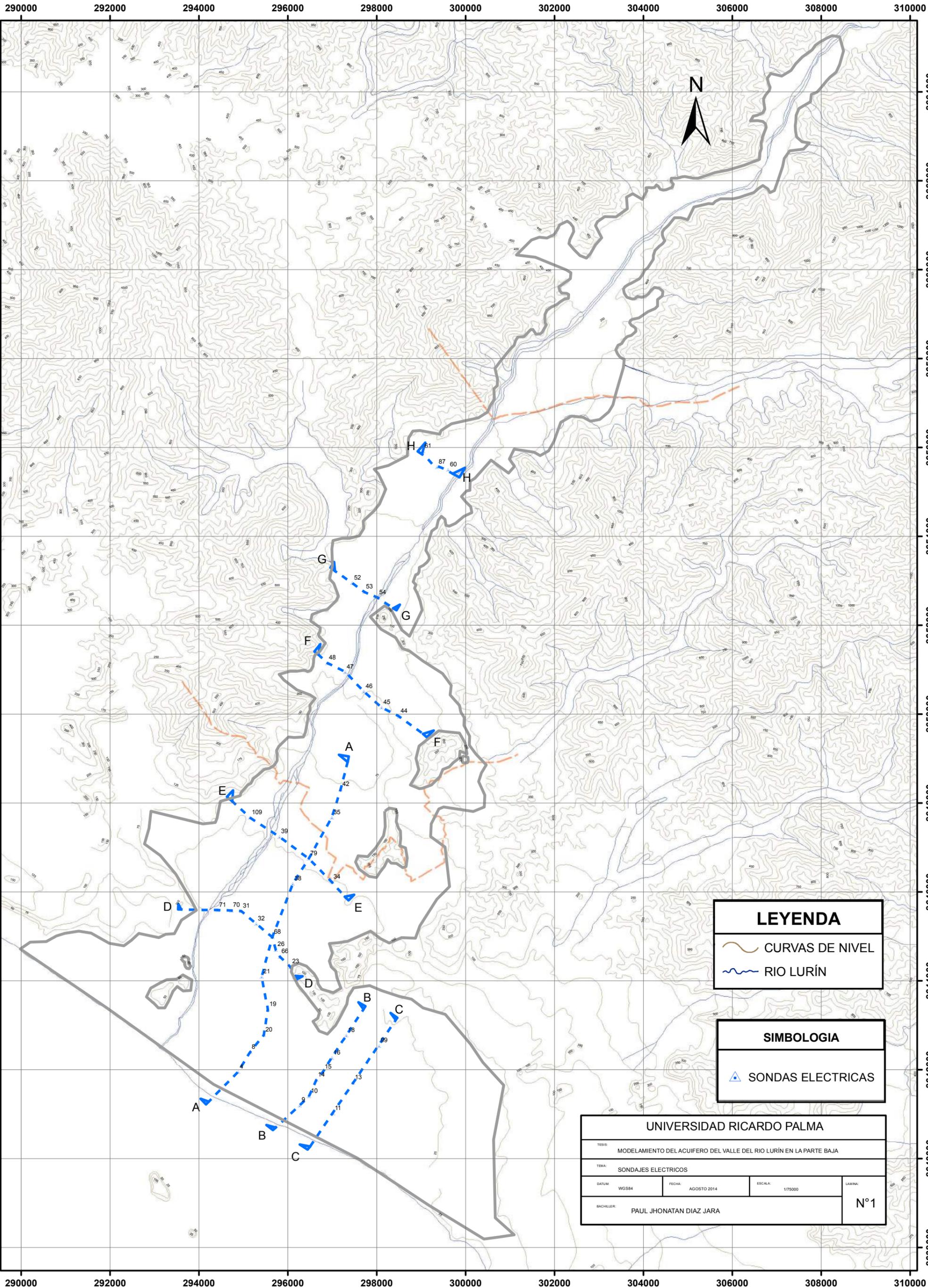
3Sedapal, Modelamiento Matemático del acuífero Lurín (Perú: 2008) 4Comision docente curso

internacional de Hidrología Subterránea, Hidrogeologia (Madrid: 2009) 5 K.R Rushton, GroundWater

Hydrology (2003)

6Sedapal, Estudio Hidrogeológico del Potencial Acuífero del Valle del Río Lurín (1997)

# **ANEXO LAMINAS**



**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL
- RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

- SONDAJES ELECTRICAS

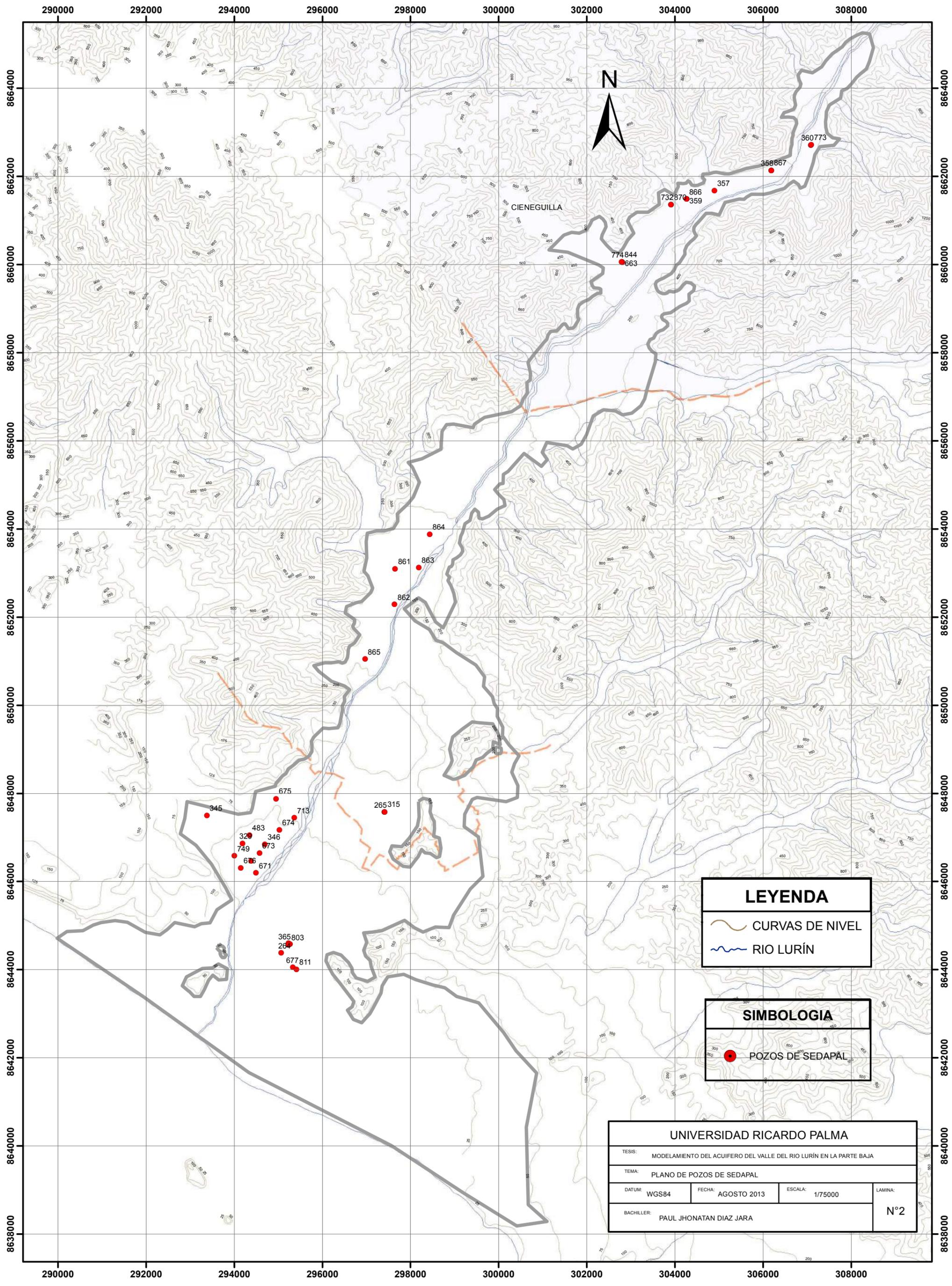
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TEMA: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

TEMA: SONDAJES ELECTRICOS

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA: N°1
--------------	--------------------	-----------------	-------------

BACHELIER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA



CIENEGUILLA

**LEYENDA**

-  CURVAS DE NIVEL
-  RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

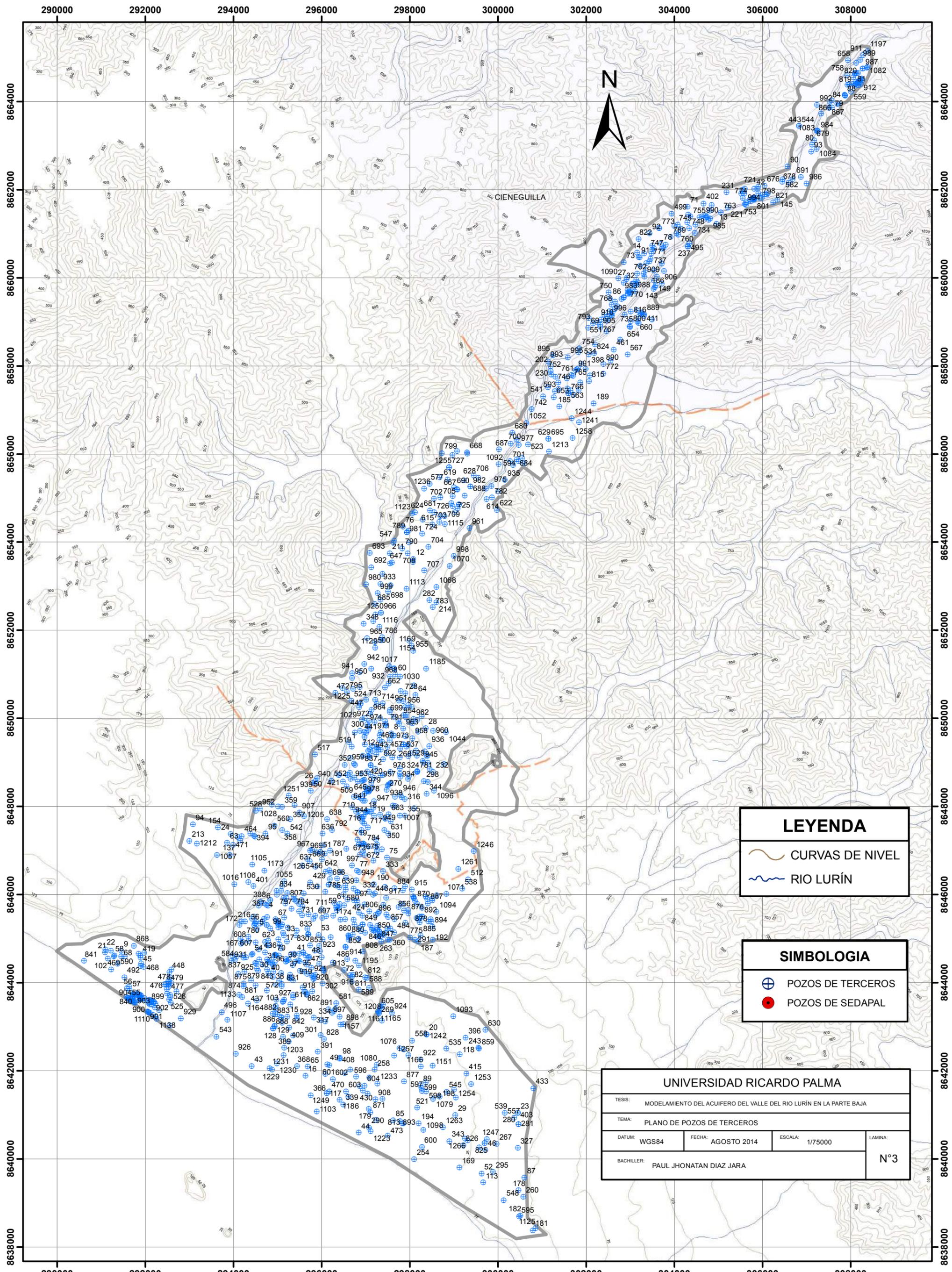
-  POZOS DE SEDAPAL

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

TEMA: PLANO DE POZOS DE SEDAPAL

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2013	ESCALA: 1/75000	LAMINA:
BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA			N°2



**LEYENDA**

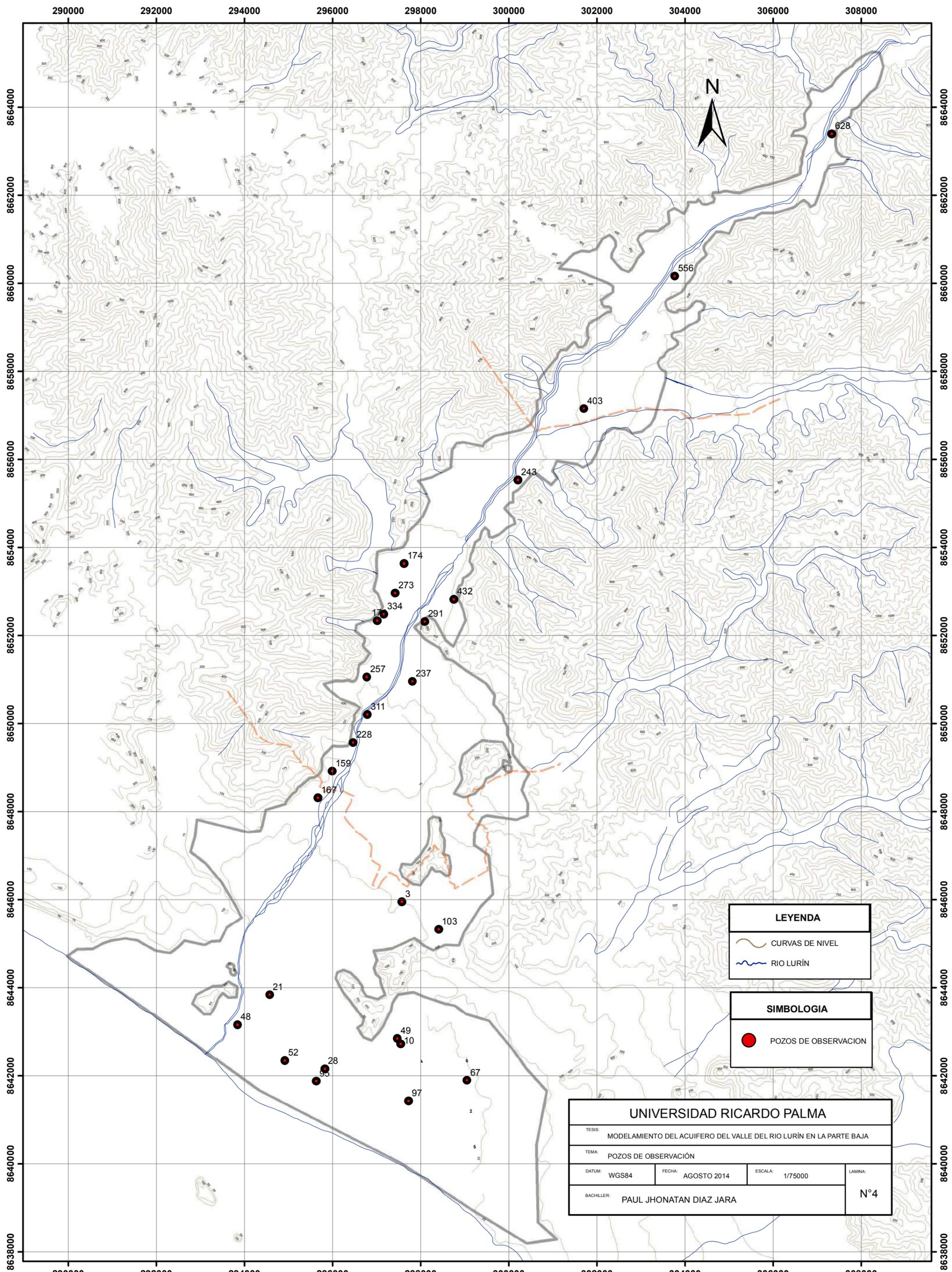
- CURVAS DE NIVEL
- RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

- POZOS DE TERCEROS
- POZOS DE SEDAPAL

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA			
TEMA: PLANO DE POZOS DE TERCEROS			
DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA:
BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA			N°3



**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL
- RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

- POZOS DE OBSERVACION

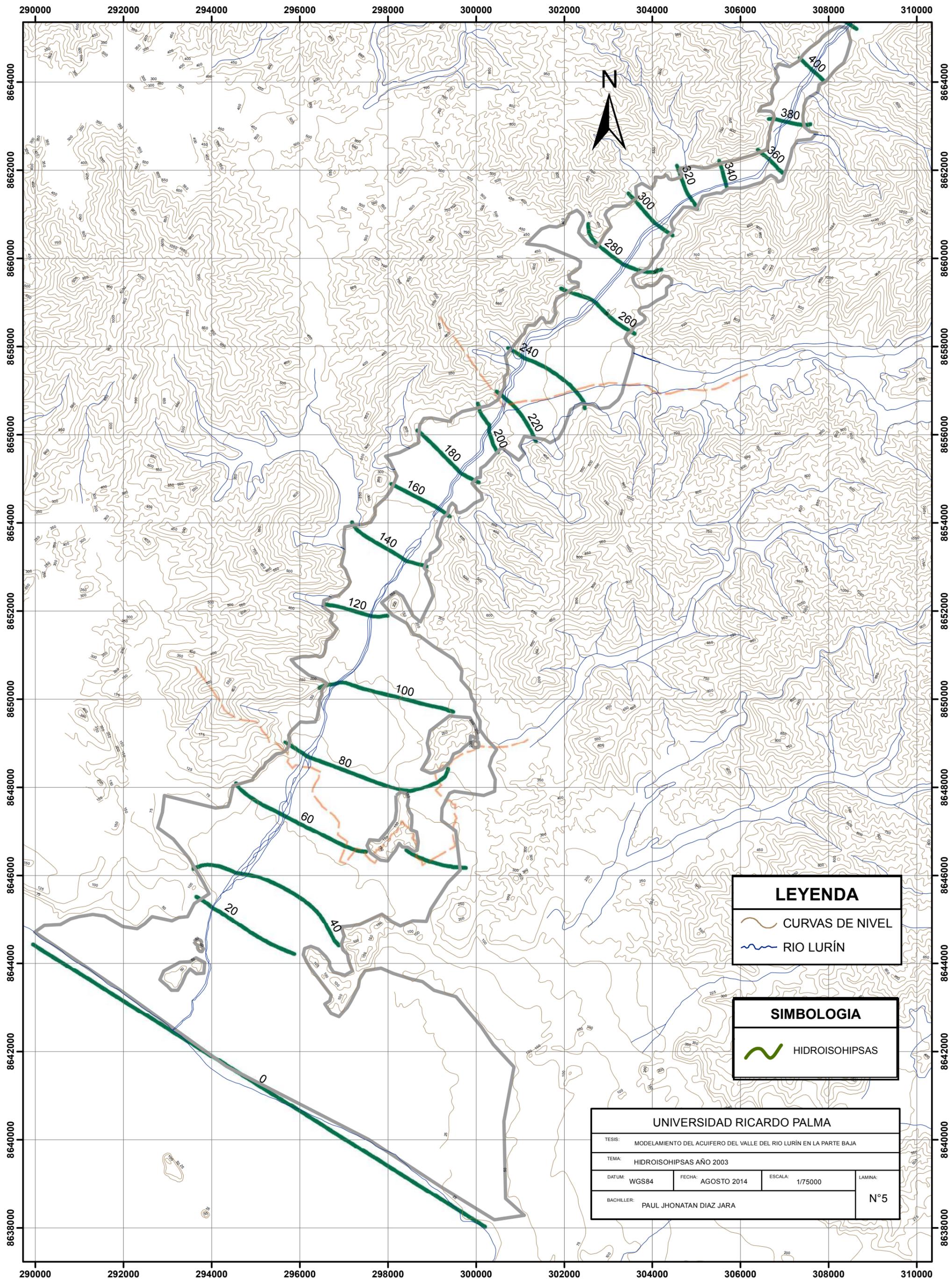
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

TEMA: POZOS DE OBSERVACIÓN

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA: N°4
--------------	--------------------	-----------------	-------------

BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA



**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL
- RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

- HIDROISOHIPSAS

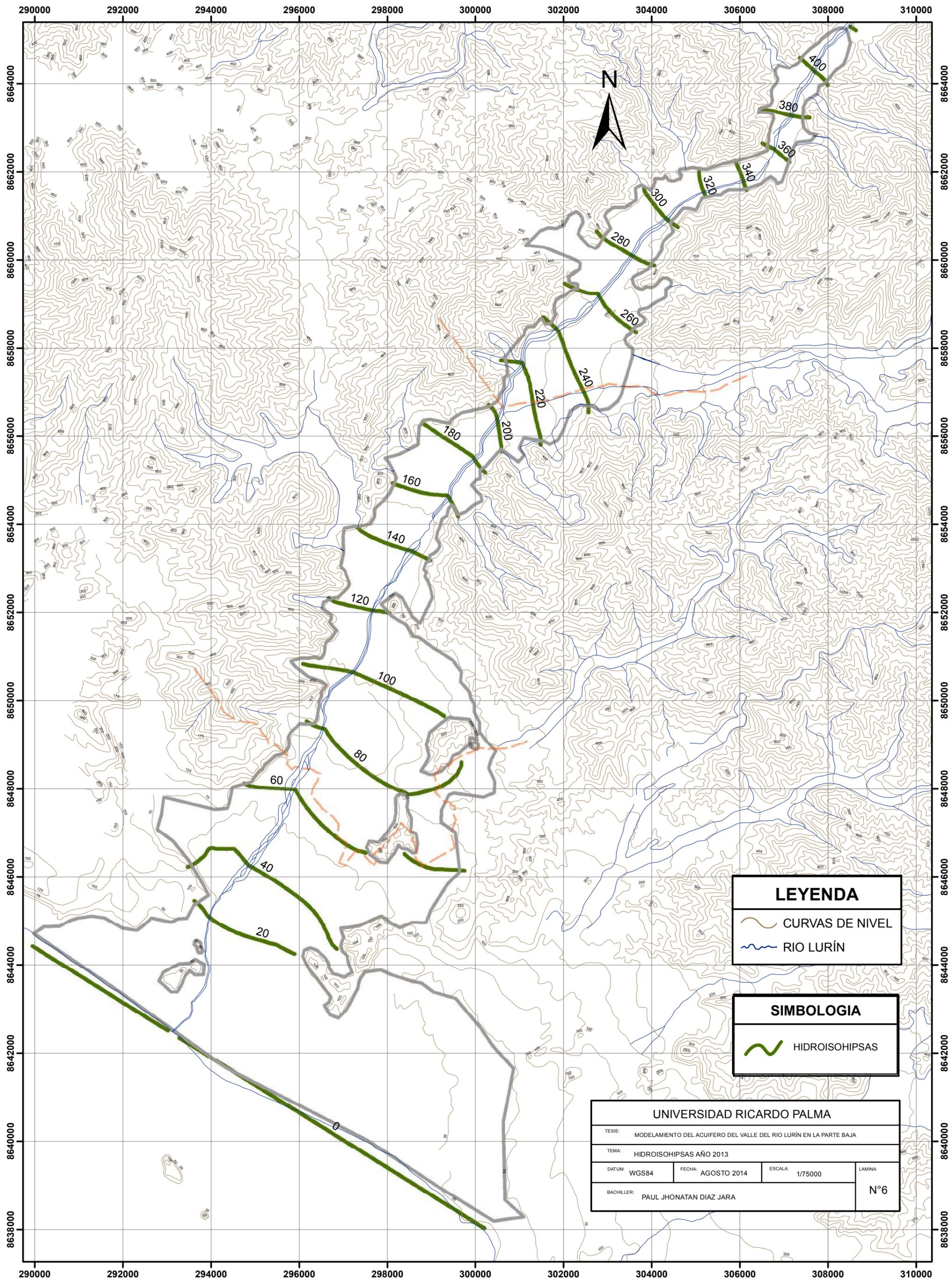
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

TEMA: HIDROISOHIPSAS AÑO 2003

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA: N°5
--------------	--------------------	-----------------	-------------

BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA



**LEYENDA**

-  CURVAS DE NIVEL
-  RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

-  HIDROISOHIPSAS

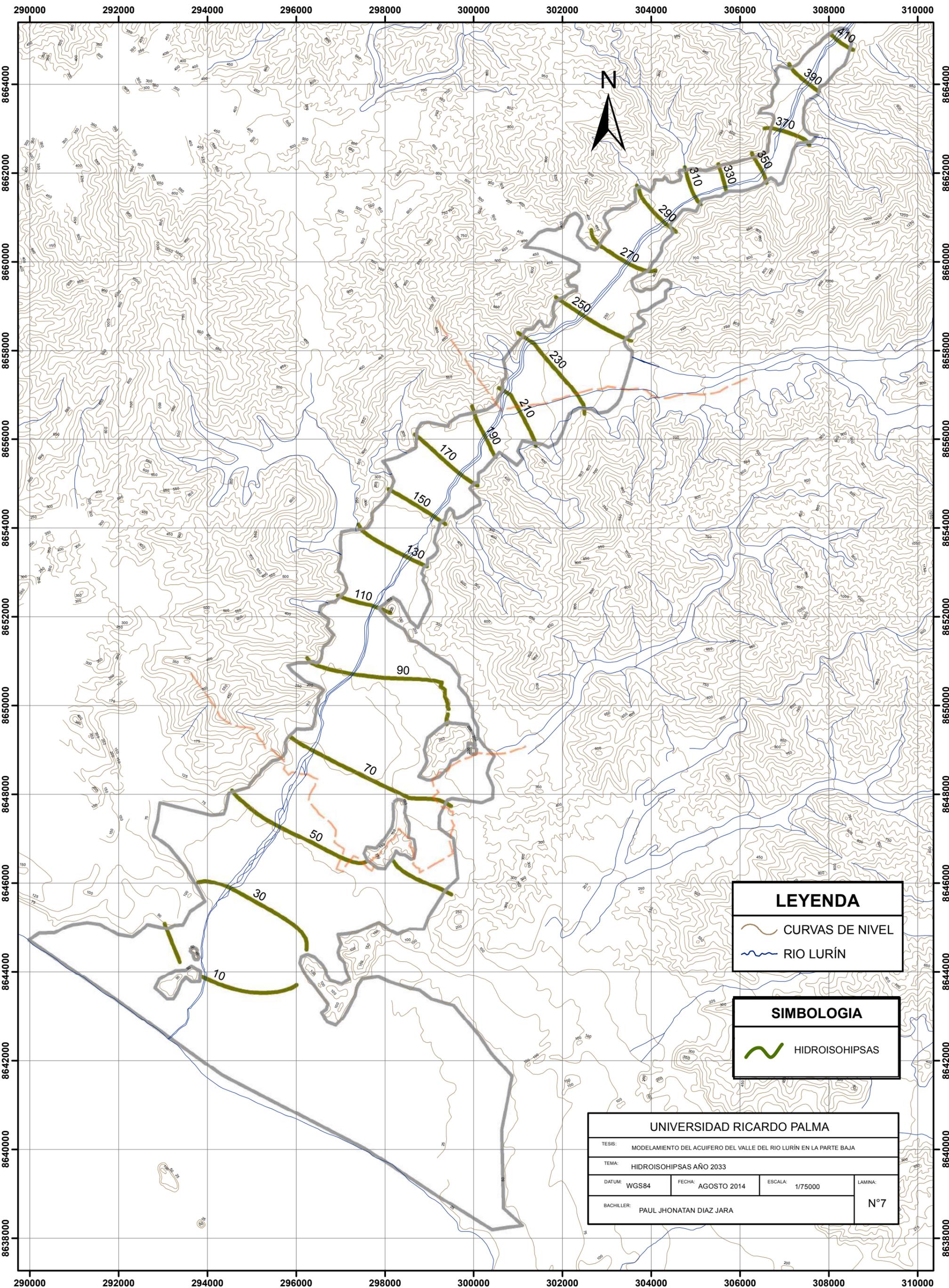
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

TEMA: HIDROISOHIPSAS AÑO 2013

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA: N°6
--------------	--------------------	-----------------	-------------

BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA



**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL
- RIO LURÍN

**SIMBOLOGIA**

- HIDROISOHIPSAS

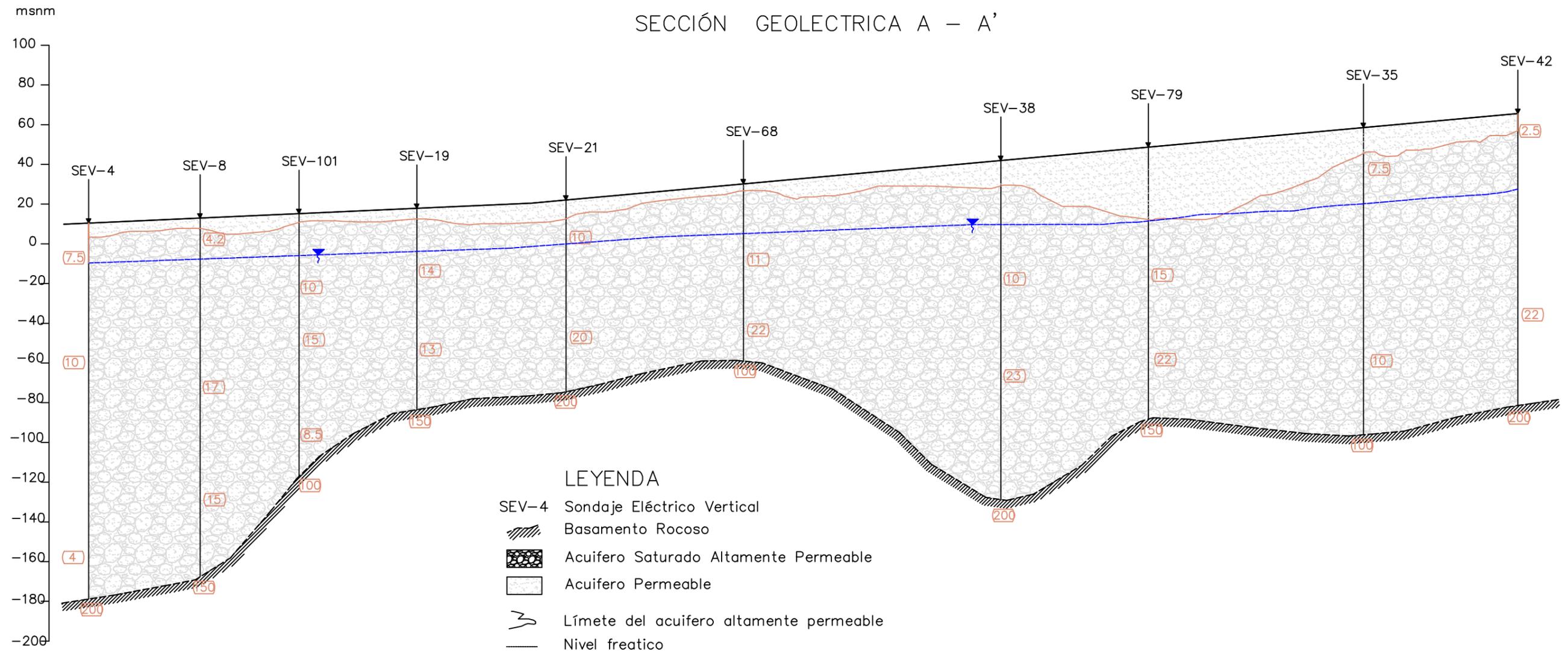
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

TESIS: MODELAMIENTO DEL ACUIFERO DEL VALLE DEL RIO LURÍN EN LA PARTE BAJA

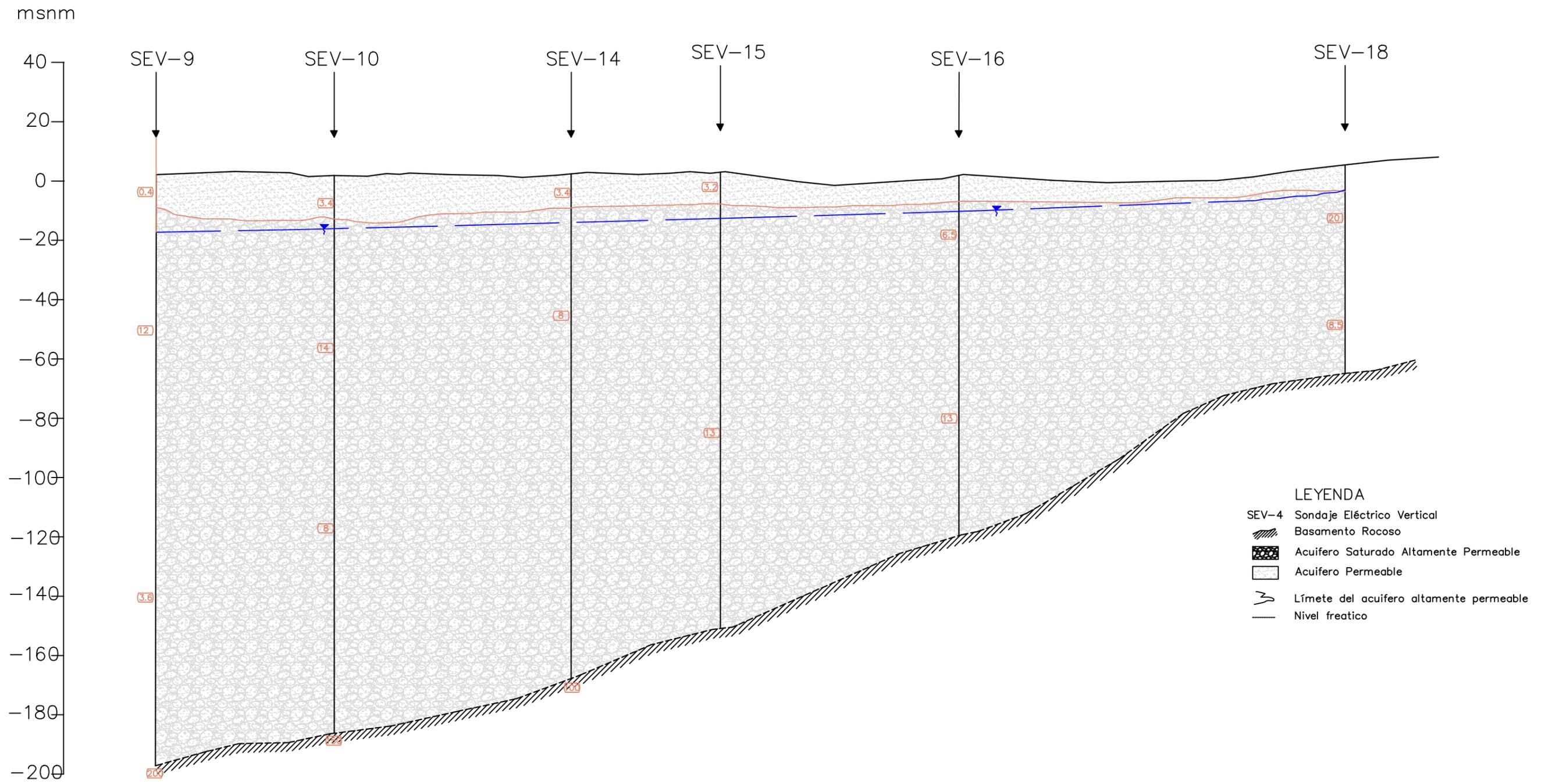
TEMA: HIDROISOHIPSAS AÑO 2033

DATUM: WGS84	FECHA: AGOSTO 2014	ESCALA: 1/75000	LAMINA:
BACHILLER: PAUL JHONATAN DIAZ JARA			N°7

# SECCIÓN GEOELECTRICA A - A'



# SECCIÓN GEOELECTRICA B - B'

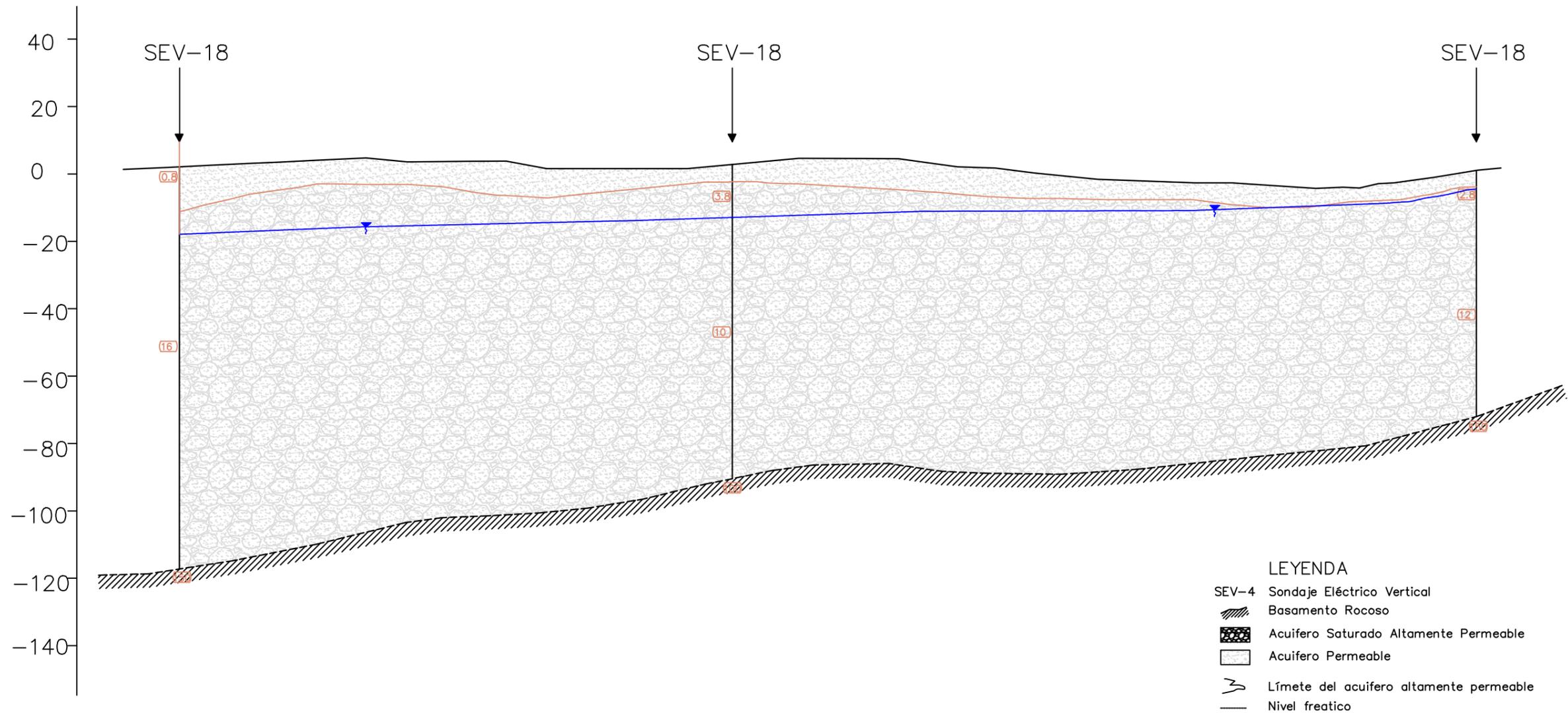


- LEYENDA**
- SEV-4 Sondaje Eléctrico Vertical
  - Basamento Rocoso
  - Acuífero Saturado Altamente Permeable
  - Acuífero Permeable
  - Límite del acuífero altamente permeable
  - Nivel freático

LAMINA N° 2A

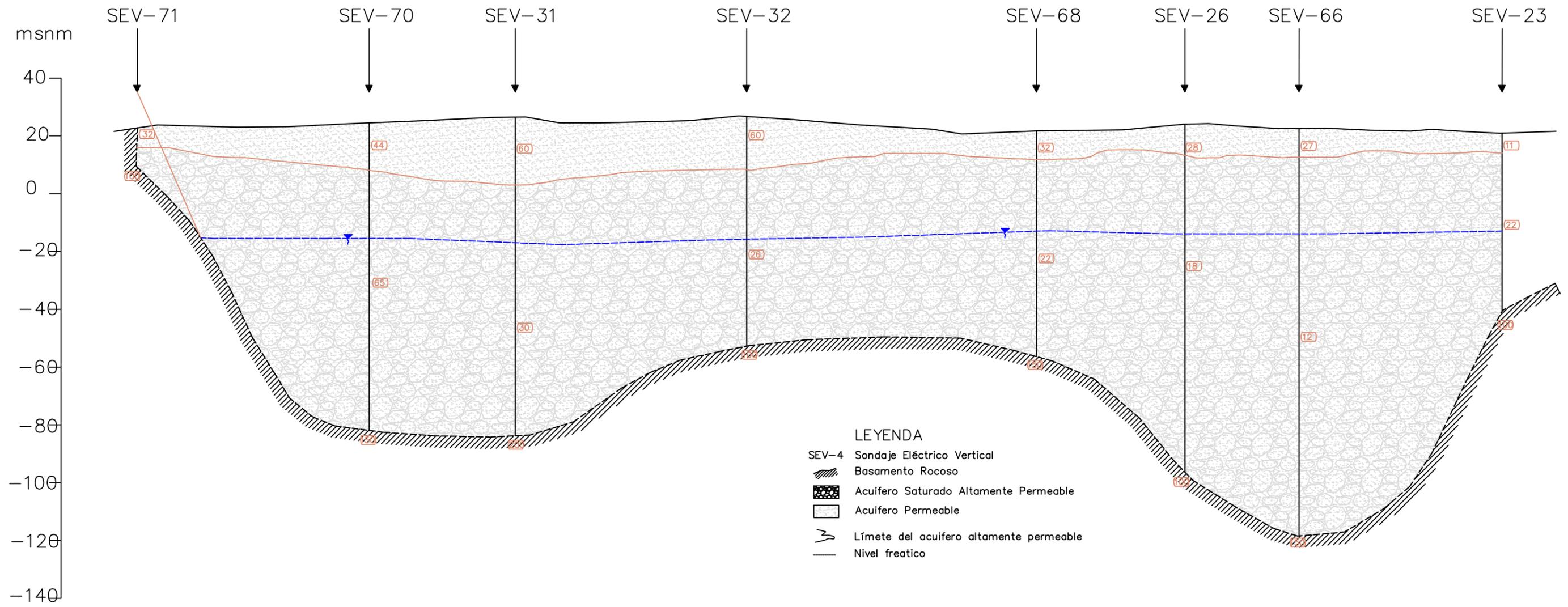
# SECCIÓN GEOELECTRICA C - C'

msnm



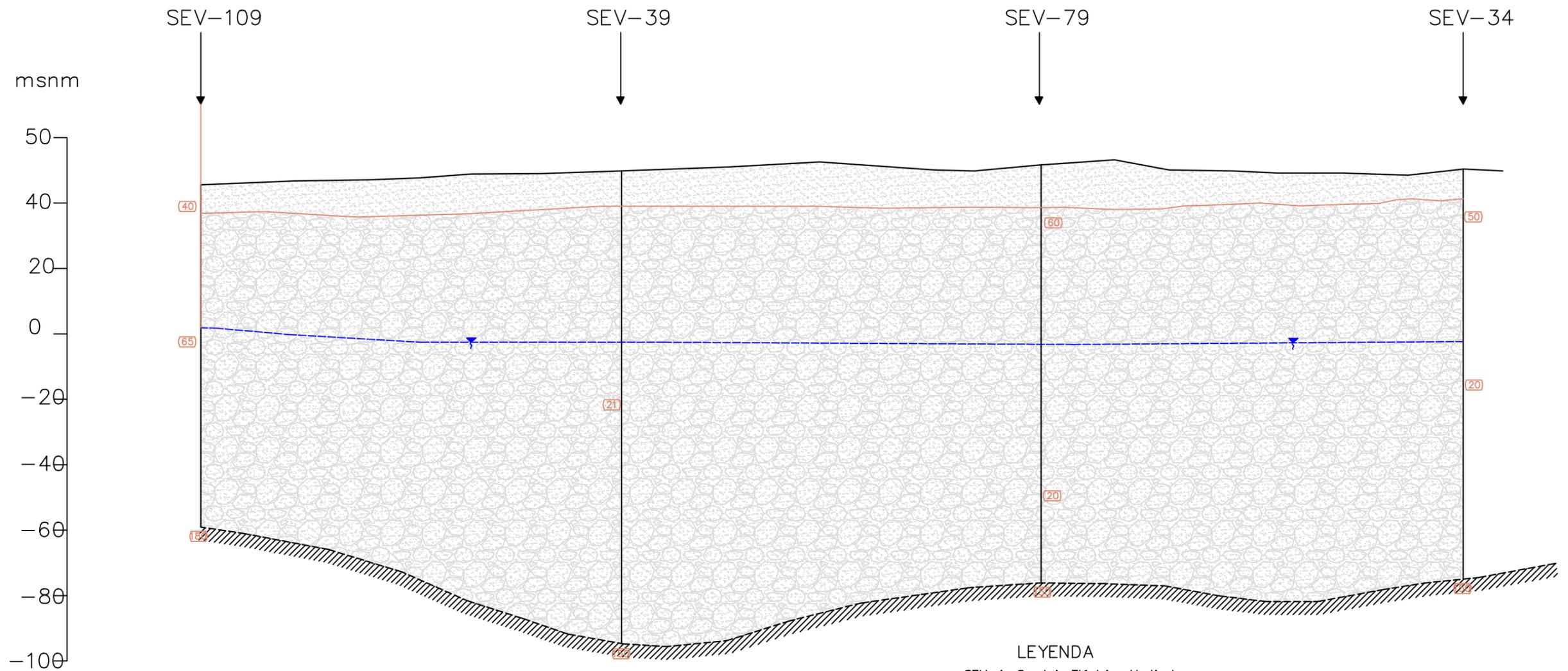
LAMINA N° 3A

# SECCIÓN GEOELECTRICA D - D'



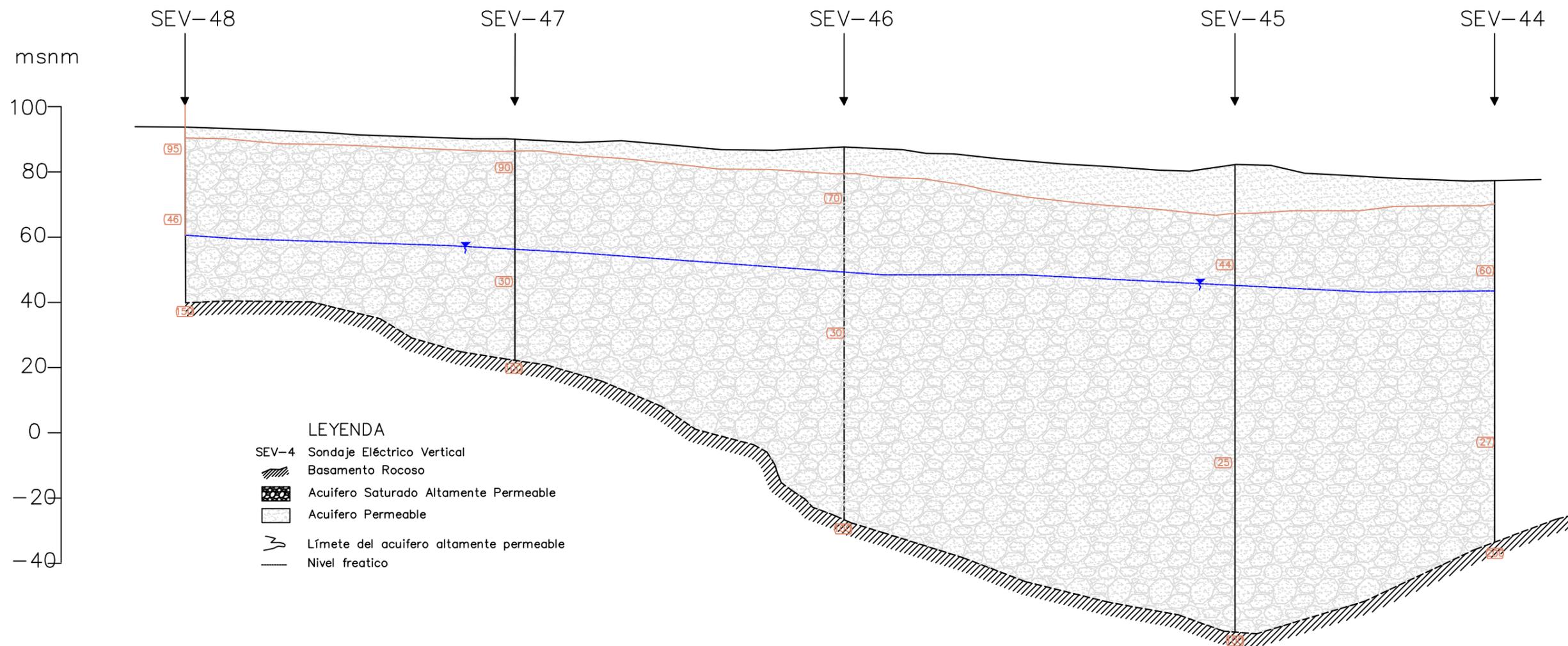
- LEYENDA**
- SEV-4 Sondaje Eléctrico Vertical
  - Basamento Rocoso
  - Acuífero Saturado Altamente Permeable
  - Acuífero Permeable
  - Límite del acuífero altamente permeable
  - Nivel freático

# SECCIÓN GEOELECTRICA E - E'

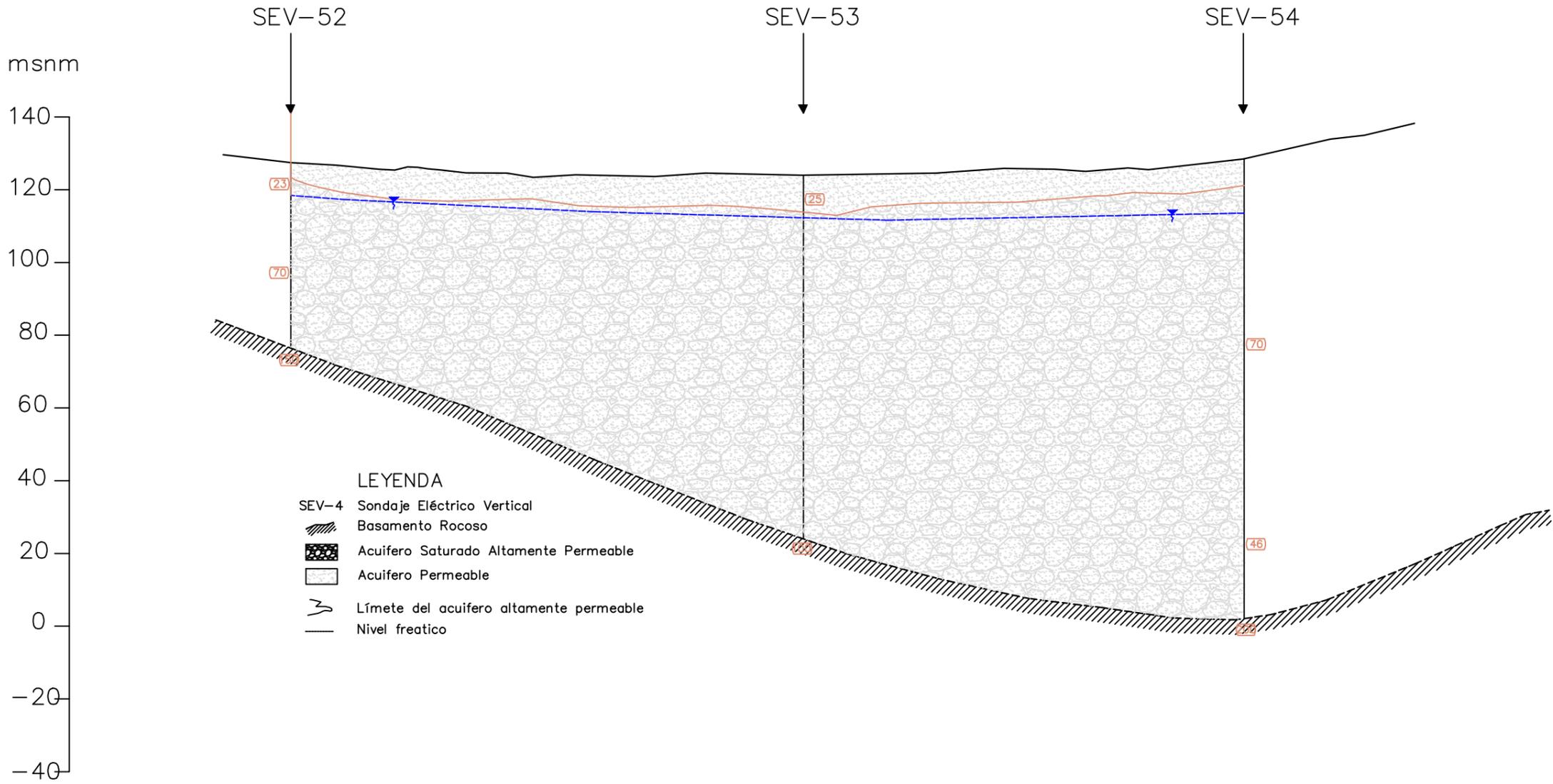


- LEYENDA**
- SEV-4 Sondaje Eléctrico Vertical
  -  Basamento Rocoso
  -  Acuífero Saturado Altamente Permeable
  -  Acuífero Permeable
  -  Límite del acuífero altamente permeable
  -  Nivel freático

# SECCIÓN GEOELECTRICA F - F'



# SECCIÓN GEOELECTRICA G - G'



# SECCIÓN GEOELECTRICA H - H'

