

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA
SUBTERRÁNEA PARA LA CAPTACIÓN DE FUENTES DE AGUA
POR GALERIAS FILTRANTES EN EL VALLE DEL RÍO RIMAC”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

MARDEN ARTURO PEREYRA ALVARADO

LIMA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

“EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA PARA LA CAPTACIÓN DE FUENTES DE AGUA POR GALERIAS FILTRANTES EN EL VALLE DEL RÍO RIMAC”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. MARDEN ARTURO PEREYRA ALVARADO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. GONZALO RAMCÉS FANO MIRANDA
Presidente

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA
Asesor

Mg. SAÚL MOISES TORRES MURGA
Miembro

Mg. Adm. ARMENIO FLAUBERT GALINDEZ ORÉ
Miembro

LIMA – PERU

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, principalmente, a mis padres, por darme la vida y el haberme acompañado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi pareja Carolay, por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional en los momentos más difíciles. A mis hermanos, porque siempre he aprendido a crecer juntos a ellos y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

- En primer lugar, doy gracias a Dios, por acompañarme en cada momento de mi vida, por demostrarme que sin el nada es posible y por hacerme conocer ese amor maravilloso que él tiene para nosotros.
- Al ingeniero Toribio Sebastián Santayana Vela, por su admirable labor y por su apoyo constante e incondicional.
- Quisiera agradecer también al ingeniero Julio Janneo Haro Córdova, por su apoyo en la realización de esta monografía.
- Finalmente, a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron y creyeron posible el desarrollo de este trabajo basado en una experiencia laboral y aplicativa con beneficio social, en especial a mi prima Zulith Pereyra, que en mi formación profesional fue un gran impulso para convertirme en quien soy.

INDICE GENERAL

I.	PRESENTACIÓN.....	1
II.	INTRODUCCIÓN.....	2
III.	OBJETIVOS.....	3
	3.1. Objetivo general.....	3
	3.2. Objetivos específicos.....	3
IV.	CUERPO DEL TRABAJO.....	4
	4.1. Generalidades.....	4
	4.2. Revisión bibliográfica.....	4
	4.2.1. Antecedentes.....	4
	4.2.2. Marco teórico.....	5
	a. La hidrogeología.....	5
	b. El agua subterránea.....	5
	c. El acuífero.....	6
	d. Características de los acuíferos.....	6
	e. Métodos geofísicos.....	7
	f. Resistividad eléctrica de los suelos.....	8
	g. Dispositivos lineales.....	9
	a. Calidad de agua.....	10
	4.3. Metodología del trabajo ejecutado.....	10
	4.3.1. Ubicación y acceso.....	10
	4.3.2. Características geológicas y geomorfológicas.....	11
	a. Marco geomorfológico.....	11
	b. Marco geológico.....	11
	4.3.3. Prospección geofísica.....	12
	4.3.4. Inventario de pozos y fuentes de agua.....	14
	4.1.1. El acuífero.....	15
	4.1.1. La napa.....	16
	4.1.2. Hidrodinámica subterránea.....	19
	4.1.3. Hidrogeoquímica.....	27

4.1.4.	Demanda de agua	30
4.1.5.	Disponibilidad hídrica	30
4.1.	Experiencias y aportes al trabajo profesional	30
4.1.1.	Contribución a la solución de situaciones problemáticas presentadas durante estancia en la empresa.....	30
4.1.2.	Contribución al centro laboral en términos de las competencias y habilidades adquiridas durante su formación profesional	31
4.1.3.	Nivel de contribución al centro laboral a partir de la solución de situaciones problemáticas	32
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
VII.	ANEXOS	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores relativos de coeficientes de permeabilidad (K).....	7
Tabla 2: Valores de coeficiente de almacenamiento (S)	8
Tabla 3: Resistividades de algunos materiales	9
Tabla 4: Ubicación de los sondajes eléctricos verticales.....	13
Tabla 5: Interpretación de los sondajes eléctricos verticales.....	13
Tabla 6: Tipos de pozos existentes	15
Tabla 7: Profundidad de pozos existentes	16
Tabla 8: Equipamiento de los pozos existentes	17
Tabla 9: Estado y uso de los pozos existentes	18
Tabla 10: Régimen de explotación de los pozos existentes.....	19
Tabla 11: Variación del nivel freático	20
Tabla 12: Ubicación de las calicatas.....	23
Tabla 13: Resultados de análisis microbiológicos.....	27
Tabla 14: Resultados de análisis físico-químicos.....	28
Tabla 15: Resultados de conductividad eléctrica	29
Tabla 16: Régimen de explotación	30
Tabla 17: Volumen de explotación promedio mensual	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivo tetraelectrodico para la medida de la resistividad del suelo	10
Figura 2: Prueba de acuífero del pozo IRHS 834 – descenso	21
Figura 3: Prueba de acuífero del pozo IRHS 834 - recuperación.....	21
Figura 4: Prueba de acuífero del pozo IRHS 820 - descenso	22
Figura 5: Prueba de acuífero del pozo IRHS 820 - recuperación.....	22
Figura 6: Prueba de acuífero calicata 1 – descenso	24
Figura 7: Prueba de acuífero calicata 1 - recuperación	24
Figura 8: Prueba de acuífero calicata 2 - descenso.....	25
Figura 9: Prueba de acuífero calicata 2 - recuperación	25
Figura 10: Prueba de acuífero calicata 3 - descenso.....	26
Figura 11: Prueba de acuífero calicata 3 - recuperación	26

ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS	38
Figura 12: Plano de ubicación	39
Figura 13: Plano geológico.....	40
Figura 14: Mapa de ubicación de las fuentes de agua subterránea.....	41
Figura 15: Mapa de curvas de isoprofundidad de la napa freática	42
Figura 16: Mapa de curvas isohidrohipsas	43
Figura 17: Mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea	44
ANEXO 2: FIGURAS	45
Figura 18: Sección geoelectrica A-A'	45
Figura 19: Perfil litológico del pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834).....	46
Figura 20: Variación del nivel freático en el pozo Morón (IRHS 390).....	47
Figura 21: Variación de nivel freático en el pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)	48
Figura 22: Variación de nivel freático en el pozo Sol de Huampaní P-1 (IRHS 820)	49
Figura 23: Diagrama de potabilidad	50
ANEXO 3: TABLAS.....	51
Tabla 18: Prueba de acuífero – descenso pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834).....	51
Tabla 19: Prueba de acuífero – recuperación pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)	52
Tabla 20: Prueba de acuífero – descenso pozo Sol de Huampaní P1 (IRHS 820)	53
Tabla 21: Prueba de acuífero – recuperación pozo Sol de Huampaní P1 (IRHS 820).....	54
Tabla 22: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-1	55
Tabla 23: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-1	56
Tabla 24: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-2	57
Tabla 25: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-2	58
Tabla 26: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-3	59
Tabla 27: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-3	60
ANEXO 4: PANEL FOTOGRAFICO	61
Figura 24: Sondaje eléctrico vertical – SEV 1	61
Figura 25: Sondaje eléctrico vertical – SEV 2	61

Figura 26: Sondaje eléctrico vertical – SEV 3	62
Figura 27: Sondaje eléctrico vertical – SEV 4	62
Figura 28: Sondaje eléctrico vertical – SEV 5	63
Figura 29: Sondaje eléctrico vertical – SEV 6	63
Figura 30: Medición del nivel dinámico en calicata 1	64
Figura 31: Aforo del caudal de bombeo en la calicata 1	64
Figura 32: Instalación del equipo de bombeo en la calicata 2.....	65
Figura 33: Medición del nivel dinámico calicata 2	65
Figura 34: Instalación del equipo de bombeo en la calicata 3.....	66
Figura 35: Aforo del caudal de bombeo en la calicata 3	66

I. PRESENTACIÓN

En la empresa JULIO JANNEO HARO CORDOVA, dedicada al manejo y explotación de las aguas subterráneas, en donde se ejerció el cargo de asistente de ingeniería, desempeñando funciones, tales como: supervisión de obras de perforación de pozos tubulares profundos y mantenimientos de los mismos, en las que se participó en la programación de obras y valorizaciones de acuerdo al avance alcanzado, elaboración de expedientes técnicos y propuestas técnicas, para diferentes concursos públicos y privados, detallando la programación proyectada para la ejecución de obra, el análisis de costos unitarios y el metrado de las obras, según los términos de referencia; también, se participó en la elaboración de estudios y memorias descriptivas, para la obtención de licencias de derecho de uso de agua subterránea, de acuerdo al “Reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de derechos de uso de agua y autorización de ejecución de obras en fuentes naturales de agua” (R.J. N° 007 – 2015 – ANA, del 08 de enero del 2015).

La elaboración de estudios hidrogeológicos, es uno de los servicios más importantes que brinda la empresa consultora, que se compone de diferentes procedimientos, tales como: caracterización geológica y geomorfológica de la zona, investigación geofísica por medio del método geo eléctrico de sondajes eléctricos verticales, inventario de fuentes de captación de agua subterránea, hidrodinámica subterránea por medio de pruebas de bombeos y evaluación hidrogeoquímica del acuífero de la zona de interés.

En estos trabajos de desempeño profesional, se puso en práctica todos los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria, respecto al área de recursos hídricos y se logró fortalecer lo aprendido en cursos tales como: supervisión de obras, mecánica de fluidos; y, en especial, el curso de aguas subterráneas (hidrogeología), el cual se puso en práctica con mayor profundidad en todo el tiempo de formación profesional, empleando los diferentes temas aprendidos (hidrodinámica, hidrogeoquímica, entre otros temas).

II. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional en el que se encuentra la zona este de la ciudad de Lima y a la disminución del caudal del río Rímac, en épocas de estiaje, el abastecimiento de agua potable se encuentra cada vez más limitado, por lo que es necesario evaluar otros tipos de fuentes de abastecimiento de agua.

Una alternativa es la fuente subterránea, menos conflictiva socialmente, a ser captada mediante galerías filtrantes, obras sencillas que captan agua filtrada en forma natural, funcionando como drenes subterráneos. Estas estructuras recolectan el agua subálvea o subsuperficial a todo lo largo de su recorrido y resultan ventajosas cuando es posible su construcción, constituyéndose en una importante alternativa de suministro de agua.

Por ello, mediante el presente estudio se evaluó la potencial capacidad de infiltración en el cauce del río Rímac, que permita captar agua subterránea por medio de galerías filtrantes; y, su posible explotación en épocas de estiaje, a proyectarse en una zona cuyas características hidrogeológicas, geomorfológicas y estratigráficas sean adecuadas y que no interfieran con actividades asociadas al flujo subsuperficial, para lo cual se desarrolló un estudio hidrogeológico que permitió acreditar la disponibilidad hídrica subterránea, para su captación.

Entre los antecedentes de este trabajo, se tiene el de Cancho y Ccaulla (2011), cuyo objetivo fue mejorar y ampliar el abastecimiento de agua potable del distrito de Huáncano y anexos (Pisco) mediante la utilización de sistemas de galerías filtrantes. También, el de Espinoza y Santaria (2016), cuyo objetivo fue realizar un análisis comparativo entre dos sistemas de captación de agua para el abastecimiento de agua potable: galerías filtrantes y pozos profundos, tomando como criterios: la calidad del agua, procesos constructivos y costos directos.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Determinar la disponibilidad hídrica subterránea para un proyecto de captación de agua subterránea, mediante galerías filtrantes.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el acuífero de la zona de estudio.
- Realizar el inventario de pozos y fuentes de agua, en la zona de interés.
- Establecer las condiciones hidrodinámicas del acuífero.
- Determinar las condiciones hidrogeoquímicas del agua subterránea.
- Estimar la disponibilidad hídrica para el proyecto.

IV. CUERPO DEL TRABAJO

4.1. Generalidades

El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), para mejorar el abastecimiento de agua potable del Sector 139 del distrito Lurigancho – Chosica, sector Huampaní, contrató un servicio de consultoría para la evaluación de las condiciones de infiltración en el cauce del río Rímac, para extraer agua subterránea mediante galerías filtrantes.

Por tal razón, se desarrolló el presente estudio hidrogeológico para determinar la disponibilidad hídrica subterránea en la zona ubicada al noreste de la ciudad de Lima, en la parte media alta del cono deyectivo del valle del río Rímac, en su margen derecha, en donde se delimitó un área de investigación de 40,04 km², aproximadamente.

El área de estudio, políticamente, se ubica en los distritos de Chaclacayo y Lurigancho - Chosica, en la provincia y región Lima, siendo su acceso por la Carretera Central y por la Autopista Ramiro Prialé, en forma paralela al río Rímac.

4.2. Revisión bibliográfica

4.2.1. Antecedentes

Espinoza & Santaria (2016), debido a la problemática en el abastecimiento de agua potable en el distrito de Ica, a causa de la sobreexplotación del acuífero por medio de pozos tubulares, realizaron un análisis comparativo entre el rendimiento de una galería filtrante y tres pozos tubulares profundos, para un escenario donde la demanda poblacional para el 2040 es de 106,05 l/s, que fue calculada en base a una proyección de 30 años; del análisis concluyeron que una galería filtrante de 270,0 m de longitud con un caudal de 116,1 l/s, para un rendimiento de 0,43 l/s por cada metro lineal, resulta más eficiente que la captación de agua subterránea por medio de tres pozos tubulares, cada uno con un caudal de 38,0 l/s, los que al trabajar en simultáneo obtendrían un caudal total de 114,0 l/s.

Cancho & Ccaulla (2011), como una alternativa para la ampliación del abastecimiento de agua potable del distrito de Huancano (provincia Pisco, región Lima), plantearon la construcción e implementación de una galería filtrante de 50,0 m de longitud, que según los resultados obtenidos, tendría un rendimiento de 0,6 l/s por metro lineal, pero por factores de seguridad se asumió un rendimiento de 0,5 l/s/m, obteniendo un caudal de producción de 2,5 l/s, que garantizaría el abastecimiento de la demanda poblacional.

4.2.2. Marco teórico

a. La hidrogeología

La hidrogeología estudia el agua subterránea; cabe mencionar, también, que el agua superficial y subterránea, guardan una estrecha relación, ya que la principal fuente de recarga de los acuíferos proviene de la infiltración de ríos, arroyos y otros cuerpos de agua que se encuentran en la superficie (Fuentes, 1992).

Según Mijailov (1989), la hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento y características físicas, químicas y biológicas; también, estudia las formas de su yacimiento, movimiento, régimen, reservas y las condiciones de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

b. El agua subterránea

El agua subterránea forma parte de la circulación dentro del ciclo hidrológico, ya que su formación radica principalmente en la infiltración y percolación a través de la superficie, luego continua su recorrido de manera lenta entre grandes distancias para luego retornar a la superficie por acción natural o por acción del hombre, según Werner (1996).

Se estima que el volumen total de agua contenido en la hidrosfera es de 1386 millones de km³. De este volumen, 96,5 por ciento se encuentra en los océanos como agua salada y el 3,5 por ciento restante, como agua dulce proveniente del continente. De este último porcentaje el 69 por ciento se encuentra en forma sólida en los glaciares y el 30 por ciento como agua subterránea, quedando solamente el uno por ciento que conforma los ríos y cuerpos de agua (Christophenson, 1997). Lo que representa una fuente potencial de mucha importancia de abastecimiento de agua en el mundo.

c. El acuífero

Es el medio o estrato del suelo que permite la circulación del agua por sus poros o grietas y permite que el hombre pueda aprovecharla en cantidades que satisfagan sus necesidades (Custodio & Llamas, 1976).

Se puede decir que el acuífero es una formación geológica en la cual se encuentra almacenada el fluido y, al mismo tiempo, se permite el movimiento por efectos de la gravedad o presión (Vélez, 1999).

Según Arizabalo y Días (1991) se puede definir como acuífero a todas las formaciones geológicas que presentan una permeabilidad adecuada con la capacidad de transmitir y almacenar agua

Los acuíferos se pueden clasificar, de acuerdo a la presión hidrostática del agua, en:

- Acuíferos libres, no confinados o freáticos: son aquellos en los cuales, la superficie freática, se encuentra sometida a la presión atmosférica, debido al contacto con el aire, en el que se encuentra (Custodio & Llamas, 1976).
- Acuíferos cautivos, confinados o a presión: el fluido que circula en este medio se encuentra sometido a una presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de espacios vacíos o poros de este estrato que lo contiene (Custodio & Llamas, 1976). Según Vélez (1999) son formaciones permeables limitadas por capas impermeables, en este caso se habla de un nivel piezométrico, que es una superficie imaginaria que coincide con el nivel hidrostático del fluido.

d. Características de los acuíferos

Las características más importantes que permiten diferenciar a los acuíferos y, en algunos casos, predecir su respuesta frente a determinadas acciones externas son:

- **Porosidad:** que indica la capacidad de retener agua en una formación geológica, pero no es un buen indicador de la cantidad de agua que puede extraerse de ella. Parte de ella quedará retenida como una película en la superficie de las rocas en pequeñas grietas y aberturas (Masters & Ela, 2008). Según Ordoñez (2011), la porosidad de un material se encuentra representada por un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario del material en mención.

- **Conductividad hidráulica:** es la facilidad que un cuerpo ofrece para ser atravesado por un fluido; el flujo del agua se da bajo el efecto de un gradiente hidráulico o diferencia de potencial hidrostático (Vélez, 1999); esta propiedad dependerá de la cantidad, forma y tamaño de los poros (Duque, 1995). En la Tabla 1 se presenta los valores relativos de coeficientes de permeabilidad (k).

Tabla 1: Valores relativos de coeficientes de permeabilidad (K)

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/s)	Suelo típico
Muy permeable	$>1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	1×10^{-1} a 1×10^{-3}	Arena, arena fina
Poco permeable	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	1×10^{-5} a 1×10^{-7}	Limo y arenisca fina
Impermeable	$<1 \times 10^{-7}$	Arcilla

FUENTE: Terzaghi y Peck (1967)

- **Transmisividad:** concepto introducido por Theis en 1935, se define como el caudal que atraviesa una franja vertical de terreno, de altura igual al espesor del estrato permeable saturado y ancho unitario, bajo una diferencia de presión unitaria a una temperatura constante determinada (Custodio & Llamas, 1976).
- **Coefficiente de almacenamiento:** se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso de la carga hidráulica igual a la unidad (Custodio & Llamas, 1976). En la Tabla 2 se presenta los valores de coeficiente de almacenamiento (S).

e. Métodos geofísicos

Los métodos geofísicos detectan las diferencias o anomalías en las propiedades físicas internas de la corteza terrestre; las medidas con mayor regularidad son la densidad, el magnetismo, la elasticidad y la resistividad eléctrica; gracias a la experiencia e investigación se ha podido diferenciar estas propiedades para ser interpretadas en términos de estructura geológica, tipo de roca y porosidad, contenido y calidad del agua (Todd, 1959).

Cada una de las metodologías geofísicas corresponden al estudio de una determinada propiedad de la roca, existiendo así, numerosas posibilidades en la manera de efectuar las

mediciones sobre el terreno, de tal manera que se puedan adaptar a la escala y al objetivo requerido por cada trabajo, desde reconocimientos regionales a caracterizaciones locales y superficiales. Se puede decir, entonces, que todos los métodos geofísicos de superficie pueden ser utilizados en la resolución de problemas geológicos relacionados con la hidrogeología, siendo fundamental, tener en cuenta, tanto los límites de cada método como los derivados de su forma de utilización (Plata, 2000).

Tabla 2: Valores de coeficiente de almacenamiento (S)

Tipo de material permeable	Forma del funcionamiento del acuífero	Valores medio de S
Kárstico: caliza y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Caliza y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
Poroso intergranular: Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos: Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

FUENTE: Villanueva e Iglesias (1984)

f. Resistividad eléctrica de los suelos

La resistividad eléctrica de un suelo es la capacidad de este de conducir electricidad cuando se le aplica un potencial eléctrico. Se define como la resistencia, en ohmios, entre las dos caras de una unidad cubica del material. Si un material de resistencia (R), tiene sección de un área (A) y una longitud (L) entonces su resistividad se expresa como (Todd, 1959):

$$\rho = \frac{R * A}{L}$$

Donde:

P: Resistividad (Ohmio-metro);

A: Área (m²); y,

L: Longitud (m).

La resistividad de las formaciones rocosas es muy variada y depende del material, densidad, porosidad (tamaño y forma), contenido de agua y la calidad de esta. En la Tabla 3 se presenta un resumen de valores de resistividad de diferentes materiales.

Tabla 3: Resistividades de algunos materiales

Descripción	Ohmios-m
Aguas subterráneas en granito y roca hipogénica	20 – 100
Aguas subterráneas en caliza y acarreos	20 – 50
Aguas salobres	39722
Aguas potables superficiales	20 – 300
Agua de mas	< 0.2
Agua destilada	> 500
Arcillas y margas	10 – 100
Calizas y areniscas	50 – 3000
Pizarras	50 – 3000
Rocas hipogénicas y metamórficas	100 – 10000
Gravas	100 – 10000
Arenas	130 – 1000
Limos	30 - 500

FUENTE: Custodio y Llamas (1976)

g. Dispositivos lineales

Dentro de los ensayos de prospección geoelectrica por el método de sondeos eléctricos verticales (SEV), la resistividad real es calculada a partir de la resistividad aparente, que se obtiene por medio de la medición de corrientes y diferencias de potencial entre pares de electrodos colocados en la superficie del terreno. El procedimiento consiste en la medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos M y N, resultante de una aplicación de corriente a través de otros dos electrodos A y B, situados a ambos lados, pero alineados con los electrodos potenciales (Figura 1). Si las resistividades no son uniformes en zona subsuperficial entre los electrodos, se formará una red ortogonal de arcos circulares con las líneas de corriente y equipotenciales (Todd,1959).

a. Calidad de agua

Hidrogeológicamente, la calidad del agua subterránea es tan importante como la cantidad explotable. La disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente de la calidad físico-química, biológica y radiológica. La calidad del agua es definida por su composición y por el conocimiento de los efectos que puede causar sus constituyentes. El conjunto de todos los elementos que la componen permite establecer patrones de calidad de agua, clasificándola así de acuerdo con los límites establecidos y los diferentes usos para la que es apta (Collazo y Montaña, 2012).

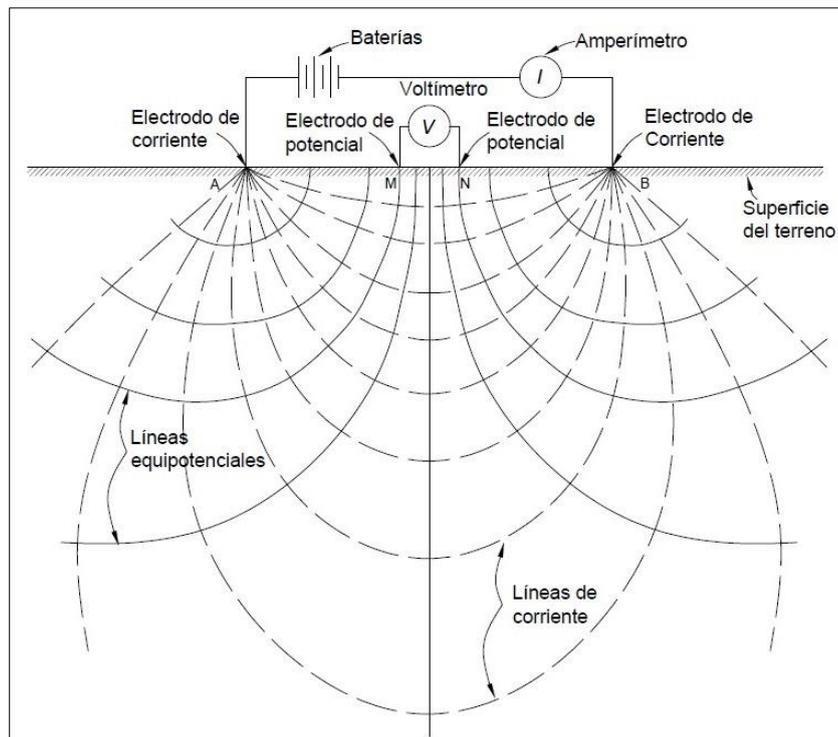


Figura 1: Dispositivo tetraelectrodico para la medida de la resistividad del suelo

FUENTE: Todd (1959)

4.3. Metodología del trabajo ejecutado

4.3.1. Ubicación y acceso

La zona donde se realizó el estudio hidrogeológico para determinar la acreditación de disponibilidad hídrica para galerías filtrantes, se encuentra ubicado al noreste de la ciudad de Lima, en la parte media alta del cono deyectivo del valle del río Rímac, en su margen derecha, en donde se delimitó un área de investigación de 40,04 Km², aproximadamente.

Políticamente, ocupa parte de los distritos de Chaclacayo y Lurigancho - Chosica, en la

provincia y departamento de Lima, siendo su acceso por la Carretera Central y por la Autopista Ramiro Priale, pasando la zona residencial El Cuadro, en forma paralela al Rio Rímac. Se encuentra delimitada, geográficamente, entre las coordenadas UTM: 8 672 549 - 8 677 834 N y 301 465 - 309 465 E, tal como se aprecia en la Figura 12 (ANEXO 1).

4.3.2. Características geológicas y geomorfológicas

a. Marco geomorfológico

El área delimitada, forma parte de la Planicie Aluvial, constituida por materiales acarreados por el río Rímac, que ha depositado sedimentos, formando terrazas; esta planicie está interrumpida por afloramientos rocosos que se presentan en forma de cadenas de cerros, que, en sus laderas y quebradas, han depositado material detrítico tipo sedimentos coluviales.

b. Marco geológico

En la pequeña área de estudio solo se han distinguido dos unidades, que se encuentran ligadas en forma estrecha con la topografía del terreno, afloramientos rocosos y depósitos aluviales, tal como puede observarse en la Figura 13 (ANEXO 1).

a. Afloramientos Rocosos

a) Tonalita Granodiorita (Ks-gbdi-sr)

Son los cuerpos más antiguos del Batolito; se trata de masas plutónicas de color oscuro con variaciones de Anfíbolos y Piroxenos, son de textura de grano medio a grueso con brillo vítreo conteniendo las plagioclasas y ferromagnesianos, donde destacan las hornblendas y biotitas que se han identificado en la quebrada Nieve Nieve, a la altura del cerro California, hacia el oeste de la zona de estudio.

Todas estas rocas, si bien es cierto que, en superficie se encuentran bastante alteradas, en profundidad se hacen macizas, mostrándose impermeables al flujo de las aguas subterráneas, constituyendo el basamento rocoso que limita al acuífero.

b) Tonalita Diorita (Ks-tdi-sr)

Se trata de rocas de color gris oscuro, textura holocristalina, fanerítica de grano medio a grueso, en las que destacan las plagioclasas blancas dentro de la masa oscura, con gradaciones por disminución de cuarzo y aumento de ferromagnesianos, especialmente clinopiroxenos pasando de tonalitas a dioritas. Se presentan, mayormente, con moderado

fracturamiento y meteorización, muchas veces con disyunción esferoidal que forman suelo de arena gruesa; estas rocas, en su prolongación, forman el substrato de la zona; se encuentran aflorando en la parte superior de los cerros Algarrobo, Huampaní y Chacacayo, a ambos lados del río Rímac.

b. Depósitos Aluviales

Se encuentran distribuidos a lo largo del curso del río Rímac y están representados por:

- **Depósitos Aluviales Recientes (Qr-al)**

Estos depósitos se encuentran restringidos a franjas estrechas en ambos márgenes del río Rímac, los más jóvenes son materiales que forman su lecho actual y están constituidos, principalmente, por cantos y gravas sub redondeadas, con buena selección dentro de su matriz arenosa; son considerados, también, como depósitos fluvio-aluviales que no ofrecen condiciones favorables para la agricultura por ser muy pedregosos; la profundidad de estos sedimentos, se conocen por la perforación de pozos hasta los 100 m de profundidad.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estos materiales son idóneos para el almacenamiento y flujo de las aguas subterráneas en virtud de su mayor espesor, porosidad y permeabilidad.

- **Depósitos Aluviales Pleistocénicos (Qp-al)**

Se encuentran formando diferentes niveles de terrazas y conos de deyección; se localizan en el fondo de las quebradas, valles, vertientes y deltas; están constituidos por conglomerados que contienen cantos de diferentes tipos y rocas, especialmente intrusivas y volcánicas, gravas angulosas o redondeadas, distribuidas en estratos de arenas, con diferente granulometría, y en menor proporción limos y arcillas; todo este material está intercalado, formando capas de diferente espesor; su compactación es de suelta a compacta, húmeda a seca. Sobre la superficie de estos depósitos aluviales, se encuentran localizadas áreas de cultivo y centros poblados.

4.3.3. Prospección geofísica

Para identificar las características geoelectricas de las estructuras de los horizontes que forman el acuífero, se realizó prospección geofísica, empleando el método de resistividad eléctrica, por sondeos eléctricos verticales (SEV), utilizando básicamente un resistivímetro electrónico con accesorios para inyección y recepción de corriente continua; se ejecutaron seis sondeos eléctricos verticales (SEV 1 a SEV 6, ver las Figuras 24 a 29 del ANEXO 4),

ubicados aguas abajo del puente Los Girasoles, cuya localización se presenta en la Tabla 4.

a. Análisis de resultados

En cada estación, se estableció la distribución de los diferentes horizontes, identificando su resistividad verdadera y espesor; y, con ello, la presencia y calidad del acuífero.

Tabla 4: Ubicación de los sondajes eléctricos verticales

SEV	Sector	UTM: WGS 84 Zona 18	
		Este	Norte
1	Puente Girasoles – aguas abajo	305 557	8 675 322
2	Puente Girasoles – aguas abajo	305 431	8 675 336
3	Puente Girasoles – aguas abajo	305 176	8 675 321
4	Puente Girasoles – aguas abajo	305 047	8 675 281
5	Puente Girasoles – aguas abajo	304 901	8 675 273
6	Puente Girasoles – aguas abajo	304 765	8 675 241

La información cuantitativa procesada de la interpretación de cada SEV, ha definido los horizontes contenidos en las inflexiones de las curvas de campo, valores que se han reajustado a través del software especializado (Tabla 5).

Tabla 5: Interpretación de los sondajes eléctricos verticales

SEV	f_1 h_1	f_2 h_2	f_3 h_3	f_4 h_4	f_5 h_5	f_6 h_6	H
1	1180,0	518,0	304,0	179,0			60,73
	0,75	3,28	56,70	-----			
2	65,00	2759,0	69,00	524,0	164,00		62,23
	0,81	1,21	5,15	55,06	-----		
3	628,0	364,0	112,0	822,0	145,00		51,47
	1,34	6,15	7,38	36,60	-----		
4	371,0	266,0	415,0	224,0	133,00	313,00	100,60
	0,90	1,07	7,57	26,31	64,75	----	
5	385,00	1652	1575	218,00	102,00		88,89
	0,75	6,51	4,39	77,24	-----		
6	37,00	6307	1636	221,00	40,00	7654	73,56
	1,53	1,30	4,30	25,03	41,40	-----	

- **Sección geoelectrica A-A'**

En la sección de la Figura 18 (ANEXO 2), que corresponde a los SEV: 6, 5, 4, 3, 2 y 1, se ha identificado tres horizontes geoelectricos, con diferentes características:

Primer horizonte H1: corresponde a la capa superficial, presentando valores de resistividad verdadera entre 37 y 1652 ohm-m; en este horizonte se encuentra el acuífero, a partir del nivel freático, cuyo espesor varía entre 0,75 y 7,38 m; litológicamente, corresponde a sedimentos de mediana a muy alta permeabilidad.

Segundo horizonte H2: presenta valores de resistividad verdadera entre 40 y 822 ohm-m, con espesores que varían de 25,03 a 77,24 m; corresponde a sedimentos de mediana a alta permeabilidad, denominado acuífero saturado.

Tercer horizonte H3: presenta valores de resistividad verdadera entre 102 a 524 ohm-m; de los resultados se obtuvo un espesor de 64,75 m, el cual corresponde solo al SEV 4, debido a que no se registró el espesor de este horizonte en el resto de los sondajes; los valores de resistividad corresponden a sedimentos de alta permeabilidad, denominado acuífero saturado.

4.3.4. Inventario de pozos y fuentes de agua

Se actualizó la información de los pozos existentes dentro de la zona evaluada, con la finalidad de conocer las características constructivas y la explotación que tiene el acuífero.

Para la ubicación de los pozos se usó la carta catastral 1/20 000, editada por el Proyecto Especial de Titulación de Tierras (PETT-COFOPRI) y para su representación se ha utilizó la simbología normada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura, que se presenta en la Figura 14 (ANEXO 1).

En la zona evaluada, se identificó 14 pozos, de los cuales 11 son tubulares y tres a tajo abierto, tal como se muestra en la Tabla 6. En general, los pozos tienen profundidades que varían entre 9,00 m (pozo "E" Edegel) y 100,00 m (pozos Nueva Alianza P-2, Miguel Grau PP-2 y Los Portales), tal como se muestra en la Tabla 7.

Todos los pozos están equipados; los pozos "CH" y "CH-1", de la Municipalidad de Chaclacayo, se encuentran en funcionamiento, pero no se cuenta con información de su equipamiento. El resumen de sus características de los equipos de bombeo, se presenta en la Tabla 8. Del total de pozos, 13 son para uso doméstico y dos, para riego, tal como se muestra

en la Tabla 9.

Los caudales de explotación de los pozos varían entre 3,00 l/s (pozo Sierra Alta ACEC), y 45 l/s (pozo Miguel Grau PP-2), tal como puede observarse en la Tabla 10. En la zona se explota, el a través de 11 pozos, un volumen anual de agua subterránea de 4 009 287 m³ (127,13 l/s), que es utilizado para cubrir casi la totalidad de la demanda de agua de uso doméstico, de acuerdo a lo encontrado en el inventario realizado (apoyado por la información del DEASU SEDAPAL).

Tabla 6: Tipos de pozos existentes

IRHS	Propietario	Coordenadas		Tipo
		Este (X)	Norte (Y)	
UTM (WGS) 84				
305	Girasoles	306171	8675708	Tubular
390	Morón	306486	86755364	Tubular
812	Nueva Alianza P-2	306035	8675348	Tubular
820	Sol de Huampaní P-1	304986	8675422	Tubular
834	Miguel Grau PP-2	306302	8675470	Tubular
842	El Cuadro	304311	8674732	Tubular
PP1	A.H. Huampaní	307944	8675995	Tubular
CH	Municipalidad Chaclacayo	308051	8675750	Tubular
CH-1	Municipalidad Chaclacayo	310104	8676427	Tubular
A	Urbanización Sol de Huampaní	304568	8675788	Tubular
B	Sierra Alta - Acec	308484	8675401	Tajo abierto
C	Seminario Santo Toribio	308994	8676594	Tajo abierto
E	Edegel	306812	86757155	Tajo abierto
P-P	Los Portales	303051	8673012	Tubular

FUENTE: DEASU SEDAPAL

4.1.1. El acuífero

Hasta donde se conoce, el acuífero dentro del área evaluada presenta hasta 100 m de profundidad (Pozo Miguel Grau PP-2); los sedimentos atravesados, por su origen y formación, son del tipo grueso permeable (cantos rodados, grava y arena) con intercalaciones de sedimentos finos (arcilla), dispuestos en forma lenticular de estratos que pertenecen a un típico acuífero libre. En la Figura 19 (ANEXO 2), se ha graficado el perfil litológico del

pozo Miguel Grau PP-2.

Tabla 7: Profundidad de pozos existentes

IRHS	Propietario	Coordenadas UTM (WGS) 84		Cota terreno (m.s.n.m.)	Prof. (m)
		Este (X)	Norte (Y)		
305	Girasoles	306171	8675708	642.00	49.00
390	Morón	306486	86755364	635.00	25.00
812	Nueva Alianza P-2	306035	8675348	626.00	100.00
820	Sol de Huampaní P-1	304986	8675422	614.00	50.55
834	Miguel Grau PP-2	306302	8675470	632.00	100.00
842	El Cuadro	304311	8674732	595.00	29.00
PP1	A.H. Huampaní	307944	8675995	671.00	60.00
CH	Municipalidad Chaclacayo	308051	8675750	669.00	50.00
CH-1	Municipalidad Chaclacayo	310104	8676427	709.00	
A	Urbanización Sol de Huampaní	304568	8675788	632.00	50.00
B	Sierra Alta - Acec	308484	8675401	695.00	29.60
C	Seminario Santo Toribio	308994	8676594	719.00	27.50
E	Edegel	306812	86757155	644.00	9.00
P-P	Los Portales	303051	8673012	580.00	100.00

FUENTE: DEASU SEDAPAL

4.1.1. La napa

El agua subterránea forma parte del acuífero del valle del río Rímac, proveniente del flujo subterráneo de aguas arriba, de la infiltración del lecho del río y de los canales de conducción, de la zona evaluada.

b. Profundidad de la napa freática

La profundidad del nivel del agua subterránea con respecto a la superficie del terreno se encuentra entre 3,15 m (pozo El Cuadro), haciéndose más profundo hacia el suroeste, llegando a los 27,50 m (pozo Urbanización Sol de Huampaní).

La variación de los niveles de agua subterránea se puede visualizar en la Figura 15 (ANEXO 1), mapa en el que se ha trazado las curvas de isoprofundidad de la napa freática, que varían

entre 3,00 y 27,50 m de profundidad.

Tabla 8: Equipamiento de los pozos existentes

IRHS	Propietario	Equipo de bombeo				
		Motor			Bomba	
		Marca	Tipo	HP	Marca	Tipo
305	Girasoles	IEM	Eléctrico	60	GOULD-8	Sumergible
390	Morón	D	Eléctrico	60	BJ-8	TEV
812	Nueva Alianza P-2	US	Eléctrico	40	BJ-6	TEV
820	Sol de Huampaní P-1	SAER	Eléctrico	80	HID-8	Sumergible
834	Miguel Grau PP-2	US	Eléctrico	75	GOULD-6	TEV
842	El Cuadro	SAER	Eléctrico	125	HID-4	Sumergible
PP1	A.H. Huampaní	US MOTOR	Eléctrico	50	Hidrostral	TEV
CH	Municipalidad Chaclacayo		Eléctrico			TEV
CH-1	Municipalidad Chaclacayo		Eléctrico			TEV
A	Urbanización Sol de Huampaní	US MOTOR	Eléctrico	20	Hidrostral	TEV
B	Sierra Alta - Acec	SUMOTO	Eléctrico	2	Hidrostral	Eléctrico
C	Seminario Santo Toribio	SAER	Eléctrico	12.5	Pedrollo	Eléctrico
E	Edegel	FAIRBAN KS MORSE	Eléctrico	5	FAIRBAN KS MORSE	Succión
P-P	Los Portales		Eléctrico			

FUENTE: DEASU SEDAPAL

a. Morfología de la napa freática

Para conocer la forma de la superficie piezométrica y determinar la dinámica del agua subterránea dentro del acuífero, se ha elaborado el mapa de curvas de hidroisohipsas, con los datos tomados durante el inventario (Figura 16, ANEXO 1), donde se observa que el nivel del agua subterránea se encuentra entre 590 a 700 m.s.n.m. y que la dirección del escurrimiento subterráneo es de noreste a suroeste, en forma paralela al sentido del flujo en el río Rímac, con un gradiente hidráulico que ingresa con pendiente de 1,78 por ciento, que al encajonarse, sube a 2,1 por ciento, y a la altura de Huampaní, baja a 0,8 por ciento, debido

a que el área de escurrimiento es mucho más ancho.

Tabla 9: Estado y uso de los pozos existentes

IRHS	Propietario	Explotación	
		Estado del pozo	Uso
305	Girasoles	Utilizado	Doméstico
390	Morón	Utilizado	Doméstico
812	Nueva Alianza P-2	Utilizado	Doméstico
820	Sol de Huampaní P-1	Utilizado	Doméstico
834	Miguel Grau PP-2	Utilizado	Doméstico
842	El Cuadro	Utilizado	Doméstico
PP1	A.H. Huampaní	Utilizado	Doméstico
CH	Municipalidad Chaclacayo	Utilizado	Doméstico
CH-1	Municipalidad Chaclacayo	Utilizado	Doméstico
A	Urbanización Sol de Huampaní	Utilizado	Doméstico
B	Sierra Alta - Acec	Utilizado	Riego
C	Seminario Santo Toribio	Utilizado	Riego - doméstico
E	Edegel	Utilizado	Doméstico
P-P	Los Portales	Utilizado	Doméstico

FUENTE: DEASU SEDAPAL

c. Variación del nivel freático

Dentro de la zona evaluada se tiene tres pozos (Morón, Sol de Huampaní P-1 y Miguel Grau PP-2), monitoreados por el DEASU SEDAPAL, desde su perforación hasta junio del 2019 (Tabla 11).

En el pozo Morón, entre agosto del 2006 y mayo del 2019, se estableció una variación de 2,15 m (de 7,70 a 9,85 m de profundidad). En cambio, en el pozo Sol de Huampaní P-1, entre octubre del 2008 y mayo del 2019, el nivel freático subió 0,15 m (de 9,75 a 9,60 m). En el pozo Miguel Grau PP-2, entre diciembre del 2004 y mayo del 2019, el nivel freático subió 1,10 m (de 9,50 a 10,60 m).

Se puede establecer, entonces, que la explotación del acuífero se mantiene en equilibrio hidráulico, que responde a que el río Rímac en esta zona tiene un caudal mínimo promedio estimado de 17,31 m³/s (Figuras 20 a 22, ANEXO 2).

Tabla 10: Régimen de explotación de los pozos existentes

IRHS	Propietario	Explotación				
		Caudal (l/s)	Régimen (h/d)	Régimen (d/s)	Régimen (m/a)	Volumen (m ³ /año)
305	Girasoles	32	20	7	12	840,960
390	Morón	28	23	7	12	846,216
812	Nueva Alianza P-2	29	24	7	12	871,949
820	Sol de Huampaní P-1	13	18	7	12	307,476
834	Miguel Grau PP-2	45	3	7	12	177,390
842	El Cuadro	23	12	7	12	362,664
PP1	A.H. Huampaní	15	15	7	12	295,650
CH	Municipalidad Chaclacayo	15				
CH-1	Municipalidad Chaclacayo					
A	Urbanización Sol de Huampaní	15	4	7	12	78,840
B	Sierra Alta - Acec	3	5	4	12	10,368
C	Seminario Santo Toribio	10	11	7	12	139,284
E	Edegel	5	12	7	12	78,840
P-P	Los Portales					
TOTAL						4 009 287

FUENTE: DEASU SEDAPAL

4.1.2. Hidrodinámica subterránea

Para conocer las características hidrogeológicas del acuífero de la zona de interés, se ha utilizado la información de pruebas de acuífero realizadas en el pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834) en el 2014 dentro del Estudio hidrogeológico para la acreditación de la disponibilidad hídrica subterránea para pozos tubulares del desarrollo urbanístico “Ciudad del Talento e Innovación Andorra” de Chaclacayo, cuya información de campo se presenta en las Tablas 18 y 19 (ANEXO 3); la interpretación se realizó con el método de Theis-Jacob, tal como se puede apreciar en las Figuras 2 y 3.

En la prueba de descenso se obtuvo: transmisividad (T_d) = 0,018 m²/s (1,555 m²/d) y conductividad hidráulica (K_d) = 0,0002 m/s (17,28 m/d); y, en la de recuperación: transmisividad (T_r) = 0,036 m²/s (3,110 m²/d) y conductividad hidráulica (K_r) = 0,0004 m/s (34,56 m/d).

Tabla 11: Variación del nivel freático

390 SEDAPAL Morón			834 SEDAPAL Miguel Grau PP - 2			820 SEDAPAL SOL DE HUAMPANI P1					
Mes	Año	NE (m)	Mes	Año	NE (m)	Mes	Año	NE (m)	Mes	Año	NE (m)
Septiembre	2006	7,70 m.	Diciembre	2004	9,50 m.	Octubre	2005	9,75	Octubre	2012	9,4
Octubre	2007	7,73 m.	Diciembre	2006	11,70 m.	Febrero	2006	8,8	Febrero	2013	8,85
Marzo	2008	7,75 m.	Octubre	2007	9,60 m.	Julio	2006	9,55	Mayo	2013	9
Mayo	2009	7,40 m.	Marzo	2008	8,30 m.	Noviembre	2006	9,4	Julio	2013	9,2
Febrero	2010	7,15 m.	Noviembre	2009	9,50 m.	Marzo	2007	8,56	Diciembre	2013	8,95
Enero	2011	7,60 m.	Marzo	2010	9,40 m.	Julio	2007	9,75	Abril	2014	9,4
Marzo	2012	7,70 m.	Febrero	2011	9,80 m.	Enero	2008	9,4	Agosto	2014	10
Enero	2013	8,75 m.	Febrero	2012	8,80 m.	Mayo	2008	9,2	Diciembre	2014	11,2
Julio	2013	9,70 m.	Enero	2013	9,10 m.	Septiembre	2008	9,9	Marzo	2015	9,1
Julio	2014	9,30 m.	Julio	2013	10,30 m.	Enero	2009	9,9	Junio	2015	10
Agosto	2015	11,60 m.	Mayo	2014	8,65 m.	Abril	2009	8,3	Septiembre	2015	10,8
Marzo	2016	10,40 m.	Agosto	2015	11,85 m.	Agosto	2009	9,25	Enero	2016	10,05
Enero	2017	8,30 m.	Noviembre	2016	9,50 m.	Diciembre	2009	9,3	Junio	2016	10,4
Enero	2018	10,00 m.	Febrero	2017	9,30 m.	Abril	2010	8,6	Septiembre	2016	10,35
Mayo	2019	9,85 m.	Enero	2018	10,50 m.	Agosto	2010	9,55	Febrero	2017	9,1
			Mayo	2019	10,60 m.	Enero	2011	9,2	Junio	2017	8,8
						Marzo	2011	9	Septiembre	2017	10,3
						Junio	2011	9,2	Diciembre	2017	9,74
						Septiembre	2011	9,2	Marzo	2018	8,7
						Enero	2012	9,15	Junio	2018	8,7
						Abril	2012	9,1	Octubre	2018	9,7
						Julio	2012	9,25	Enero	2019	9,2
									Mayo	2019	9,6

FUENTE: DEASU SEDAPAL

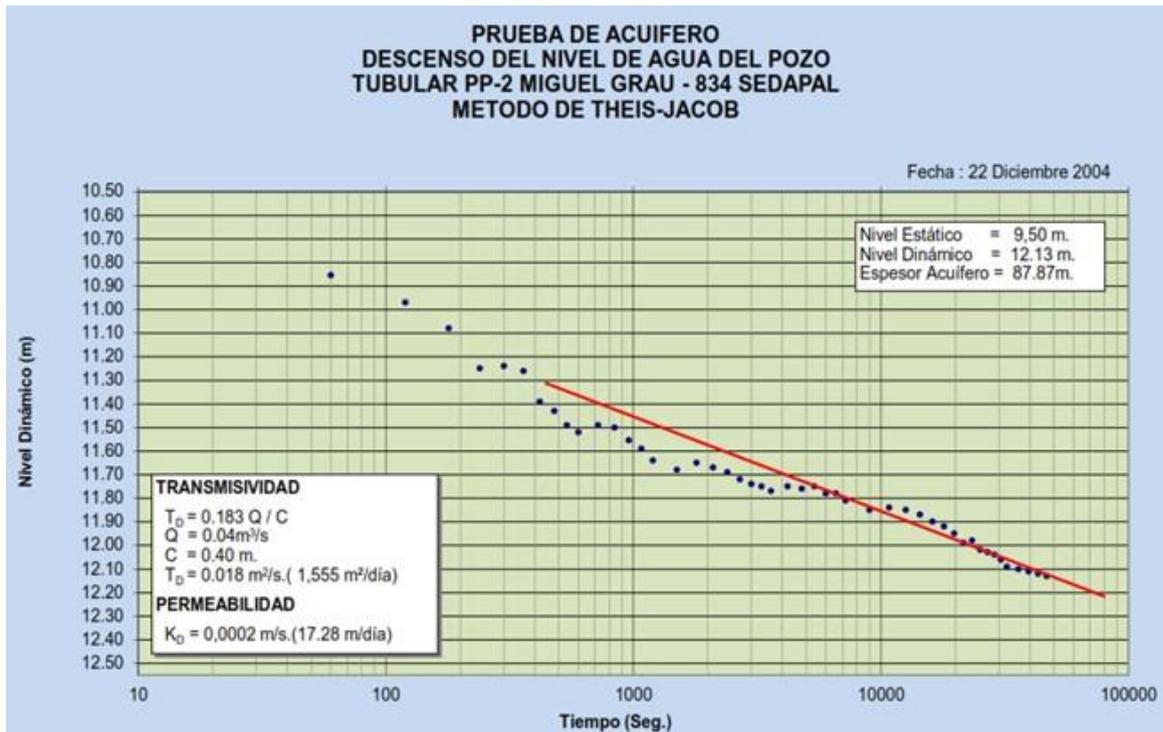


Figura 2: Prueba de acuífero del pozo IRHS 834 – descenso

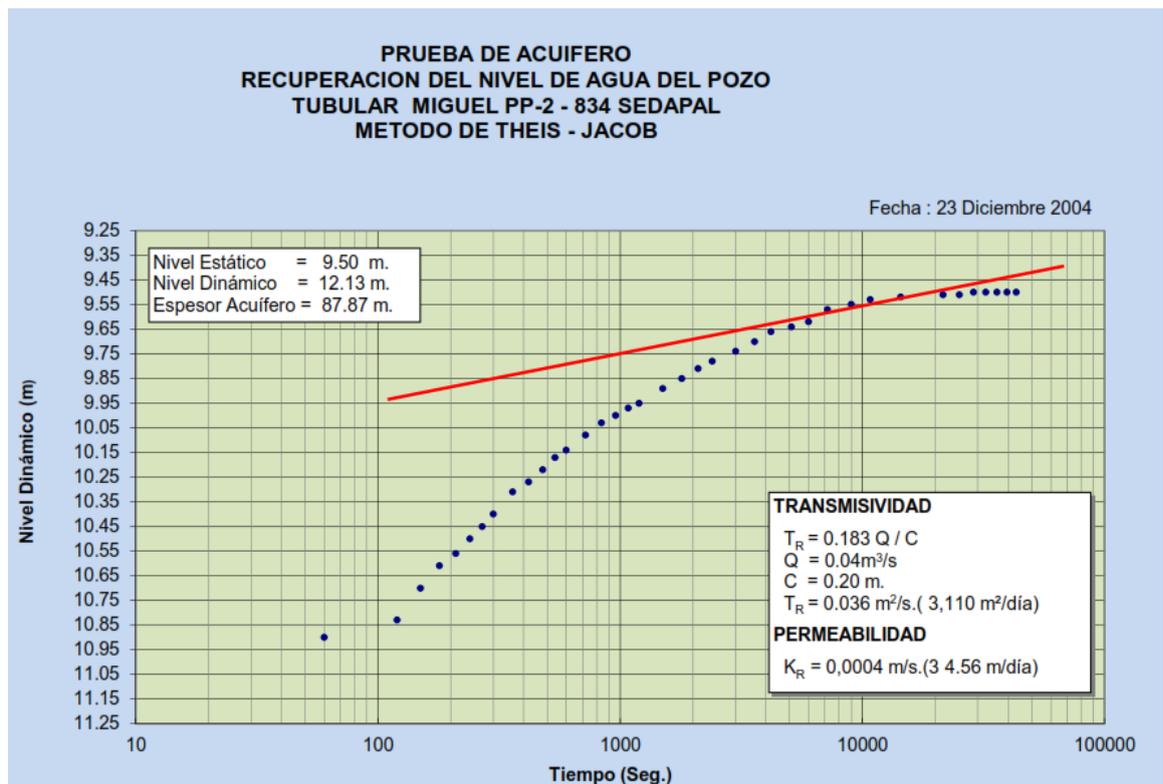


Figura 3: Prueba de acuífero del pozo IRHS 834 - recuperación

En marzo del 2010, se ejecutó la prueba de acuífero en el pozo Sol de Huampaní P1 (IRHS 820), para el “Estudio hidrogeológico para la ubicación de un pozo tubular para abastecer de agua a la granja hogar tutelar Pedro y Angélica de Osma Gildemeister – Lurigancho

Chosica”, cuya información se presenta en las Tablas 20 y 21 (ANEXO 3) y en las Figura 4 y 5.

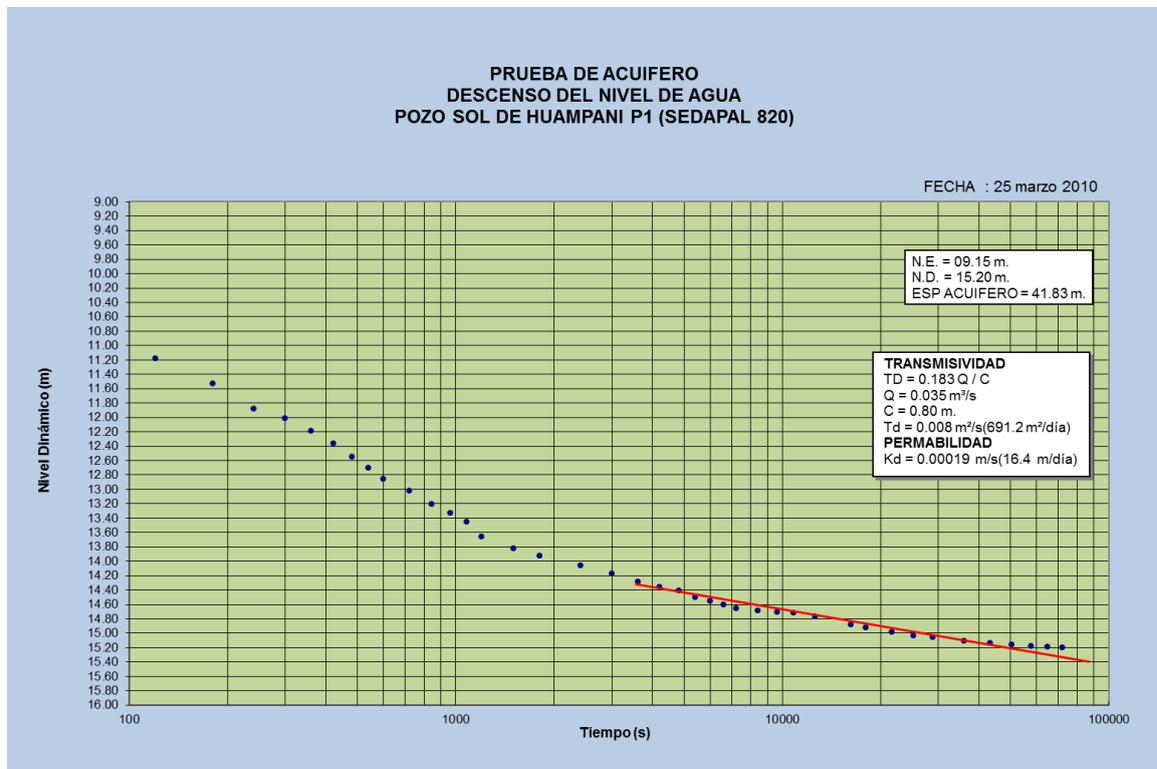


Figura 4: Prueba de acuífero del pozo IRHS 820 - descenso

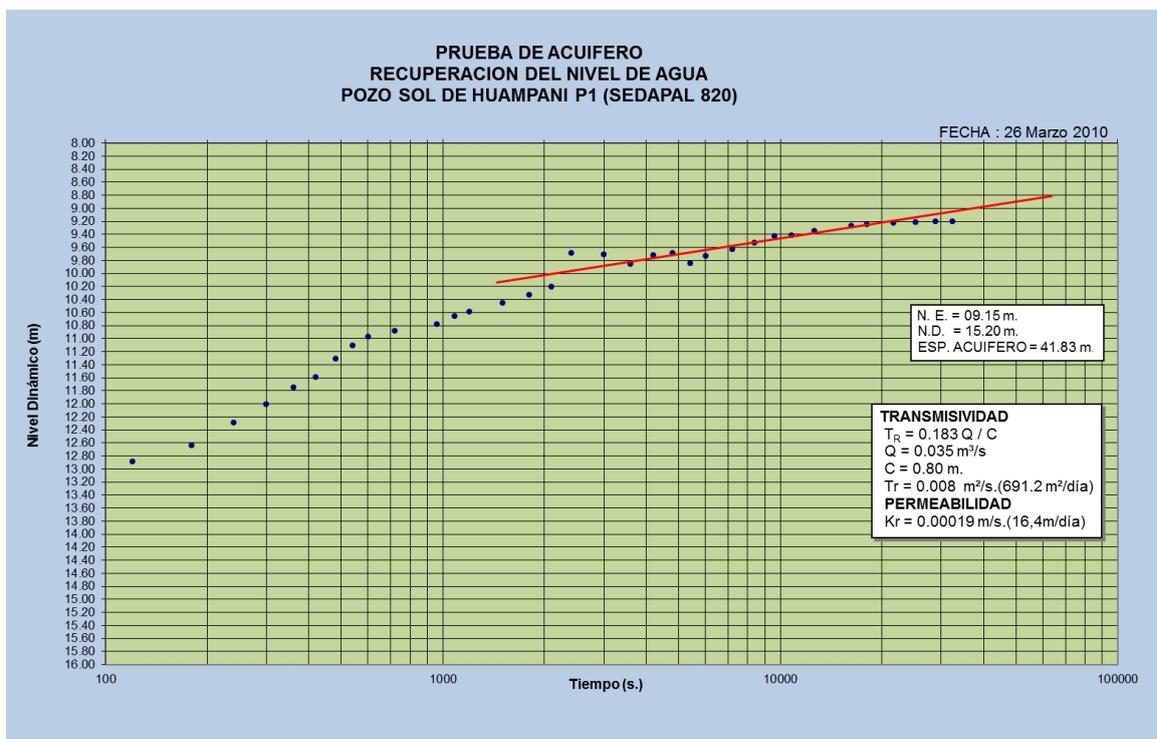


Figura 5: Prueba de acuífero del pozo IRHS 820 - recuperación

En la prueba de descenso se obtuvo: transmisividad (T_d) = 0,008 m²/s (691,2 m²/d) y conductividad hidráulica (K_d) = 0,00019 m/s (16,4 m/d); y, en la de recuperación: transmisividad (T_r) = 0,008 m²/s (691,2 m²/d) y conductividad hidráulica (K_r) = 0,00019 m/s (16,4 m/d).

Los valores estimados en las pruebas realizadas, pueden considerarse como representativos de acuíferos con buenas características hidráulicas, con un Coeficiente de Permeabilidad (K) promedio de 0,00026 m/s (22,46 m/d).

También, se realizaron pruebas de bombeo en tres calicatas, tanto en su etapa de descenso como en recuperación del nivel del agua (Figuras 30 a 35, ANEXO 4), cuya información de campo se presenta en las Tablas 22 a 27 (ANEXO 3); estas pruebas se interpretaron utilizando el método de Theis-Jacob, tal como se puede apreciar en las Figuras 6 a 11. La ubicación de las calicatas se encuentra en la Tabla 12.

En la prueba de descenso de la Calicata 1, se obtuvo: transmisividad (T_d) = 0,0018 m²/s (155,5 m²/d) y conductividad hidráulica (K_d) = 0,00069 m/s (59,66 m/d); y en la de recuperación: transmisividad (T_r) = 0,0029 m²/s (250,56 m²/d) y conductividad hidráulica (K_r) = 0,0011 m/s (95,04 m/d).

Tabla 12: Ubicación de las calicatas

Estaciones de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
CA-1	Calicata 1	305093	8675261
CA-2	Calicata 2	304957	8675267
CA-3	Calicata 3	305562	8675342

En la prueba de descenso de la Calicata 2, se obtuvo: transmisividad (T_d) = 0,0026 m²/s (224,64 m²/d) y conductividad hidráulica (K_d) = 0,0011 m/s (95,04 m/d); y, en la de recuperación: transmisividad (T_r) = 0,0024 m²/s (207,36 m²/d) y conductividad hidráulica (K_r) = 0,0013 m/s (112,32 m/d).

En la prueba de descenso de la Calicata 3, se obtuvo: transmisividad (T_d) = 0,0024 m²/s (155,52 m²/d) y conductividad hidráulica (K_d) = 0,00087 m/s (75,16 m/d); y, en la de recuperación: transmisividad (T_r) = 0,0034 m²/s (293,76 m²/d) y conductividad hidráulica (K_r) = 0,0012 m/s (103,68 m/d).

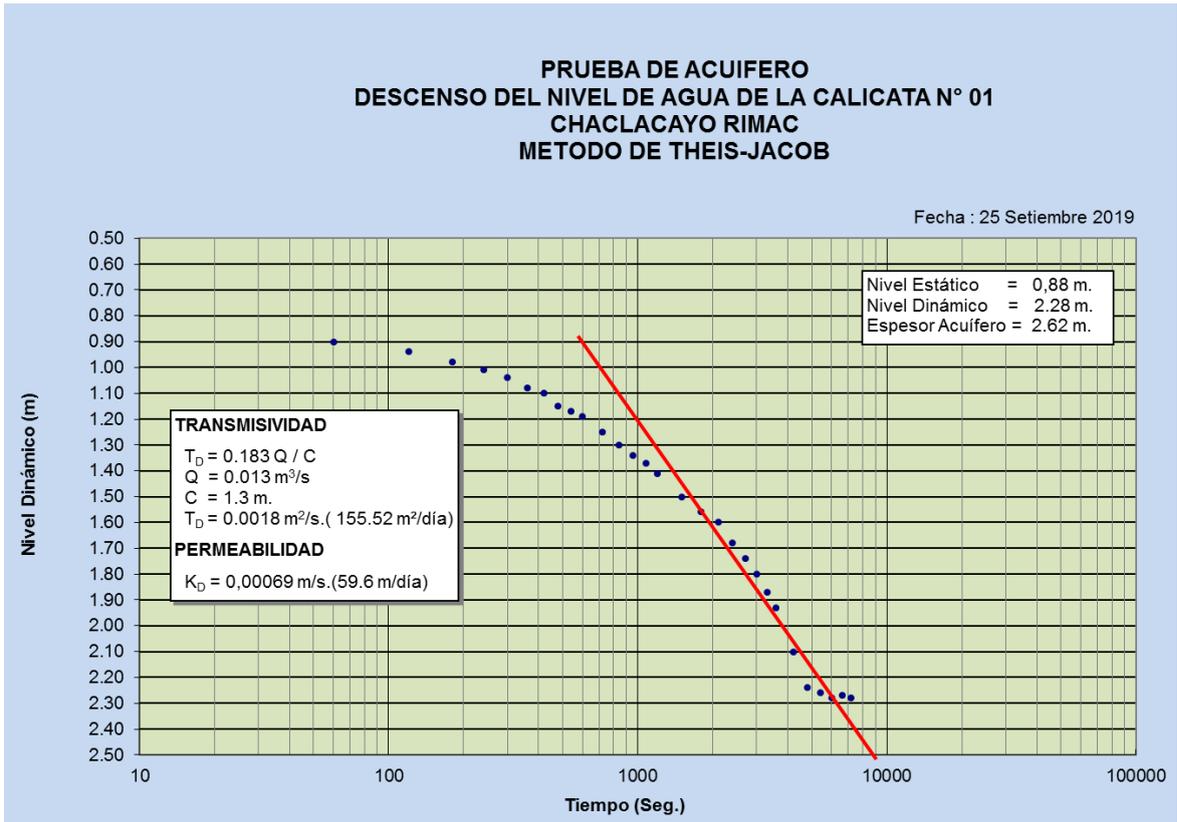


Figura 6: Prueba de acuífero calicata 1 – descenso

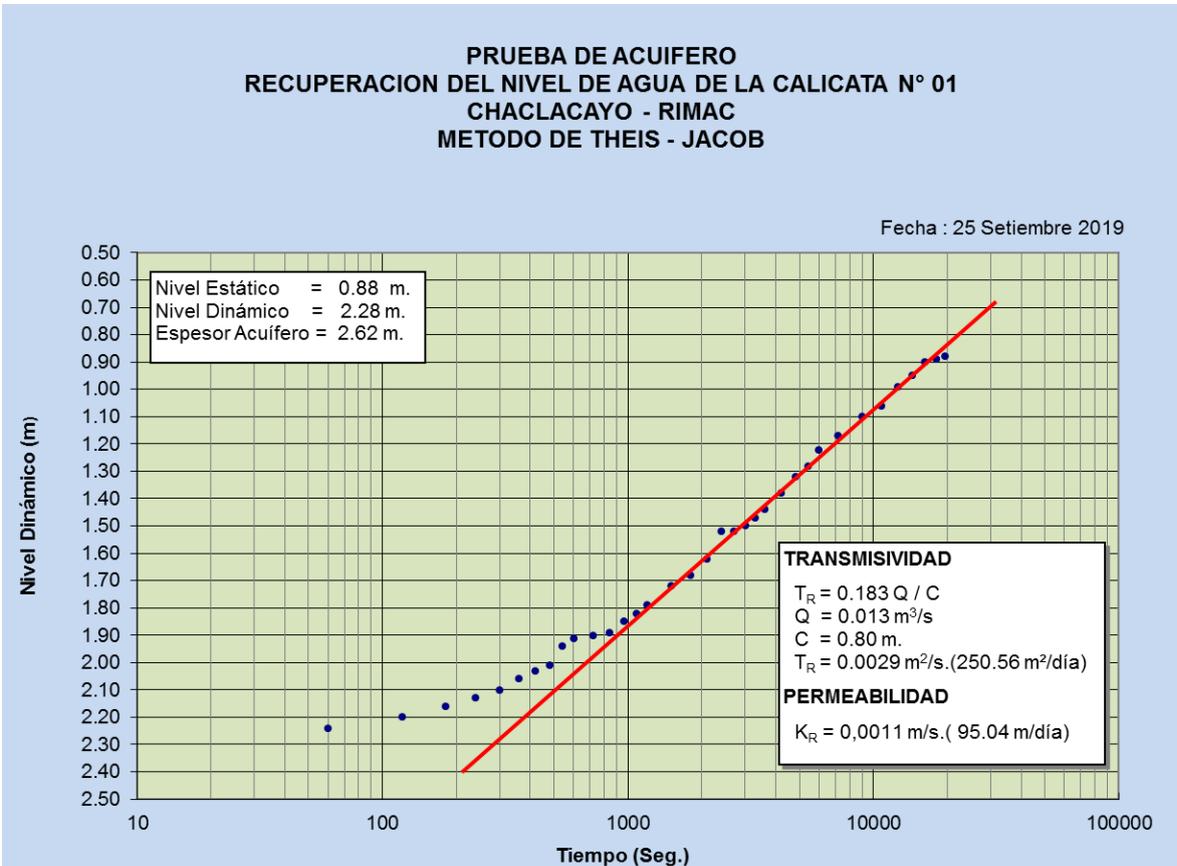


Figura 7: Prueba de acuífero calicata 1 - recuperación

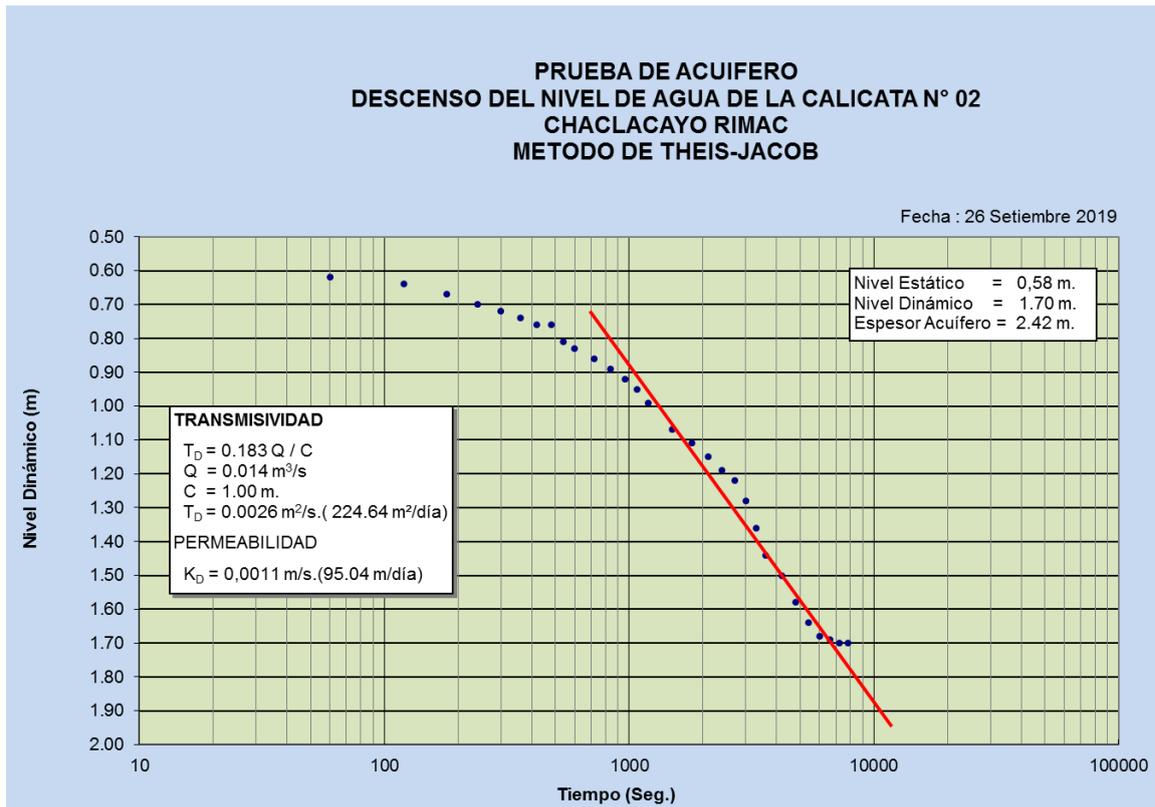


Figura 8: Prueba de acuífero calicata 2 - descenso

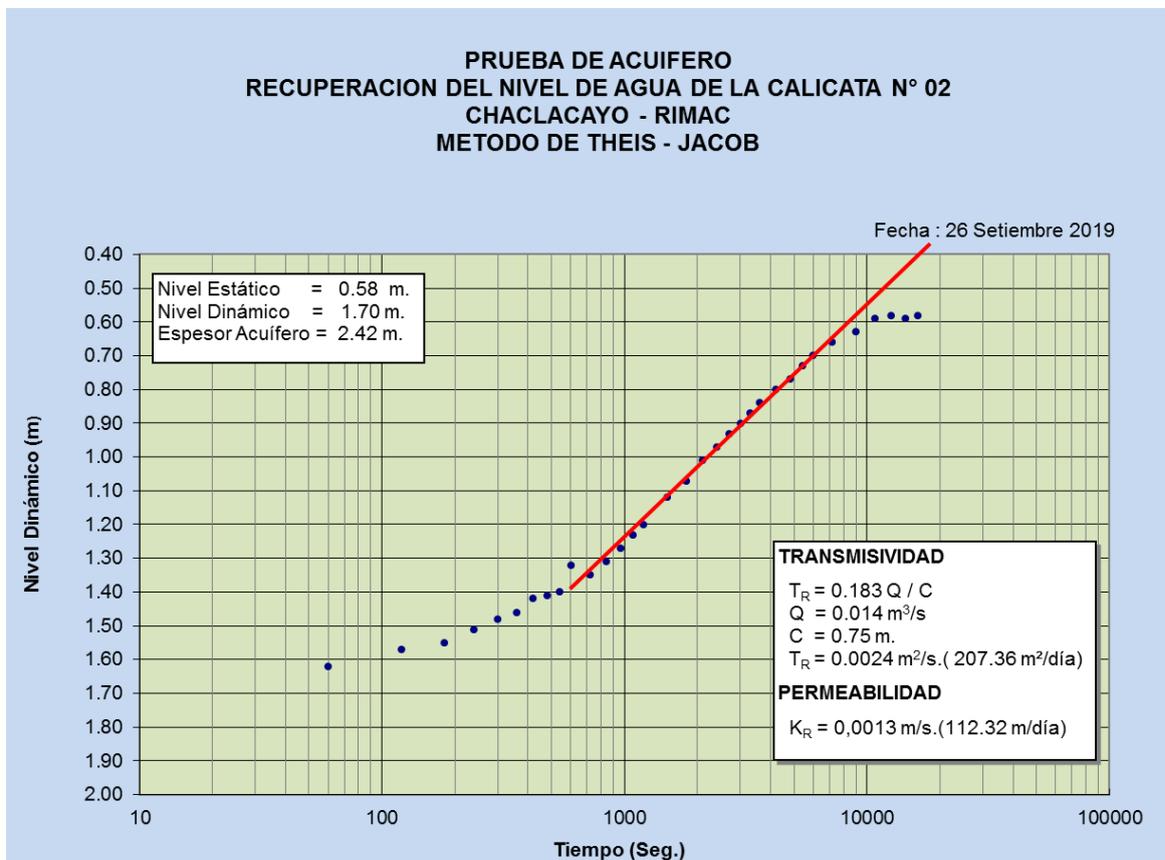


Figura 9: Prueba de acuífero calicata 2 - recuperación

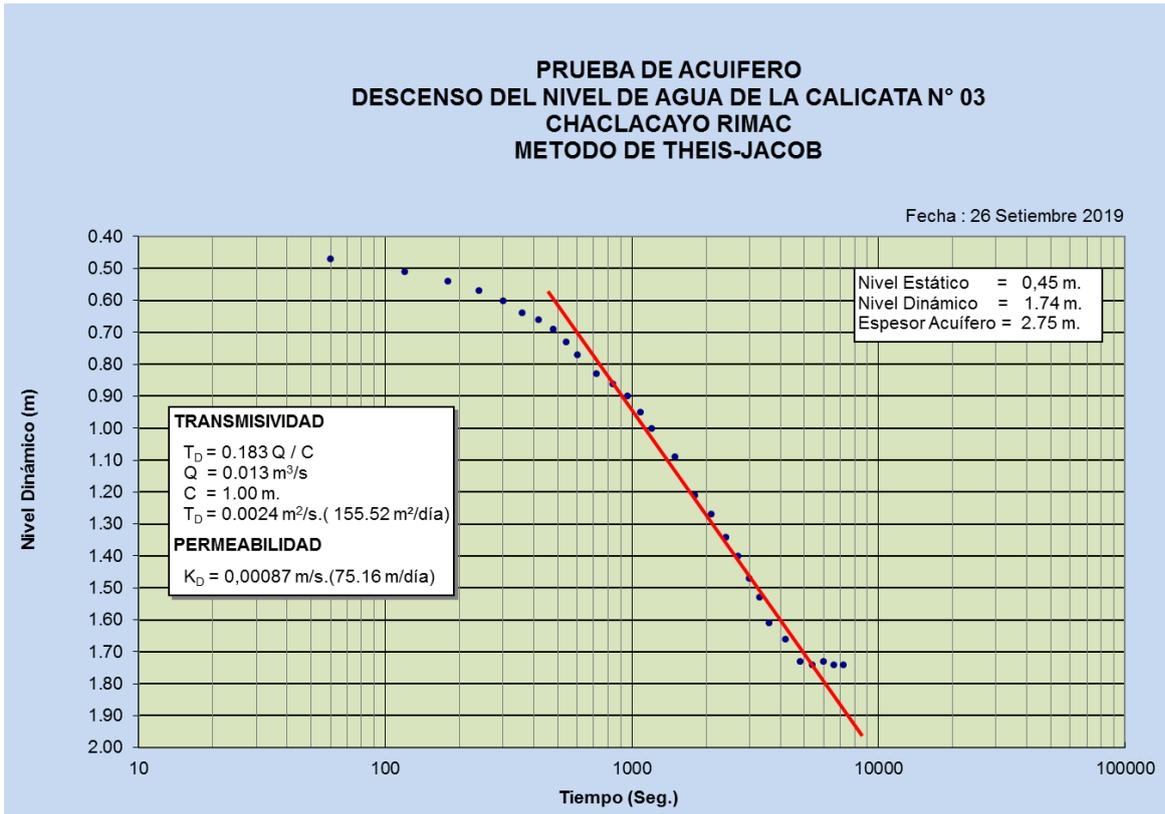


Figura 10: Prueba de acuífero calicata 3 - descenso

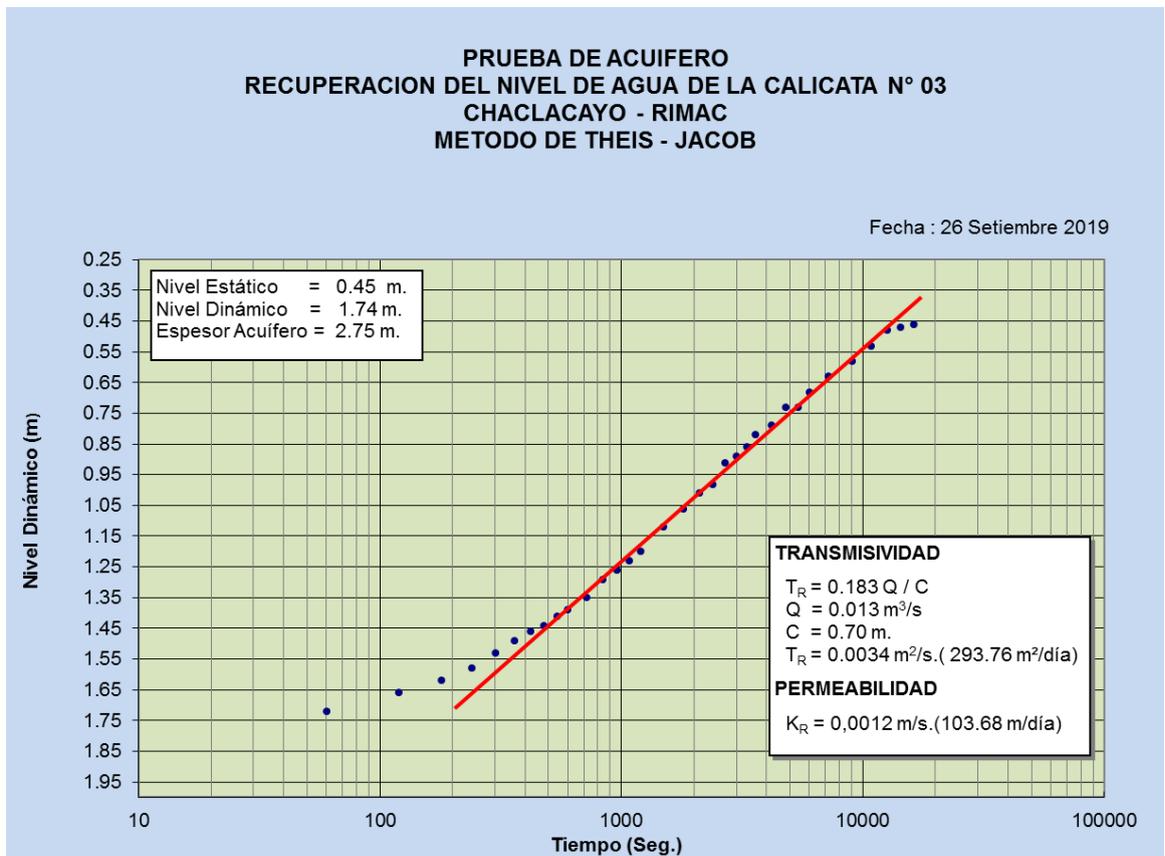


Figura 11: Prueba de acuífero calicata 3 - recuperación

Los valores estimados en las pruebas de bombeo de las calicatas, pueden considerarse como representativos de acuíferos con buenas características hidráulicas, en donde se puede considerar como transmisividad promedio de 0,0026 m²/s (224,64 m²/d) y coeficiente de permeabilidad de 0,001 m/s (86,4 m/d).

El coeficiente de almacenamiento (S) se ha estimado en 10 %, tomando como base la naturaleza y el tipo de materiales de este acuífero, que en este sector es algo grueso con poca matriz de arcilla.

4.1.3. Hidrogeoquímica

Se tomaron tres muestras de agua de las calicatas excavadas para las pruebas de bombeo (CA-1, CA-2 y CA-3). que fueron enviadas al laboratorio de ensayo TYPASA PERU, acreditado por INACAL-DA, cuyos resultados de los análisis microbiológicos y físico - químicos se presentan en las Tablas 13 y 14. Para la discusión de dichos resultados se consideró los límites máximos permisibles (LMP) que establece el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud – Dirección General de Salud Ambiental, tal como se presenta en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13: Resultados de análisis microbiológicos

Parámetros	Und.	Estaciones de monitoreo			LMP
		CA-1	CA-2	CA-3	
Coliformes fecales (termotolerantes)	UFC/100 mL	< 1	2	< 1	0
Coliformes totales	UFC/100 mL	18	15	2	0
Conteo de heterótrofos en placa	UFC/mL	900000	160000	4000	500
Escherichia coli	UFC/100 mL	< 1	2	< 1	0
Huevos de helminto	Huevos/1L	0	0	0	0
Organismos de vida libre - cuantificación de microalgas	Organismos/L	10	0	0	0
Organismos de vida libre - cuantificación de nematodos	Organismos/L	0	0	0	0
Organismos de vida libre - cuantificación de protozoarios, copépodos y rotíferos	Organismos/L	0	0	0	0
Virus	UFP/mL	< 1	< 1	< 1	0

FUENTE: Laboratorio TYPASA PERU (2019)

Tabla 14: Resultados de análisis físico-químicos

Parámetros	Und.	Estaciones de monitoreo			LMP
		CA-1	CA-2	CA-3	
pH	Ud. pH	7,72	7,77	7,65	6,5-8,5
Conductividad	µS/cm	536	568	523	1500
Cloro residual libre	mg Cl ₂ /L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,5-5
Turbidez	NTU	0,3	1,73	1,92	5
Sólidos totales disueltos	mg STD/L	344	380	336	1000
Aluminio	mg/L	0,05699	0,12395	0,0548	0,2
Antimonio	mg/L	0,00368	0,00346	0,00487	0,02
Arsénico	mg/L	0,02362	0,03227	0,02296	0,01
Bario	mg/L	0,041	0,04715	0,03699	0,7
Berilio	mg/L	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	NP
Boro	mg/L	0,10576	0,11827	0,09828	1,5
Cadmio	mg/L	0,00066	0,00055	0,00038	0,003
Calcio	mg/L	68,84	75,38	67,22	NP
Cobalto	mg/L	0,00015	0,00021	0,00015	NP
Cobre	mg/L	0,004	0,00296	0,00191	NP
Cromo	mg/L	0,00032	0,00021	0,00023	0,05
Estaño	mg/L	< 0,00006	< 0,00006	< 0,00006	NP
Estroncio	mg/L	0,79391	0,82916	0,78916	NP
Hierro	mg/L	0,0366	0,08	0,034	0,3
Litio	mg/L	0,08429	0,08429	0,07666	NP
Magnesio	mg/L	8,13	8,47	7,648	NP
Manganeso	mg/L	0,0094	0,15802	0,615	0,4
Mercurio	mg/L	< 0,00007	< 0,00007	< 0,00007	0,001
Molibdeno	mg/L	0,00636	0,00664	0,00584	0,07
Níquel	mg/L	0,00107	0,00034	0,00032	0,02
Plata	mg/L	0,0002	0,00007	0,00007	NP
Plomo	mg/L	0,00063	0,00113	0,00032	0,01
Potasio	mg/L	2,902	3,334	3,183	NP
Selenio	mg/L	< 0,0021	< 0,0021	< 0,0021	0,01
Silicio	mg/L	5,748	7,209	5,862	NP
Sodio	mg/L	13,97	15,1	13,1	200
Talio	mg/L	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	NP
Titanio	mg/L	0,00131	0,00233	0,00208	NP
Uranio	mg/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,015
Vanadio	mg/L	0,00168	0,00321	0,00241	NP
Zinc	mg/L	0,0344	0,0303	0,0134	3

FUENTE: Laboratorio TYPESA PERU (2019)

La mayoría de parámetros cumplen con la normativa de calidad de agua, a excepción de coliformes totales, heterótrofos, microalgas y el arsénico. Como las muestras fueron tomadas de la superficie del nivel del agua de la calicata (profundidad aproximada entre 1,00 - 2,00 m); y, tomando en cuenta que la galería se instalará a 9,00 m de profundidad, cubierta por una capa de grava, ésta actuará como filtro que ayudará a mejorar la calidad el agua.

a. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua está en función de su temperatura, del tipo de iones presentes y de su concentración; como se suele expresar a la temperatura estándar de 25°C, sus variaciones se deberán, únicamente, al tipo y concentración de sus constituyentes disueltos; el agua se puede clasificar como sulfatada cálcica.

La información de la conductividad eléctrica de los pozos mencionados, medidos mediante un conductímetro portátil, se presenta en la Tabla 15, apreciándose que varía entre 0,523 y 0,881 dS/m (Calicata C-1 y Pozo El Cuadro, respectivamente). Con la información mencionada se elaboró el mapa de curvas de isoconductividad eléctrica (Figura 17, ANEXO 1), observándose que la variabilidad espacial, va de 0,550 a 0,900 dS/m., es decir, el agua es de media a buena calidad.

Tabla 15: Resultados de conductividad eléctrica

Identificación	Descripción	CE (dS/m)
Pozo 305	Girasoles SEDAPAL	0,600
Pozo 390	Morón SEDAPAL	0,835
Pozo 812	Nueva Alianza P-2 SEDAPAL	0,815
Pozo 820	Sol de Huampaní P-1	0.567
Pozo 834	Miguel Grau PP-2	0.760
Pozo 842	El Cuadro	0.881
Pozo PP 1	A.H. Huampaní	0.718
Pozo A	Urbanización Sol de Huampaní	0.780
Pozo B	Sierra Alta – ACEC	0.840
Pozo C	Seminario Santo Toribio	0.790
CA-1	Calicata 1	0.536
CA-2	Calicata 2	0.568
CA-3	Calicata 3	0.523

b. Potabilidad del agua subterránea

Con los resultados de los análisis de agua se elaboró el diagrama de potabilidad (Figura 23, ANEXO 2), en el que se observa que se trata de aguas de potabilidad buena a aceptable, es decir, se encuentra dentro de los límites establecidos por el “Reglamento de calidad de agua para consumo humano” (D.S. N° 031-2010, de fecha 25/9/2010).

4.1.4. Demanda de agua

El sector de Huampaní tiene una población estimada de 88 500 habitantes, cuyas demandas de agua potable serán abastecidas por SEDAPAL, con la explotación del agua subterránea, captada mediante una galería filtrante, ubicada en el cauce del río Rímac.

Para la galería filtrante, se ha tomado en cuenta la Norma OS-100 “Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria de clima templado”, que establece una demanda media diaria de 150 l/s por habitante y un caudal máximo diario con una variación de consumo de 1,3 (caudal de 195 l/d), caudal equivalente al máximo horario, dado que la captación funcionará 24 horas/día, se obtiene una demanda total de 6 298 988 m³/año. Para cubrir esta demanda se considera la construcción de una galería filtrante.

4.1.5. Disponibilidad hídrica

De acuerdo al estudio realizado, se puede satisfacer esta demanda, construyendo y equipando una galería filtrante para extraer un caudal de 200,00 l/s; obteniendo los volúmenes, a nivel mensual y anual, que se reportan en las Tablas 16 y 17.

Tabla 16: Régimen de explotación

Captación	Caudal (l/s)	Régimen de explotación			Volumen de explotación (m ³ /año)
		Horas/día	Días/semana	Meses/año	
Galería	200	24	7	12	6 307 200

4.1. Experiencias y aportes al trabajo profesional

4.1.1. Contribución a la solución de situaciones problemáticas presentadas durante estancia en la empresa

- La adquisición de nuevos conocimientos como el “Reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de derechos de uso de agua y autorización de

ejecución de obras en fuentes naturales de agua” (R.J. N.º 007 – 2015 – ANA, 8 de enero del 2015) y el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N.º 031-2010-S.A./Ministerio de Salud – Dirección General de Salud Ambiental), ayudó para la evaluación del proyecto y el análisis de los resultados del laboratorio de las muestras recolectadas en campo.

Tabla 17: Volumen de explotación promedio mensual

Mes	Volumen de explotación (m³)
Enero	535 680
Febrero	483 840
Marzo	535 680
Abril	518 400
Mayo	535 680
Junio	518 400
Julio	535 680
Agosto	535 680
Setiembre	518 400
Octubre	518 400
Noviembre	518 400
Diciembre	535 680
TOTAL ANUAL	6 307 200

- En la recolección de muestras para el posterior envío al laboratorio se tuvo especial cuidado en la conservación y transporte, con la finalidad de que conserve sus propiedades físico-químicas y microbiológicas.
- Previo a la prueba de bombeo en las calicatas, se verificó el correcto funcionamiento de los equipos, con la finalidad de evitar datos erróneos en la medición de los niveles de agua.

4.1.2. Contribución al centro laboral en términos de las competencias y habilidades adquiridas durante su formación profesional

- Tener conocimiento de la hidrodinámica de las aguas subterráneas, contribuyó al análisis del comportamiento y dirección de flujo en el acuífero de interés.

- El manejo de programas o software facilitó el procesamiento e interpolación de información para la elaboración de mapas de curvas de isopropundidad, isoconductividad e hidroisohipsas.
- El conocimiento de cursos, tales como aguas subterráneas, ayudó ampliamente en la elaboración de estudios hidrogeológicos, debido a que estos estudios contienen todos los temas impartidos en la materia.
- El conocimiento de *software* como *AquiferTest*, *Aquachem*, *Surfer*, *AutoCAD*, *ArcGIS*, *QGis*, *Saga*, entre otros, permitió actualizar el tipo de procesamiento de información, mejorando la presentación final de los informes y/o memorias descriptivas y optimizando los tiempos en la elaboración de los mismos.

4.1.3. Nivel de contribución al centro laboral a partir de la solución de situaciones problemáticas

- Confianza en el trabajo realizado, obteniendo informes de calidad.
- Eficiencia en el desarrollo de las pruebas de bombeo, garantizando un ahorro de tiempo y dinero.
- Mejora continua en el procesamiento de información debido a la capacitación e investigación propia.
- Se lleva un control y registro de los trabajos realizados a fin de tener mayor base de datos para proyectos futuros.
- Aprendizaje de nuevas herramientas de exploración como la prospección geofísica, con el manejo del resistivímetro, para realizar los sondajes eléctricos verticales y la interpretación de los datos en gabinete con ayuda de un *software* libre IPI2win; lo que evita la tercerización de esta etapa en los estudios hidrogeológicos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Luego de la caracterización geológica se identificó dos unidades geológicas: afloramiento rocoso y depósitos aluviales.
- Del inventario realizado en el área de interés, se contabilizó un total de 14 pozos: 11 son tubulares; y, tres, a tajo abierto. También, se identificó 12 pozos de uso doméstico; uno, para uso de riego; y, uno, de uso doméstico y riego.
- De las pruebas de bombeo realizadas en los pozos se obtuvo una permeabilidad promedio de 0,00026 m/s. (22,46 m/día), característica del acuífero profundo y de las pruebas de bombeo realizadas en las calicatas se obtuvo una permeabilidad promedio de 0,0010 (86,40 m/día).
- Del análisis físico-químico y microbiológico realizado a las muestras tomadas de las calicatas, se estableció que todos los indicadores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles estipulados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A. / Ministerio de Salud – Dirección General de Salud Ambiental).
- Con respecto a la conductividad eléctrica, se encontró que ésta variaba de 0,523 a 0,881 dS/m, en la Calicata C-1 y el Pozo 842 El Cuadro, respectivamente; a nivel espacial, la variación es entre 0,550 y 0,900 dS/m.
- De acuerdo a la demanda que presenta el proyecto se requiere 200 l/s, que será satisfecha con la explotación de una galería filtrante, bajo un régimen de explotación de 24 h/d y 12 m/a (disponibilidad de 6307200 m³/año).
- Debido a que el “Reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de derechos de uso de agua y autorización de ejecución de obras en fuentes naturales de agua”, no cuenta con un anexo para el desarrollo de galerías filtrantes, para proyectos de gran envergadura, se recomienda proponer una estructura que señale los requisitos mínimos para la evaluación de la disponibilidad hídrica.

- Para futuros proyectos se recomienda generar un inventario más extenso de aguas subterráneas, con el cual se pueda desarrollar curvas de isoprofundidad e isohidrohipsas más acordes a la realidad del flujo subterránea.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arizabalo, R., & Días, G. (1991). La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos. *Revista Universidad Nacional Autónoma de México*, 9 p.
- Arocha, R. (1980). *Abastecimiento de agua (teoría y diseño)*. Editorial Vegas.
- Auge, M. (2008). *Métodos geoelectricos para la prospección del agua subterránea*. Universidad de Buenos Aires. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccGeoelec.pdf>
- Balairon, L. (2000). *Gestión de recursos hídricos*. Ediciones UPC.
- Cancho, G., & Ccaulla, S. (2011). *Ampliación de abastecimiento de agua potable mediante el diseño de galerías filtrantes y su evaluación del impacto ambiental en el distrito de Huancano y anexos – provincia de Pisco* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://1library.co/document/y9r4rkjy-tesis-galeria-filtrante.html>
- Christopherson, R.W. (1997). *Geosystems an introduction to physical geography*. Prentice-Hall.
- Collazo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de agua subterránea*. Ministerio de Agricultura y Pesca de Uruguay, p. 16-19. http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/Manual-de-agua-subterranea-Uruguay.pdf
- Cotrina, G., Olarte, Y., Peña, F., Vargas, V., Sánchez, M. & Pari, W. (2009). *Hidrogeología de la cuenca del Río Locumba*. INGEMMET. <http://es.calameo.com/read/000820129ba2d82f30d1f>
- Custodio, E., & Llamas, M. (1976). *Hidrológica subterránea*. Ediciones Omega, S.A.
- Duque, G. (2020). *Manual de geología para ingenieros. Capítulo 18. Aguas subterráneas*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/manualgeo.pdf>

- Espinoza, M., & Santarria, K. (2016). *Análisis comparativo entre los sistemas de galerías filtrantes y pozos profundos en la etapa de captación y conducción para el mejoramiento del abastecimiento de agua potable en el distrito de Ica, sector N° 04: Santa María* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620958>.
- Fuentes, J. (1992). *Aguas subterráneas (Hojas divulgadoras. N° 01)*. http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_01.pdf
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
- Johnson, E. 1975. *El agua subterránea y los pozos*. UOP Incorporated.
- Kirsch, R. (2009). *Groundwater geophysics – A toll hydrogeology* (2a ed.). Springer. [https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Kirsch,+R.+\(2009\).+Groundwater+geophysics+%E2%80%93+A+toll+hydrogeology+\(2a+ed.\).+Springer&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Kirsch,+R.+(2009).+Groundwater+geophysics+%E2%80%93+A+toll+hydrogeology+(2a+ed.).+Springer&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart)
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Ed. Pearson Prentice Hall. <https://es.b-ok.com/book/5677677/837a96>
- Mijailov, L. (1989). *Hidrogeología*. Ed. Mir. 286 p.
- Ordoñez, J. (2011). *Aguas subterráneas – acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima. http://www.gwp.org/globalassets/global/gwpam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf
- Plata, J.L. (2000). Técnicas convencionales de geofísica de superficie aplicadas en hidrogeología. En “*Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*”. Olmo, M., López, J.A. (Ed) IGME.
- Terzaghi, K., & Peck, R.B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice* (2a ed.) John Wiley & Sons, Inc. <http://tjfaonline.com/wp/wp-content/uploads/2018/11/TJFA-421.pdf>
- Todd, D.K. (1959). *Hidrogeología del agua subterránea*. Editora Organismos.

Vélez, M. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas*. (2a ed.) Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4993/>

Villanueva, M. & Iglesias, A. (1984). *Pozos y acuíferos: Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Editorial IGME

Werner, J. (1996). *Introducción a la hidrogeología*. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080066373/1080066373.pdf>

VII. ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS

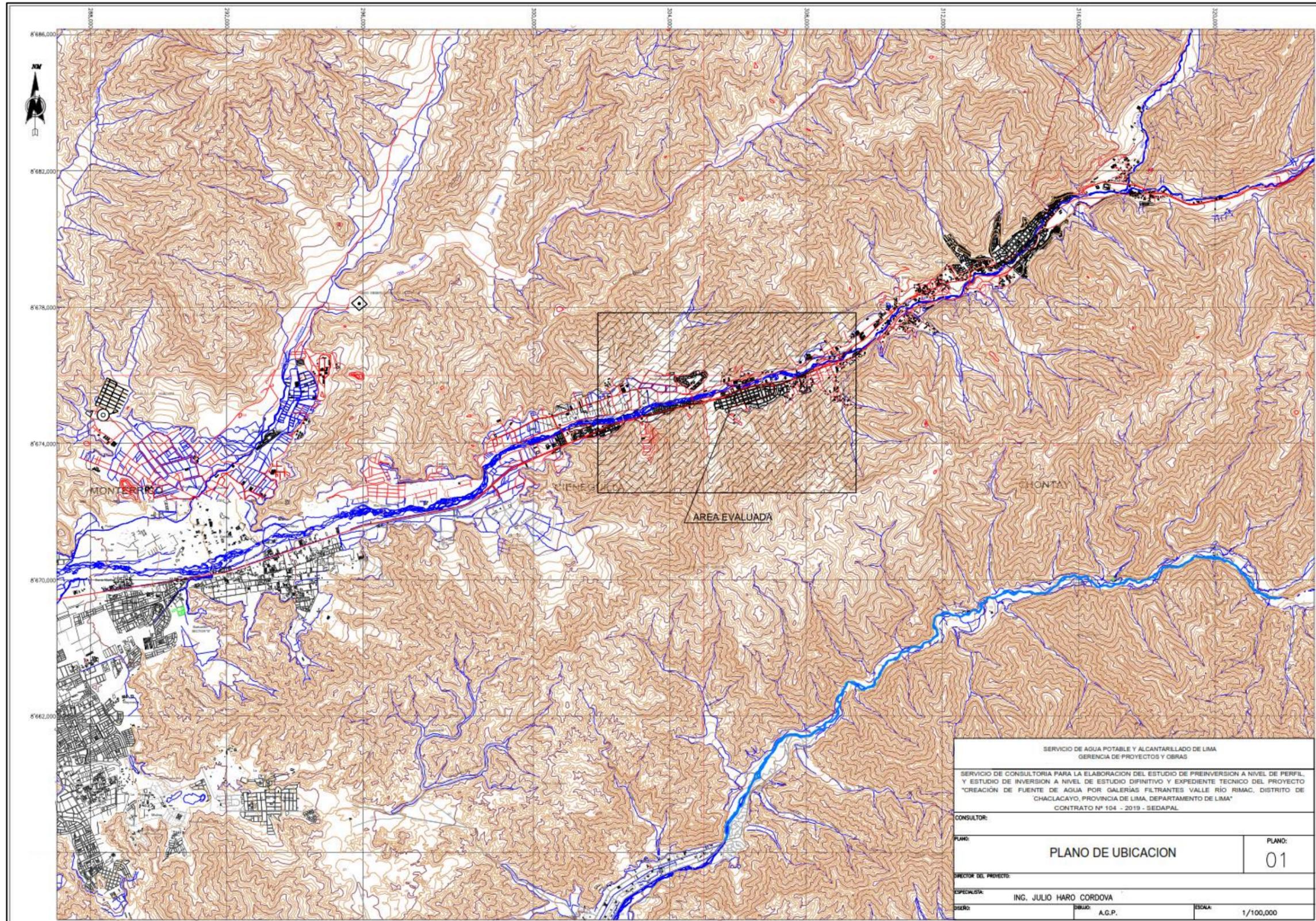


Figura 12: Plano de ubicación

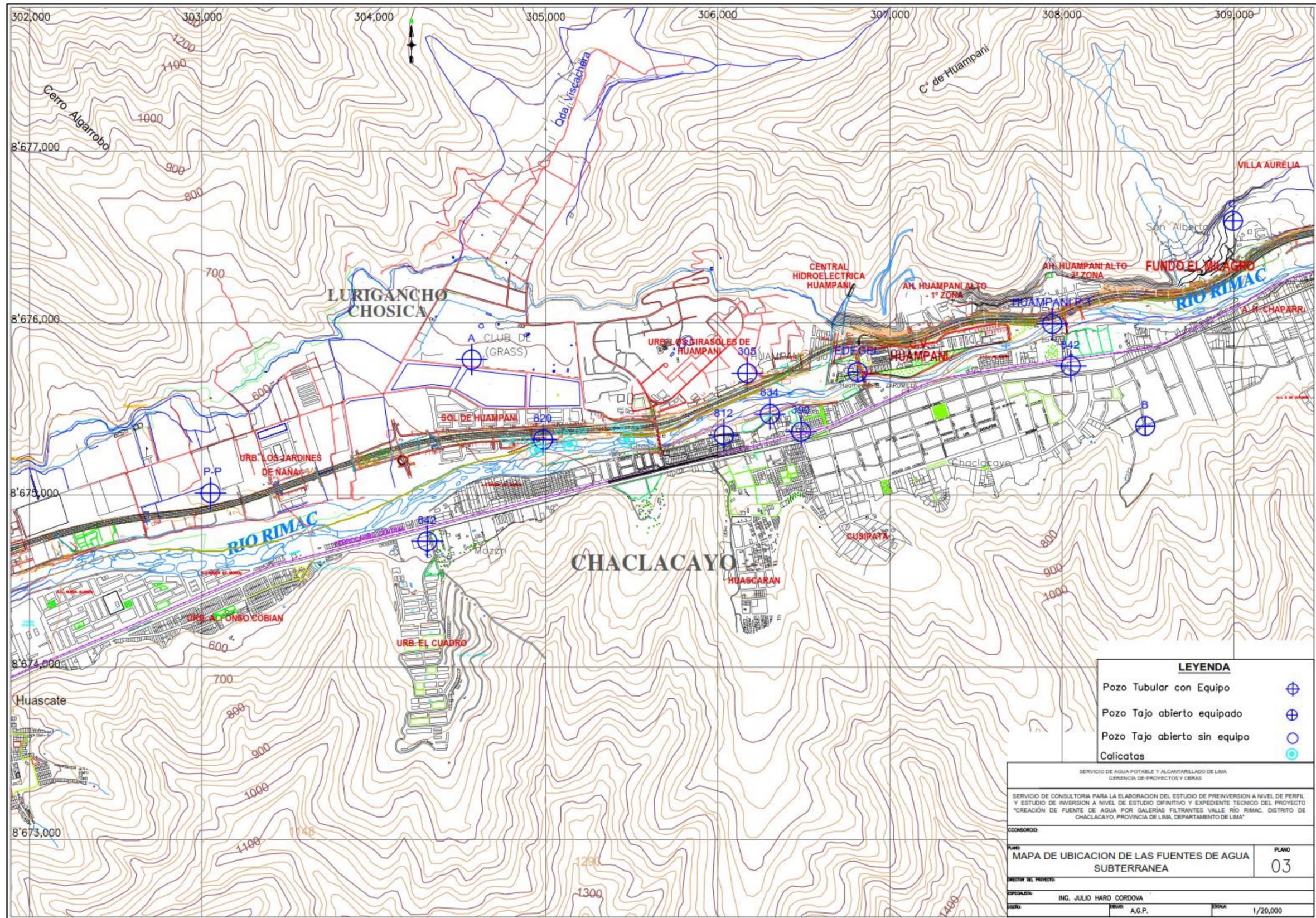


Figura 14: Mapa de ubicación de las fuentes de agua subterránea

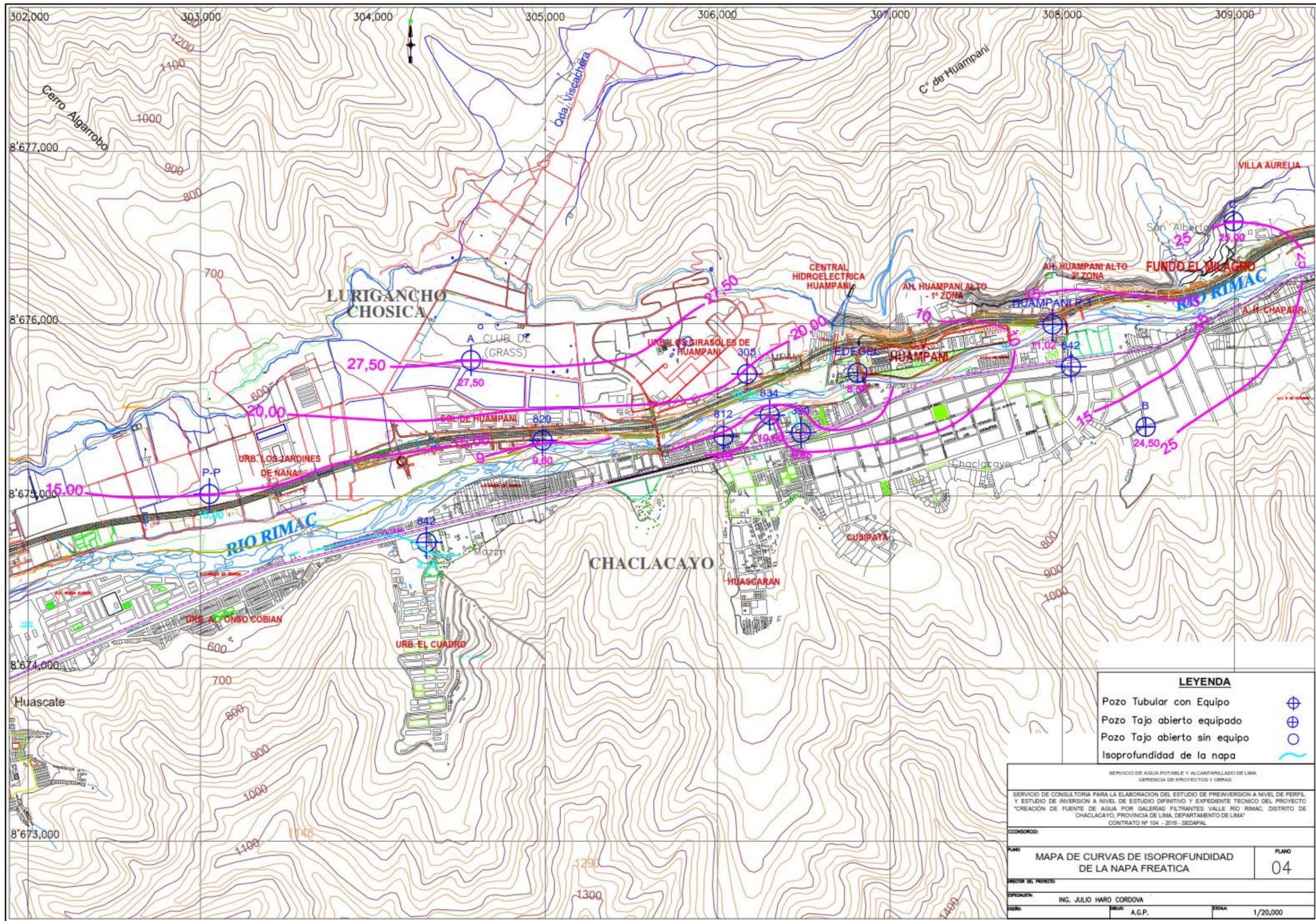


Figura 15: Mapa de curvas de isoprofundidad de la napa freática

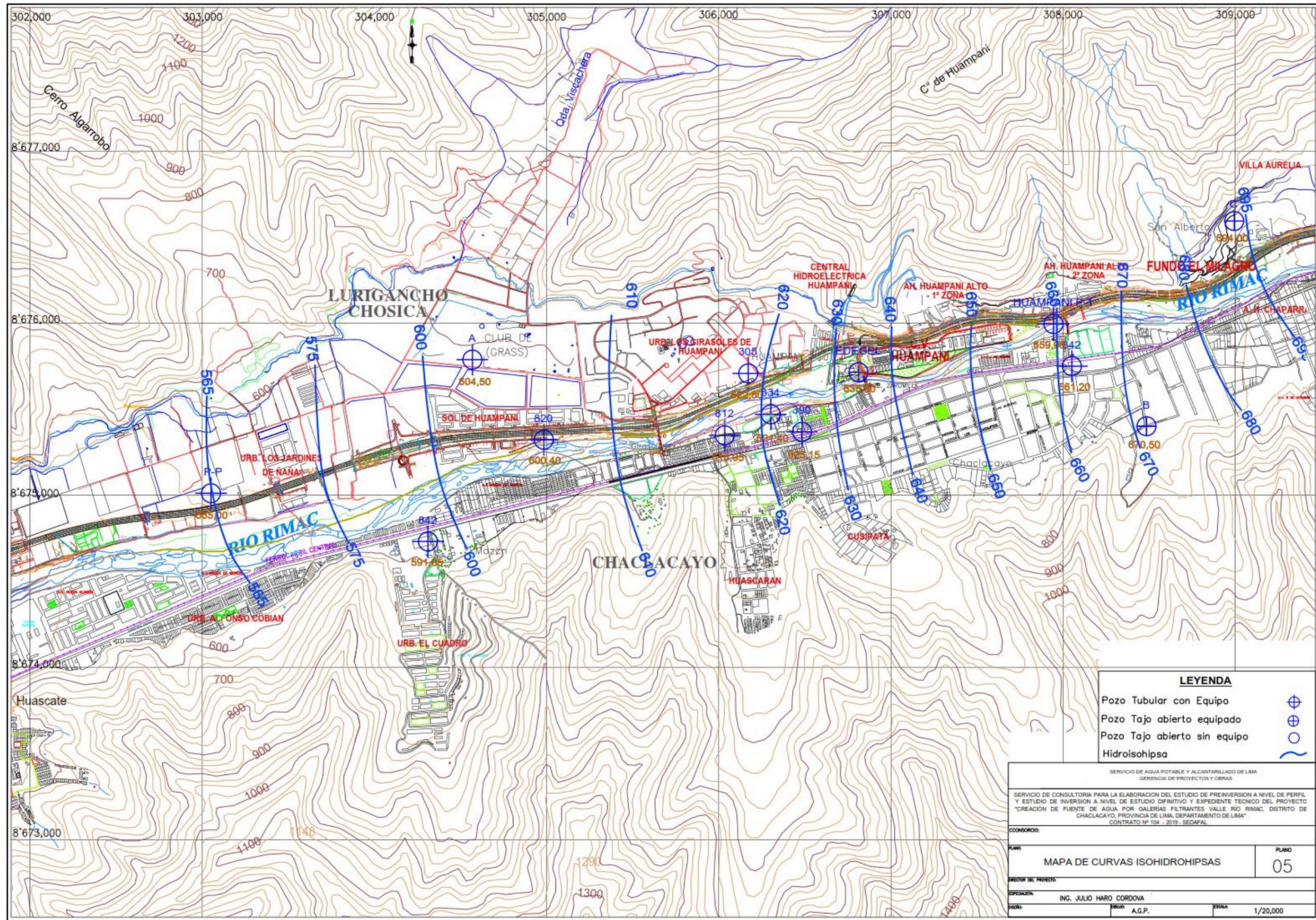


Figura 16: Mapa de curvas isohidrohipsas

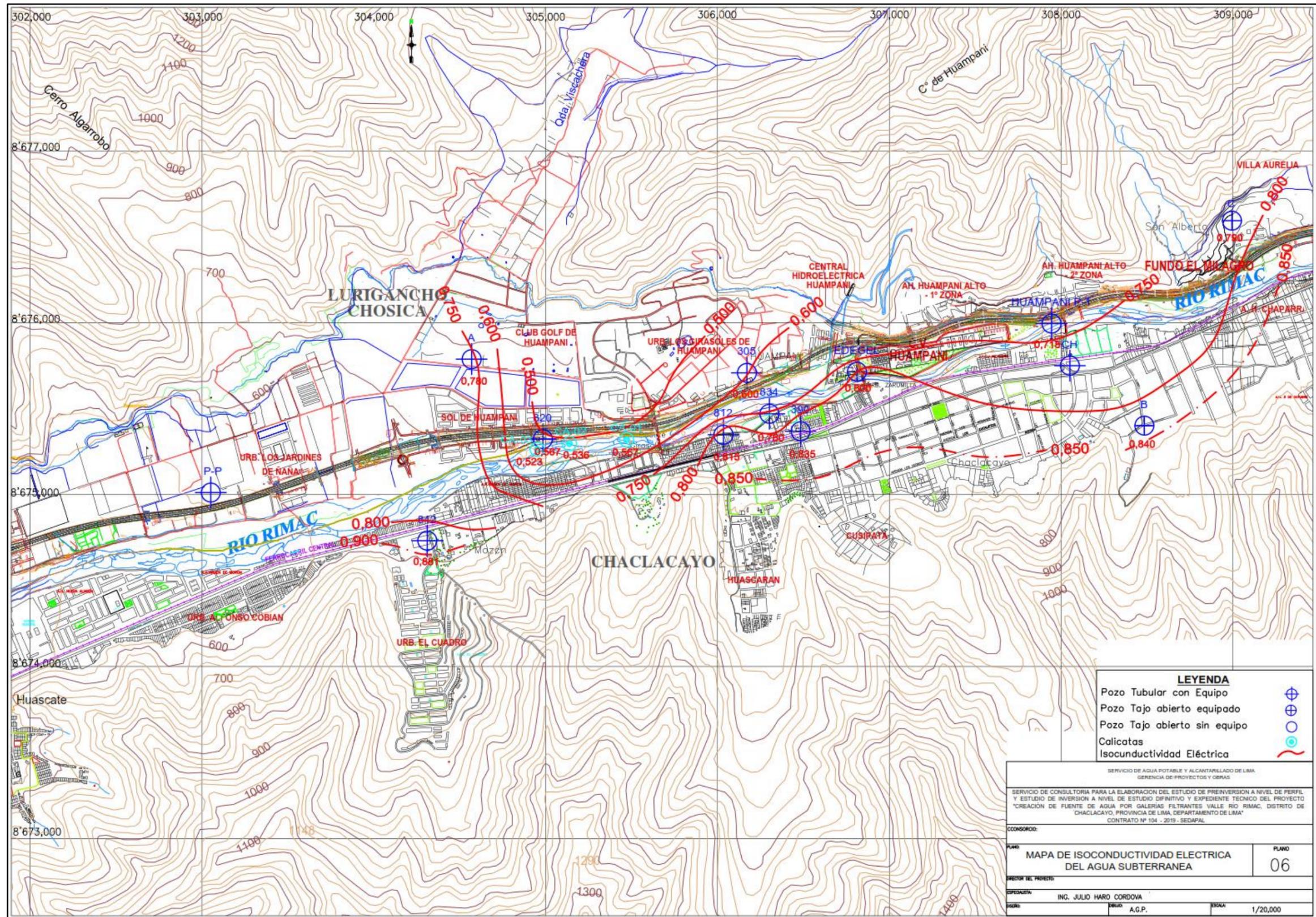


Figura 17: Mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea

ANEXO 2: FIGURAS

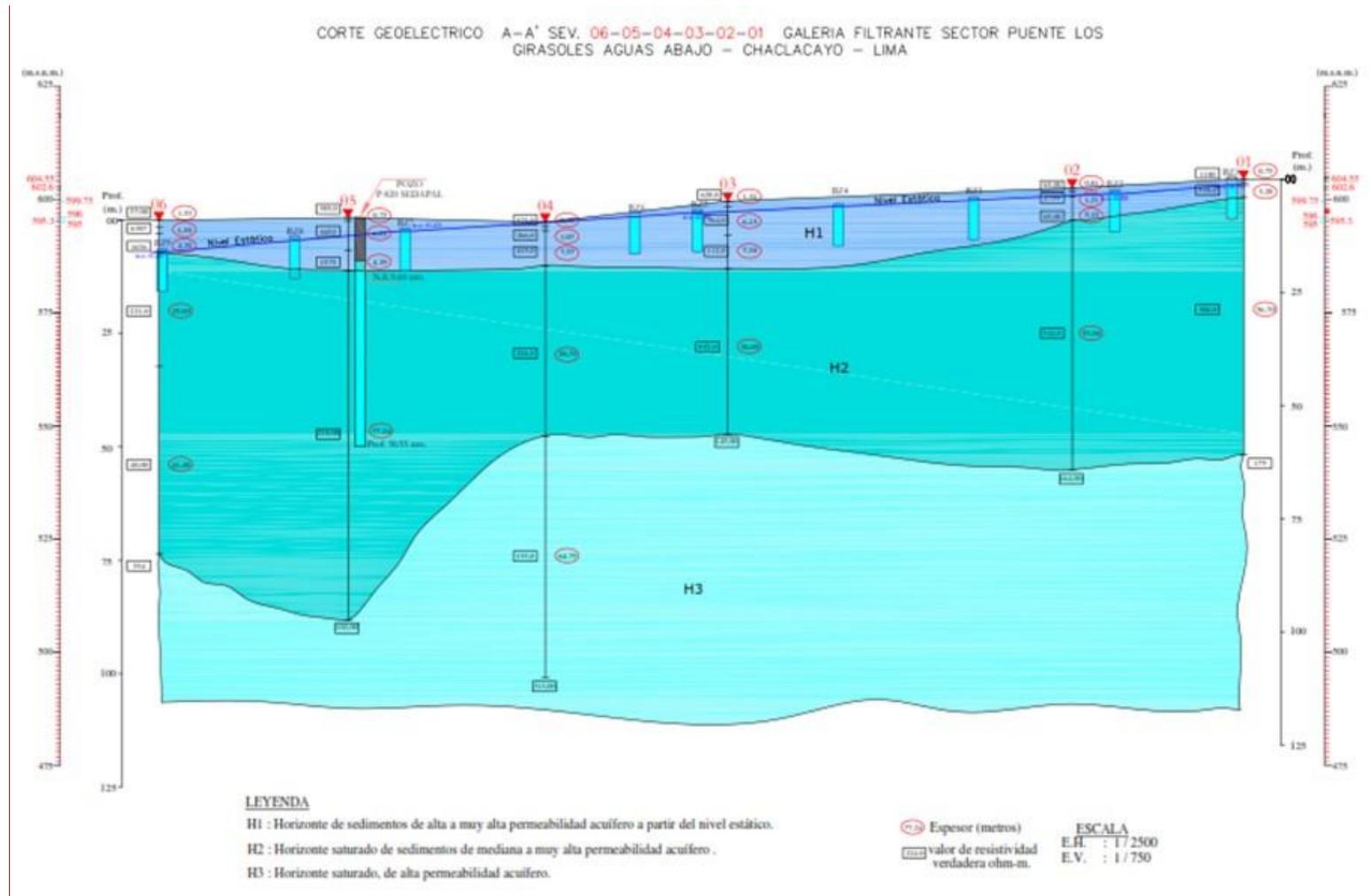


Figura 18: Sección geolétrica A-A'

PERFIL LITOLÓGICO POZO TUBULAR MIGUEL GRAU PP-2

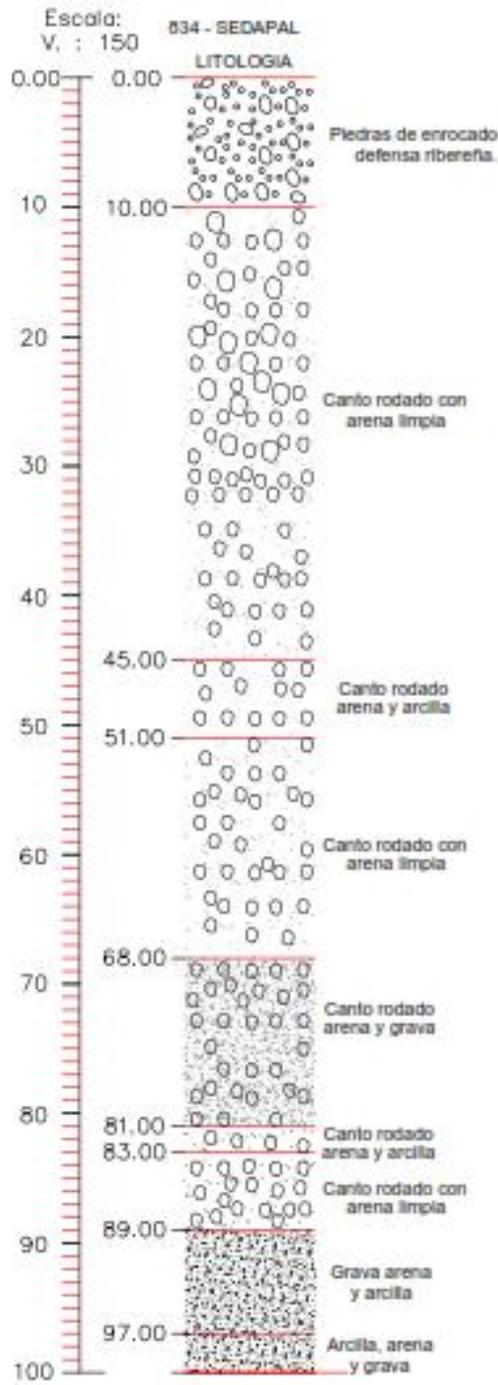


Figura 19: Perfil litológico del pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)

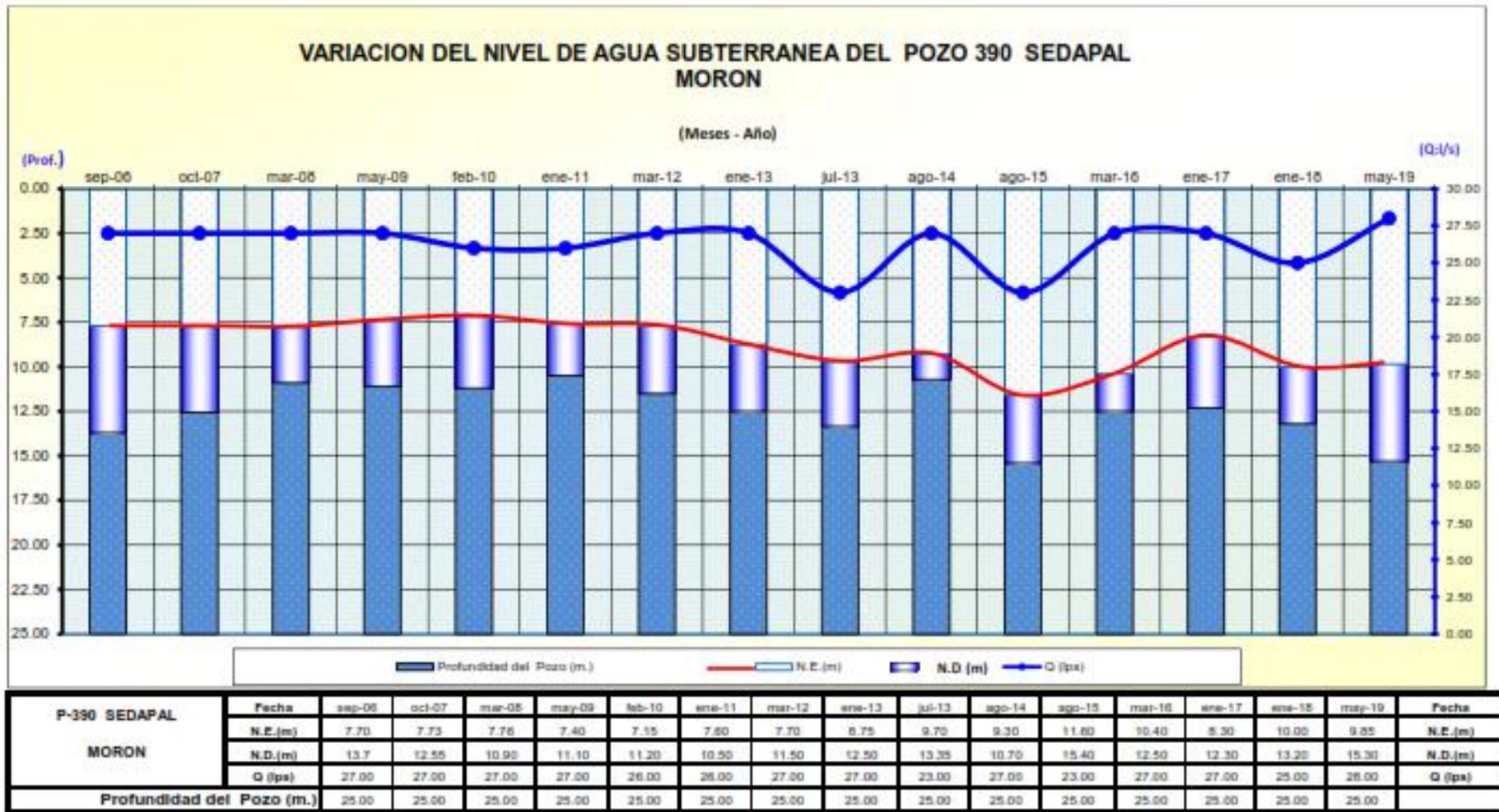


Figura 20: Variación del nivel freático en el pozo Morón (IRHS 390)



Figura 21: Variación de nivel freático en el pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

CALICATAS C - 01, C - 2, C - 3 SECTOR PUENTE GIRASOLES AGUAS ABAJO CHACLACAYO - LIMA

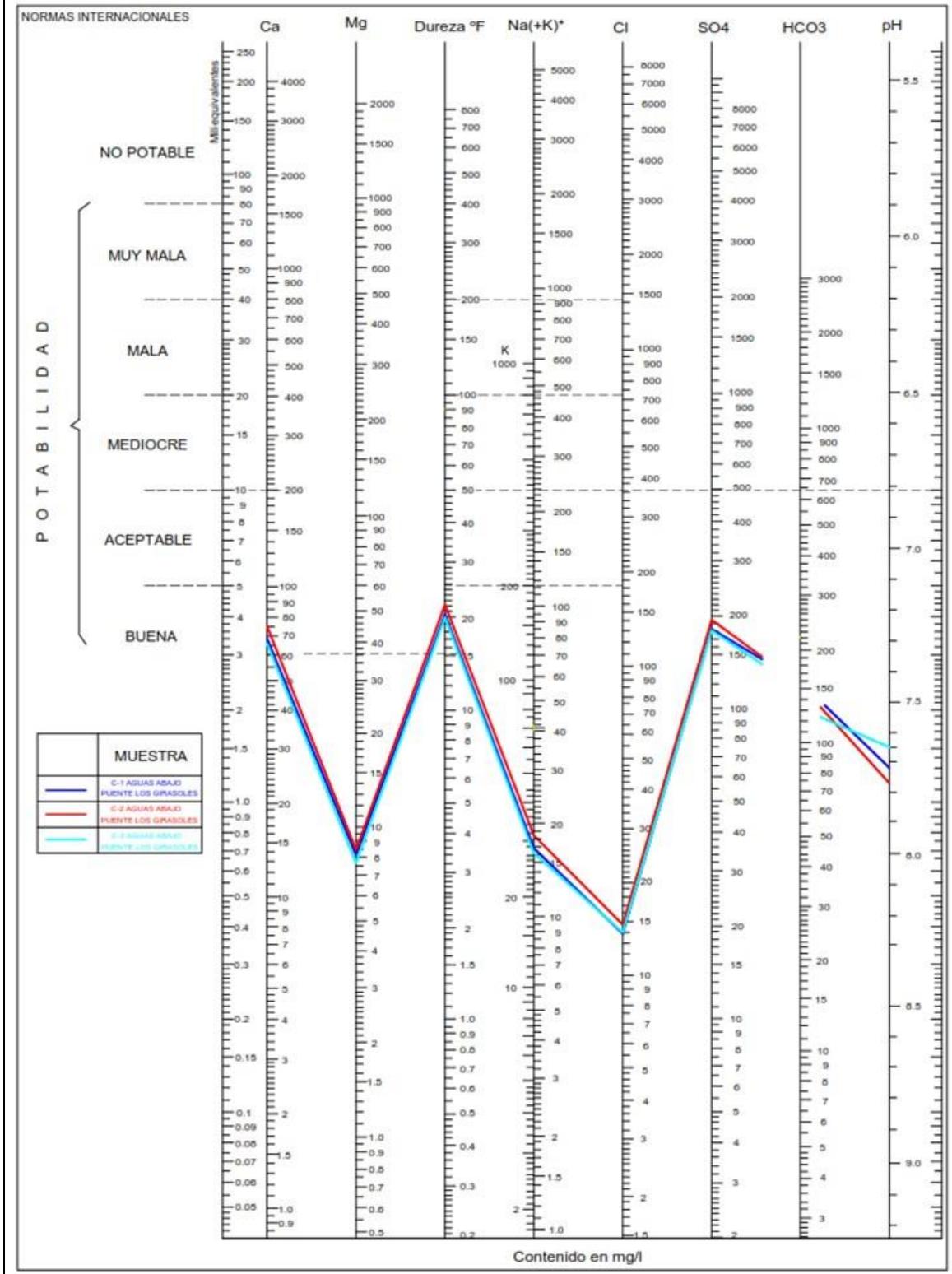


Figura 23: Diagrama de potabilidad

ANEXO 3: TABLAS

Tabla 18: Prueba de acuífero – descenso pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)

Caudal constante = 40,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
1	60	10,86	80	4800	11,76
2	120	10,97	90	5400	11,75
3	180	11,08	100	6000	11,78
4	240	11,25	110	6600	11,78
5	300	11,24	120	7200	11,81
6	360	11,26	150	9000	11,85
7	420	11,39	180	10800	11,84
8	480	11,43	210	12600	11,85
9	540	11,49	240	14400	11,87
10	600	11,52	270	16200	11,90
12	720	11,49	300	18000	11,92
14	840	11,50	330	19800	11,95
16	960	11,56	360	21600	11,98
18	1080	11,59	390	23400	11,98
20	1200	11,64	420	25200	12,02
25	1500	11,68	450	27000	12,03
30	1800	11,65	480	28800	12,04
35	2100	11,67	510	30600	12,06
40	2400	11,69	540	32400	12,09
45	2700	11,72	600	36000	12,10
50	3000	11,74	660	39600	12,11
55	3300	11,75	720	43200	12,12
60	3600	11,77	780	46800	12,13
70	4200	11,75			

Tabla 19: Prueba de acuífero – recuperación pozo Miguel Grau PP-2 (IRHS 834)

Caudal constante = 40,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	12,13	35	2100	9,81
1	60	10,90	40	2400	9,78
2	120	10,83	50	3000	9,74
3	180	10,61	60	3600	9,70
4	240	10,50	70	4200	9,66
5	300	10,40	90	5400	9,62
6	360	10,31	100	6000	9,62
7	420	10,27	120	7200	9,57
8	480	10,22	150	9000	9,55
9	540	10,17	180	10800	9,53
10	600	10,14	240	14400	9,52
12	720	10,08	360	21600	9,51
14	840	10,03	420	25200	9,51
16	960	10,00	480	28800	9,50
18	1080	9,97	540	32400	9,50
20	1200	9,95	600	36000	9,50
25	1500	9,89	660	39600	9,50
30	1800	9,85	720	43200	9,50

Tabla 20: Prueba de acuífero – descenso pozo Sol de Huampaní P1 (IRHS 820)

Caudal constante = 40,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
1	60	10,54	80	4800	14,40
2	120	11,18	90	5400	14,50
3	180	11,53	100	6000	14,55
4	240	11,88	110	6600	14,60
5	300	12,01	120	7200	14,65
6	360	12,18	140	8400	14,68
7	420	12,36	160	9600	14,70
8	480	12,54	180	10800	14,71
9	540	12,70	210	12600	14,76
10	600	12,85	270	16200	14,88
12	720	13,02	300	18000	14,92
14	840	13,20	360	21600	14,98
16	960	13,33	420	25200	15,03
18	1080	13,45	480	28800	15,05
20	1200	13,65	600	36000	15,10
25	1500	13,82	720	43200	15,13
30	1800	13,92	840	50400	15,16
40	2400	14,06	960	57600	15,18
50	3000	14,17	1080	64800	15,19
60	3600	14,28	1200	72000	15,20
70	4200	14,35			

Tabla 21: Prueba de acuífero – recuperación pozo Sol de Huampaní P1 (IRHS 820)

Caudal constante = 40,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	15,20	40	2400	9,68
1	60	13,24	50	3000	9,71
2	120	12,88	60	3600	9,85
3	180	12,64	70	4200	9,72
4	240	12,28	80	4800	9,68
5	300	12,00	90	5400	9,84
6	360	11,75	100	6000	9,73
7	420	11,59	120	7200	9,63
8	480	11,31	140	8400	9,52
9	540	11,10	160	9600	9,42
10	600	10,97	180	10800	9,41
12	720	10,88	210	12600	9,35
16	960	10,78	270	16200	9,27
18	1080	10,65	300	18000	9,24
20	1200	10,58	360	21600	9,22
25	1500	10,45	420	25200	9,21
30	1800	10,32	480	28800	9,20
35	2100	10,20	540	32400	9,20

Tabla 22: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-1

Caudal constante = 13,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	0,88	20	1200	1,41
1	60	0,90	25	1500	1,50
2	120	0,94	30	1800	1,56
3	180	0,98	35	2100	1,60
4	240	1,01	40	2400	1,68
5	300	1,04	45	2700	1,74
6	360	1,08	50	3000	1,80
7	420	1,10	55	3300	1,87
8	480	1,15	60	3600	1,93
9	540	1,17	70	4200	2,20
10	600	1,19	80	4800	2,24
12	720	1,25	90	5400	2,26
14	840	1,30	100	6000	2,28
16	960	1,34	110	6600	2,27
18	1080	1,37	120	7200	2,28

Tabla 23: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-1

Caudal constante = 13,0 l/s

Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	2,28	40	2400	1,52
1	60	2,24	45	2700	1,52
2	120	2,20	50	3000	1,50
3	180	2,16	55	3300	1,47
4	240	2,13	60	3600	1,44
5	300	2,10	70	4200	1,38
6	360	2,06	80	4800	1,32
7	420	2,03	90	5400	1,28
8	480	2,01	100	6000	1,22
9	540	1,94	110	6600	1,20
10	600	1,91	120	7200	1,17
12	720	1,90	150	9000	1,10
14	840	1,89	180	10800	1,06
16	960	1,85	210	12600	0,99
18	1080	1,82	240	14400	0,95
20	1200	1,79	270	16200	0,90
25	1500	1,72	300	18000	0,89
30	1800	1,68	330	19800	0,88
35	2100	1,62			

Tabla 24: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-2

Caudal constante = 14,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	0,58	20	1200	0,99
1	60	0,62	25	1500	1,07
2	120	0,64	30	1800	1,11
3	180	0,67	35	2100	1,15
4	240	0,70	40	2400	1,19
5	300	0,72	45	2700	1,22
6	360	0,74	50	3000	1,28
7	420	0,76	55	3300	1,36
8	480	0,76	60	3600	1,44
9	540	0,81	70	4200	1,50
10	600	0,83	80	4800	1,58
12	720	0,86	90	5400	1,64
14	840	0,89	100	6000	1,68
16	960	0,92	110	6600	1,71
18	1080	0,95	120	7200	1,70

Tabla 25: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-2

Caudal constante = 14,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	1,70	30	1800	1,07
1	60	1,62	35	2100	1,01
2	120	1,57	40	2400	0,97
3	180	1,55	45	2700	0,93
4	240	1,51	50	3000	0,90
5	300	1,48	55	3300	0,87
6	360	1,46	60	3600	0,84
7	420	1,42	70	4200	0,80
8	480	1,41	80	4800	0,77
9	540	1,40	90	5400	0,73
10	600	1,32	100	6000	0,70
12	720	1,35	110	6600	0,66
14	840	1,31	120	7200	0,63
16	960	1,27	150	9000	0,59
18	1080	1,23	180	10800	0,58
20	1200	1,20	210	12600	0,59
25	1500	1,12	240	14400	0,58

Tabla 26: Prueba de acuífero – descenso calicata CA-3

Caudal constante = 13,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	0,45	20	1200	1,00
1	60	0,47	25	1500	1,09
2	120	0,51	30	1800	1,21
3	180	0,54	35	2100	1,27
4	240	0,57	40	2400	1,34
5	300	0,60	45	2700	1,40
6	360	0,64	50	3000	1,47
7	420	0,66	55	3300	1,53
8	480	0,69	60	3600	1,61
9	540	0,73	70	4200	1,66
10	600	0,77	80	4800	1,73
12	720	0,83	90	5400	1,74
14	840	0,86	100	6000	1,73
16	960	0,90	110	6600	1,74
18	1080	0,95	120	7200	1,74

Tabla 27: Prueba de acuífero – recuperación calicata CA-3

Caudal constante = 13,0 l/s					
Minutos	Segundos	Nivel estático	Minutos	Segundos	Nivel estático
0	0	1,74	30	1800	1,06
1	60	1,72	35	2100	1,01
2	120	1,66	40	2400	0,96
3	180	1,62	45	2700	0,91
4	240	1,58	50	3000	0,89
5	300	1,53	55	3300	0,86
6	360	1,49	60	3600	0,82
7	420	1,46	70	4200	0,79
8	480	1,44	80	4800	0,73
9	540	1,41	90	5400	0,73
10	600	1,39	100	6000	0,68
12	720	1,35	110	6600	0,66
14	840	1,29	120	7200	0,63
16	960	1,26	150	9000	0,58
18	1080	1,23	180	10800	0,53
20	1200	1,20	210	12600	0,48
25	1500	1,12			

ANEXO 4: PANEL FOTOGRAFICO



Figura 24: Sondaje eléctrico vertical – SEV 1



Figura 25: Sondaje eléctrico vertical – SEV 2



Figura 26: Sondaje eléctrico vertical – SEV 3



Figura 27: Sondaje eléctrico vertical – SEV 4



Figura 28: Sondaje eléctrico vertical – SEV 5



Figura 29: Sondaje eléctrico vertical – SEV 6



Figura 30: Medición del nivel dinámico en calicata 1



Figura 31: Aforo del caudal de bombeo en la calicata 1



Figura 32: Instalación del equipo de bombeo en la calicata 2



Figura 33: Medición del nivel dinámico calicata 2



Figura 34: Instalación del equipo de bombeo en la calicata 3



Figura 35: Aforo del caudal de bombeo en la calicata 3