

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN
HIDROGEOLOGÍA**



**CARACTERIZACION HIDRAULICA DEL CAMPO DE POZOS HACIENDA GUACERIQUE Y
QUIEBRAMONTES EN LA PARTE MEDIA DE LA
SUBCUENCA DEL RIO GUACERIQUE**

TESIS

**PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN RECURSOS HIDRICOS CON ORIENTACIÓN EN
HIDROGEOLOGIA**

TESISTA: Gladiz Rojas Izagirre

ASESOR: Master Maynor Ruiz

Tegucigalpa, M.D.C.

Noviembre, 2019

Honduras, C.A

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN
HIDROGEOLOGÍA
Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, Honduras.**



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:

DOCTOR: FRANCISCO HERRERA

RECTOR INTERINO

Dra. JESSICA PATRICIA SÁNCHEZ MEDINA

SECRETARIA GENERAL

DOCTOR: ARMANDO EUSEDA

DIRECTOR DE POSTGRADOS

MASTER: MANUEL RODRIGUEZ

COORDINADOR DE MAESTRÍA

NOVIEMBRE, 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso que me dio la fortaleza para seguir adelante y culminar esta etapa de mi vida.

Al Máster Maynor Ruiz por su apoyo, sus ideas y conocimientos como asesor de esta Tesis.

Al Personal del IHCIT y SANAA

En especial a mis Hijos y Nietas.

RESUMEN

Tegucigalpa y Comayagüela son ciudades vecinas cuya fusión en el Distrito Central departamento de Francisco Morazán se dio en 1898, la primera como Capital de Honduras, pero ambas se encuentran en una fase crítica del manejo de agua, ante el crecimiento poblacional y a las puertas de que la planificación y operación de los servicios de agua potable y saneamiento serán traspasados del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y alcantarillados (SANAA) hacia la gestión municipal que será liderada por la Comisión de Municipal de Aguas (COMAS). (BID/SANAA, 2016)

Es importante recalcar que dentro de estas dos ciudades solo un 66 % de hogares reciben el servicio de agua potable directamente de la red, lo que provoca que más del 30% de la población depende la distribución a través de carros cisterna a un costo mucho mayor que si la recibieran directamente de la red y el resto de la población en las zonas periféricas hacen uso de pequeños nacientes con una mala calidad del agua. (BID/SANAA, 2016)

La escasez de agua se ha constituido en una principal limitante para el desarrollo para estas dos ciudades al contar con muy poca infraestructura hidráulica de regulación artificial y natural pues únicamente cuenta con dos embalses artificiales, Los Laureles y La Concepción y una fuente natural que es la Zona de la Tigra, por tal motivo la población se ve sometida en época de estiaje a un riguroso racionamiento del agua con una dotación de 155 litro por persona por día, por otro lado las pérdidas en la red son elevadas aproximadamente de un 40%, por tanto la dotación por persona se ve reducida drásticamente. (SANAA, 2000)

Ante este contexto las autoridades se han visto en la necesidad de estudiar otras alternativas tal como la extracción de agua subterránea en la zona media de la cuenca del río Guacerique principal afluente que alimenta el embalse Los Laureles y el cual será el objetivo de la investigación y a su vez determinar cuáles serían los caudales óptimos de extracción del agua, en vista de que los pozos que perforó el SANAA y que tenían planificado un caudal determinado de 227 L/s no dieron los resultados esperados, ante el abatimiento de los pozos de producción. (Solutions/SANAA, 2005)

Los pozos en mención son profundos y están localizados principalmente en la zona media de la subcuenca en las zonas de Quiebramontes y Hacienda Guacerique es importante entonces determinar cuál sería el caudal idóneo para extracción sin tener necesidad de sobreexplotar el acuífero de tal manera que de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas de la zona y de las investigaciones científicas que se han realizadas proponer un caudal sostenible a lo largo del tiempo sin menoscabo del equilibrio dentro del ciclo hidrológico de la subcuenca.

ABSTRACT

Tegucigalpa and Comayagüela are neighboring cities whose merger in the Central District department of Francisco Morazán occurred in 1898, the first as the Capital of Honduras, but both are in a critical phase of water management, given the population growth and being that the planning and operation of drinking water and sanitation services are being transferred from the National Autonomous Service of Acueducts and Sewers (SANAA) to the municipal management that will be led by the Municipal Water Commission (COMAS).

It is important to emphasize that within these two cities only 66% of households receive potable water service directly from the network, which causes that more than 30% of the population depends on distribution through tank cars at a much higher cost than if they received it directly from the network and the rest of the population in the peripheral areas make use of small springs with poor water quality.

Water scarcity has become a major limitation for the development of these two cities by having very little hydraulic infrastructure of artificial and natural regulation because it only has two artificial reservoirs, Los Laureles and La Concepción and a natural source that is the Zone of La Tigra, for this reason the population is subjected to a severe rationing of the water during the dry season with an endowment of 155 liters per person per day, on the other hand the losses in the network are high approximately 40%, therefore the endowment per person is drastically reduced.

In this context, the authorities have seen the need to study other alternatives such as the extraction of groundwater in the middle zone of the main Guacerique river basin that feeds the Los Laureles reservoir and which will be the objective of the investigation. In turn, to determine which would be the optimum flow rates of water extraction, in view of the fact that the wells drilled by the SANAA and that had a planned flow of 227 liters / second planned did not give the expected results, due to the depletion of the production wells.

The wells mentioned are deep and are located mainly in the middle zone of the basin in the areas of Quiebramontes, and Hacienda Guacerique. It is important then to determine what would be the ideal flow for extraction without having to overexploit the aquifer of such so that according to the hydrogeological conditions of the area and the scientific investigations that have been carried out, propose a sustainable flow over time without compromising the balance within the hydrological cycle of the basin.

ABREVIATURAS.

IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra.
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y alcantarillados
COMAS	Comisión de Municipal de Aguas
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
EPAS	Estaciones Productoras de Agua Subterránea
DIAT	Dirección de Análisis y Asistencia Técnica del SANAA
T	Transmisividad.
Q	Caudal.
CE	Conductividad eléctrica.
ρ_a	Resistividad aparente
°C	Grados centígrados.
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
l/s	Litros por segundos.
m ² /día	Metros cuadrados por día.
m ³ /día	Metros cúbicos por día.
m	Metro.
mm	Milímetro.
m.s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar.
NF	Nivel freático.
P	Profundidad.
Ωm	Ohmios metros.
S	Sondeo.
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical.
PHG1	Pozo Hacienda Guacerique 1
PHG2	Pozo Hacienda Guacerique 2
PQM1	Pozo Queiebramontes 1
PQM2	Pozo Queiebramontes 2

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	11
2.	CAPITULO I: DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
2.1	Antecedentes del problema.....	12
2.2	Enunciado del Problema.....	13
2.3	Formulación del Problema	13
2.4	Preguntas de Investigación	13
2.5	Objetivos de la Investigación.....	13
2.6	Objetivo general	14
2.7	Objetivos específicos.....	14
2.8	Justificación de la Investigación.....	14
2.9	Hipótesis de la Investigación.....	15
3.	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	16
3.1	El Ciclo Hidrológico.....	16
3.2	Hidráulica de las Captaciones de agua subterránea.....	17
3.3	Conceptos fundamentales de la Hidráulica de los Pozos de agua Subterránea.	18
3.4	Pruebas de Bombeo	28
3.5	Pruebas de Resistividad Eléctrica.....	30
4.	CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO	32
4.1	Generalidades de la Subcuenca del Río Guacerique.....	32
4.1.1.	Clima.....	34
4.2	Características Específicas de la zona de estudio.....	35
4.2.1	Geología.....	36
4.2.2	Hidrogeología y Unidades Hidrogeológicas	37
4.2.3	Inventario de los pozos de la zona.....	39
4.2.4	Hidráulica del acuífero.....	40
5.	CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	42
5.1	Tipo de Investigación.....	42
5.2	Diseño de la Investigación	42
5.3	Fase I	44
5.3.1	Recopilación de la Información.....	44
5.4	Fase II	44
5.4.1	Trabajo de Campo	44
	A. Pruebas de bombeo	45
	B. Sondeos Eléctricos Verticales.....	47
6.	CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	48
6.1	Perfil Litológico	48
6.2	Sondeos Eléctricos verticales.....	49
6.3	Pruebas de bombeo.....	54
6.3.1	Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de Recuperación del Pozo Hacienda Guacerique 1 (HG1)	54

6.3.2	Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado y un aforo simultáneo a caudal constante en el Pozo Hacienda Guacerique 2 (HG2).....	69
6.3.3	Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de Recuperación del Pozo Quebramontes 1 (QM1)	77
6.3.4	Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, caudal constante y de la recuperación además de un aforo simultáneo en el Pozo Quebramontes 2 (QM2)	85
6.3.5	Radio de Influencia de los aforos a caudal contante y aforo simultáneo.....	94
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
7.1	Conclusión y Recomendación General	95
7.2	Conclusiones y Recomendaciones específicas.....	96
8.	ANEXOS	101
9.	BIBLIOGRAFIA	102

Índice de gráficos

Gráfica No. 1 Clinograma cuenca del río Guacerique.....	34
Gráfica No. 2 Prueba escalonada descenso-tiempo de PHG1	55
Gráfica No. 3 Caudal -descenso específico de Pozo Guacerique 1	55
Gráfica No. 4 Caudal crítico para pozo HG1	57
Gráfica No. 5 Nivel dinámico Pozo HG1	58
Gráfica No. 6 Método de Theis para pozo HG1	60
Gráfica No. 7 Método de Jacob-Cooper para pozo HG1	60
Gráfica No. 8 método de Theis para HG1 con descenso en QM1.....	61
Gráfica No. 9 Método de Jacob-Cooper, para HG1 con descenso en QM1	61
Gráfica No. 10 prueba de recuperación en HG1 con descenso en QM1	62
Gráfica No. 11 Prueba de recuperación en HG1 con descenso en QM1	63
Gráfica No. 12 Método de Theis, Prueba de aforo a caudal constante descenso en piezómetro	64
Gráfica No. 13 Método de Jacob-Cooper, Prueba de aforo a caudal constante descenso en piezómetro	64
Gráfica No. 14 Prueba de caudal constante HG1 con descenso en HG1	65
Gráfica No. 15 prueba de caudal constante HG1 con descenso en HG1.....	65
Gráfica No. 16 Prueba de recuperación pozo bombeo HG1 con descenso en HG1.....	66
Gráfica No. 17 Prueba de recuperación pozo bombeo HG1 con descenso en HG1.....	66
Gráfica No. 18 Descenso-tiempo de caudal escalonado PH2	70
Gráfica No. 19 Caudal específico y Caudal	71
Gráfica No. 20 caudal crítico para pozo HG2	72
Gráfica No. 21 Nivel de descenso pozo HG2.....	73
Gráfica No. 22 Nivel de descensos pozo QM1	74
Gráfica No. 23 Nivel de descensos pozo de observación HG1	74
Gráfica No. 24 Prueba escalonada descenso-tiempo de PHM1	77
Gráfica No. 25 Caudal -descenso específico de Pozo QM1	78
Gráfica No. 26 caudal crítico para pozo QM1.....	79
Gráfica No. 27 Nivel de descenso pozo QM1	81
Gráfica No. 28 Nivel de descenso en pozo de observación.....	81
Gráfica No. 29 Recuperación de nivel pozo QM1	82
Gráfica No. 30 recuperación de nivel pozo de observación	82
Gráfica No. 31 Prueba de caudal escalonado pozo QM2	86
Gráfica No. 32 Caudal -descenso específico de Pozo QM1	86
Gráfica No. 33 caudal crítico para pozo QM2.....	88
Gráfica No. 34 Nivel de descensos pozo QM2	89
Gráfica No. 35 Nivel de recuperación de pozo QM2	90

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Esquema de ubicación de Tegucigalpa y Comayagüela.....	12
Ilustración 2 Representación esquemática del ciclo hidrológico.....	17
Ilustración 3 Representación del flujo de agua subterránea	18
Ilustración 4 Valores de permeabilidad de los terrenos.....	21
Ilustración 5 Esquema de un circuito eléctrico.....	31
Ilustración 6 Esquema de Coeficiente de almacenamiento	23
Ilustración 7 Valores de coeficiente de almacenamiento	24
Ilustración 8 Esquema de un radio de influencia en un pozo perforado.....	24
Ilustración 9 Esquema de caudal crítico	27
Ilustración 10 Esquema de bombeo de un pozo	29
Ilustración 11 Diagrama de Flujo de los Procesos	43
Ilustración 12 Diagrama de Flujo de los Procesos de Recopilación de información	44
Ilustración 13 Metodología para la prueba de bombeo de pozos	45
Ilustración 14 Metodología para la prueba de resistividad.....	47
Ilustración 15 esquema de pozos para prueba de caudal constante.....	68
Ilustración 16 esquema de Bombeo simultáneo a caudal constante pozo HG2 Y QM1	76
Ilustración 17 Esquema de posición para caudal constante del pozo QM1.....	84
Ilustración 18 esquema de los pozo en prueba de caudal simultáneo pozo QM1	93

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de porosidad para algunos medios	20
Tabla 2. Valores de transmisividad y su depresión	22
Tabla 3 Valores de Resistividad de algunos materiales	32
Tabla 4 Inventario de Pozos en la subcuenca del río Guacerique	40
Tabla 5 Zona de estudio del campo de pozos en la subcuenca del río Guacerique.....	46
Tabla 6 valores de resistividad en Zona 1	50
Tabla 7 valores de resistividad en Zona 2	51
Tabla 8 valores de resistividad en Zona 3	52
Tabla 9 valores de resistividad en Zona 4	53
Tabla 10 caudal Específico y Eficiencia del pozo HG1	56
Tabla 11 Caudal -descenso específico de Pozo Guacerique 1.....	57
Tabla 12 características Hidráulicas a caudal constante HG1	67
Tabla 13 Caudal específico y Eficiencia del pozo HG2.....	70
Tabla 14 Caudal, Eficiencia del pozo HG2	72
Tabla 15 valores característicos del pozo HG2	75
Tabla 16 Caudal específico y Eficiencia	79
Tabla 17 valores de caudal para pozo QM1	79
Tabla 18 valores característicos de pozo QM1.....	83
Tabla 19 Caudal específico y Eficiencia	87
Tabla 20 valores de caudal para pozo QM2	88
Tabla 21 valores característicos a caudal constante QM2.....	91
Tabla 22 Características Hidráulicas de aforo simultáneo QM1 y QM2	92
Tabla 23. Radio de Influencia a diferentes aforos	94

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido que el manejo de agua subterránea en muchos países es la base del desarrollo de sistemas de agua que satisfagan las necesidades de las poblaciones para lo cual se consideran dos aspectos básicos:

- a) Deficiencia del suministro de agua superficial con el apoyo de embalses que se constituyen en erogaciones cuantiosas.
- b) Disminución de los costos operativos cuando se obtiene agua de buena calidad, para abastecimiento de comunidades propiciando grandes ahorros en infraestructura de tratamiento del agua y gasto en químicos necesarios para su potabilización (DIAT/SANAA, 2003).

El Balance Hídrico del 2003, (Ambiente, 2002), informa sobre la extracción de aguas subterráneas a nivel nacional identificando que en 1999 existían 234 pozos para consumo de agua, con una extracción de 194,860 m³ diarios equivalentes a 75 millones de m³ por año en 34 municipios; el porcentaje de uso de agua subterránea varía de 66% a 100% del total, solo en la ciudad de San Pedro Sula se reportan 70 pozos con una producción de 30 millones de m³ para el año 2003. El estudio menciona también la existencia de 1,250 pozos que permiten explotar un volumen de 165 millones de m³ al año para todos los usos. (Ambiente, 2002)

Para el propósito de esta investigación el sitio de estudio se localiza en la parte media de la subcuenca del río Guacerique cuya área es de aproximadamente 192 Kms² entre Quebra montes y Hacienda Guacerique que es precisamente donde se encuentran los pozos perforados profundos que el SANAA dejó de explotar ante el acelerado abatimiento de estos. El objetivo principal de esta investigación es determinar los caudales de extracción más propicios sin menoscabo de las condiciones hidrogeológicas del acuífero basando la investigación principalmente en los datos de campo y de los trabajos realizados por el SANAA en el área de estudio.

2. CAPITULO I: DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Antecedentes del problema

Las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela tienen un déficit importante en cuanto a sus servicios de agua y saneamiento. El servicio de agua formal, provisto principalmente por el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) solo cubre a 117,760 conexiones, que representan unas 156,760 viviendas, aproximadamente un 66% de la población de la ciudad. El resto es provisto por el autoabastecimiento de barrios y colonias, o de los de los hogares y negocios, frecuentemente sin regulaciones ni controles de ningún tipo. Para los usuarios formales del prestador de servicios, el suministro está severamente racionado, recibiendo agua en promedio 1 vez cada 3 días, 6 horas por día.

El SANAA ha utilizado el agua subterránea como fuente alterna de suministro de agua para consumo humano, la industria y el comercio (DIAT/SANAA, 2008). Sin embargo, el agua



subterránea no es la mayor fuente para el sistema de suministro central de agua para la ciudad de Tegucigalpa, pero es usada como fuente local de agua para el uso privado y comunal donde la Empresa de servicio no puede proporcionar agua por tubería procedente de los dos embalses existentes.

Ilustración 1. Esquema de ubicación de Tegucigalpa y Comayagüela
Fuente: Doc. No. 690 DIAT/SANAA

2.2 Enunciado del Problema

El acelerado abatimiento de los pozos ubicados en la parte media de la subcuenca del río Guacerique durante fueron explotados, no permitieron obtener los caudales planificados para dotar de agua al sector noreste de la ciudad que ante un incremento de la población demanda una mayor cantidad de agua para su consumo.

2.3 Formulación del Problema

¿Cuáles son los parámetros hidráulicos que controlan el movimiento del agua subterránea dentro de las capas acuíferas que serán explotadas y cuáles deberían ser los caudales óptimos de extracción para un mejor manejo del recurso hídrico subterráneo?

2.4 Preguntas de Investigación

En la búsqueda de la solución del problema, surgen entonces las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los parámetros hidráulicos que controlan el movimiento del agua subterránea dentro de las capas acuíferas que están en el campo de pozos y cuáles deberían ser los caudales óptimos para un mejor manejo del recurso hídrico subterráneo?
2. ¿Cuáles son las condiciones geológicas e hidrogeológicas de las capas acuíferas en el campo de pozos?
3. ¿Cuál es el caudal sostenible que se puede explotar del campo de pozos en estudio?

2.5 Objetivos de la Investigación

¿Determinar las características hidráulicas de las capas acuíferas explotadas dentro de campos de pozos y determinar el caudal óptimo de explotación?

2.6 Objetivo general

Caracterizar la hidráulica del acuífero del campo de pozos ubicados en la parte media de la subcuenca río Guacerique.

2.7 Objetivos específicos

1. Determinar las características hidráulicas del campo de pozos de la parte media de la subcuenca del río Guacerique.
2. Determinar las características geológicas e hidrogeológicas del campo de pozos de la parte media de la subcuenca del río Guacerique.
3. Determinar el caudal de explotación óptimo según las características del medio.

2.8 Justificación de la Investigación

Las ciudades y los servicios de Tegucigalpa y Comayagüela (población estimada en 2015 de 1.5 millones de habitantes), conforman la capital de Honduras, un asentamiento urbano que ha crecido en los últimos 40 años de manera espontánea, no-planificada, y que adolece de profundos déficits de vivienda, infraestructura, servicios urbanos, amenidades sociales y comunitarias; con una economía que ofrece limitadas oportunidades de empleo, especialmente para una población trabajadora joven. Lo anterior se ha traducido en un ambiente físico y social bastante deteriorado, periódicamente azotada por eventos naturales: el más significativo en años recientes el Huracán Mitch, en octubre de 1998. Durante Mitch y después del evento, cerca de un cuarto de millón de personas se vieron directamente afectadas, y mucha de la infraestructura vial, de agua y saneamiento, y edificaciones severamente dañadas o destruidas con una pérdida económica sustancial a la ciudad. (DIAT/SANAA D. , 2012)

La falta de agua está limitando el crecimiento de la ciudad, por lo que se deberá investigar fuentes de agua superficial y subterránea de tal manera de incrementar la oferta de agua

actual, una de estas zonas de investigación para la explotación de agua subterránea es la parte media de la subcuenca del río Guacerique, en donde se han perforado pozos que componen las Estructuras Productoras de Aguas Subterráneas (EPAS) en el período 2002-2006 , por diversas razones los pozos perforados no proporcionaron el caudal que se esperaba obtener, 227 L/s, en vista de esto es necesario conocer estas circunstancias mediante un análisis exhaustivo de los datos de pruebas de bombeo a fin de determinar la cantidad de agua que puede producir el campo de pozos sin llegar a la sobreexplotación y el deterioro del mismo.

2.9 Hipótesis de la Investigación

Mediante el conocimiento hidráulico del campo de pozos es posible determinar en una primera aproximación el caudal sostenible del acuífero de la parte media de la subcuenca del río Guacerique.

3. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Hernández-Sampieri, Collado y Baptista (2014), afirman que un buen marco teórico trata con profundidad no únicamente los aspectos relacionados con el problema, analiza de manera coherente los estudios anteriores, no solo es encontrar y resumir información, lo importante es la forma en que esta se interpreta y que puede ser de gran ayuda en la investigación a realizar. Es necesario conocer el problema a investigar desde el contexto externo como interno y así poder delimitar los alcances de la investigación, analizar los resultados de estudio previos y poder encontrar todas aquellas teorías de sustento que ayudaran a desarrollar la investigación. En este componente se tratará a profundidad todos los elementos que se relacionan con el problema, analizando de manera razonable los estudios anteriores, no solo la recopilación, sino que lo más importante será la interpretación que será de gran ayuda para la investigación a realizar.

3.1 El Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico puede representarse como un sistema cuyos componentes principales son la precipitación, evaporación, infiltración y escurrimiento superficial. Depende fundamentalmente de la interrelación entre el volumen de las precipitaciones, así como su distribución en el tiempo y espacio.

La parte subterránea del ciclo hidrológico constituye el principal centro de interés del hidrogeólogo. En el subsuelo, el agua se puede encontrar bajo una amplia gama de condiciones que se extiende desde el agua que circula libremente hasta el agua que se encuentra firmemente en el interior de las estructuras cristalinas. (Weist, 1971)

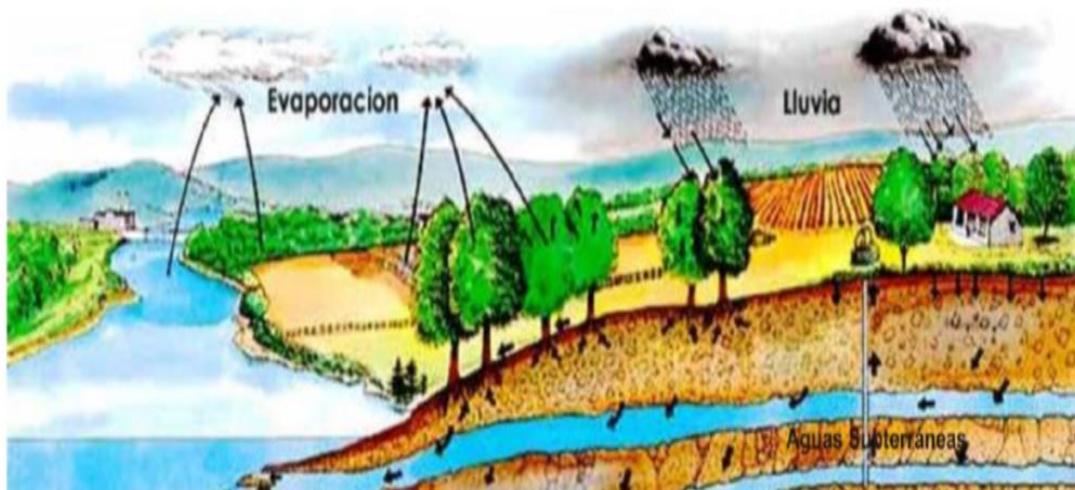


Ilustración 2. Representación esquemática del ciclo hidrológico

Fuente: [Http://www.madridmasd.org](http://www.madridmasd.org). 2007

3.2 Hidráulica de las Captaciones de agua subterránea

Se entiende por captación de agua subterránea todo dispositivo que permita extraer el agua contenida en un sistema acuífero.

Entre los objetivos principales de la hidráulica de las captaciones de agua subterránea están los siguientes (Custodio/Llamas, 2001):

- a) Obtener métodos para determinar las características físicas y de funcionamiento de los acuíferos tales que complementen, sustituyan o mejoren otros métodos disponibles.
- b) Permitir la predicción razonable del comportamiento a corto y largo plazo de una captación de agua, los caudales que se pueden extraer, su régimen óptimo de explotación y sus efectos sobre el acuífero y otras captaciones vecinas.
- c) Suministrar métodos teórico-prácticos para el proyecto de captaciones.
- d) Proporcionar una metodología para valorar la eficiencia y correcta construcción de las captaciones de agua.

La captación de agua más común actualmente es la vertical o pozo y es por ello por lo que se estudiara a continuación. (Custodio/Llamas, 2001).

3.3 Conceptos fundamentales de la Hidráulica de los Pozos de agua Subterránea

El principal objetivo de este apartado es definir los conceptos más importantes que regirán la teoría del movimiento del agua subterránea, para posteriormente presentar un análisis cuantitativo y cualitativo de los mismos, a continuación, se detallan algunos de estos conceptos:

- **Ecuación de movimiento de flujo de Darcy**

Establece que el flujo de agua a través de un medio poroso es proporcional a la diferencia de alturas piezométricas e inversamente proporcional a la longitud de la línea de flujo, (ilustración 3):

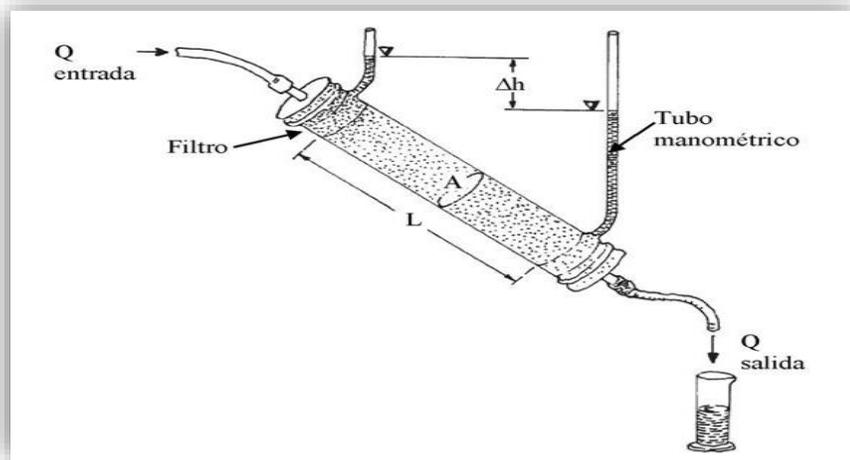


Ilustración 3. Representación del flujo de agua subterránea

Fuente: ENOHA, 2005

$$v = K \cdot (h_1 - h_2) / L$$

donde v = velocidad de flujo “de Darcy”

h_1 = nivel piezométrico en el punto 1

h_2 = nivel piezométrico en el punto 2

L = distancia entre los puntos 1 y 2 a lo largo de la línea de flujo

K = conductividad hidráulica (definida en un apartado anterior)

La velocidad de flujo se llama “de Darcy” porque se supone que el flujo ocurre a través de toda la sección transversal del material poroso. La ley proporciona una forma para cuantificar la energía (altura piezométrica) requerida para mover el agua a través de un acuífero; la pérdida de energía (altura piezométrica) es causada por la fricción entre el agua en movimiento y las paredes de los poros. (ENOHSA, 2005)

Por definición el gradiente hidráulico es:

$$I = (h_1 - h_2) / L$$

y así el caudal del flujo a través de una sección A está dado por:

$$Q = K \cdot I \cdot A$$

- **Porosidad**

La porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/ o agua y su volumen total (ver ilustración 3, para valores de referencia). (Custodio/Llamas, 2001)

Tipo	Material Descripción	Porosidad total % m						Porosidad Eficaz % m _a			Observaciones
		Media	Normal		Extraordinario		Media	Maxima	Minima		
			Máx.	Min.	Máx.	Min.					
Rocas Masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	<0.2	0.5	0	A	
	Caliza Masiva	8	15	0.5	20		<0.5	1	0	B	
	Dolomia	5	10	2			<0.5	1	0	B	
Roca Metamórficas		0.5	5	0.2			<0.5	20	0	A	
Rocas Volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5	20	0	C, E	
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E	
	Pumitas	85	90	50			<5	20	0	D	
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0.1			<1	2	0.1	A	
	Basaltos Vacuales	12	30	5			5	10	1	C	
Rocas Sedimentarias Consolidadas (Ver rocas masivas)	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0.5	<2	5	0	E	
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0	F	
	Creta Blanda	20	50	10			1	5	0.2	B	
	Caliza detrítica	10	30	1.5			3	20	0.5		
Rocas Sedimentarias Sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E	
	Dunas	35	40	30			20	30	10		
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15		
	Locss	45	55	40			<5	10	0.1	E	
	Arenas	35	45	20			25	35	10		
	Depósitos Glaciares	25	35	15			15	30	5		
	Limos	40	50	35			10	20	2	E	
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0	E	
Suelos Superiores	50	60	30			10	20	1	E		

A= Aumenta m y m_a por meteorización. D= Disminuye m y puede aumentar m con la edad
 B= Aumenta m y m_a por fenómenos de disolución E= m_a muy variable según circunstancias y tiempo
 C= Disminuye m y m_a con la edad F= Variable según grado de cementación y su solubilidad

Tabla 1. Valores de porosidad para algunos medios

Fuente: Custodio y Llamas 1983.

- **Conductividad hidráulica**

También llamada coeficiente de permeabilidad, se refiere a la capacidad de un material poroso, por ejemplo, un acuífero, de transmitir agua y se define como el volumen de agua que se mueve a través de un medio poroso en la unidad de tiempo bajo la unidad de gradiente hidráulico y a través de la unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de flujo. Tiene las dimensiones de longitud/tiempo, por ejemplo, metros/día.

En 1856, el ingeniero francés Henry Darcy descubrió la ley que regula el movimiento de las aguas subterráneas midiendo el caudal Q en función de la permeabilidad de los materiales estudiados y observó que:

$$Q = kA \frac{h}{l}$$

Siendo k el coeficiente de permeabilidad, A el área de la sección transversal a través del cual se produce el flujo del agua, h la diferencia de carga entre la entrada y la salida y el l el recorrido que debe realizar el agua.

El coeficiente de permeabilidad tiene las dimensiones de una velocidad y se define como el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente a una temperatura fija o determinada, siendo los factores que la determinan como intrínsecos (los propios del acuífero que dependen del tamaño de los poros) y extrínsecos (dependen del fluido y son fundamentalmente la viscosidad y su peso específico, (ilustración 4 para valores de referencia) (Custodio/Llamas, 2001)

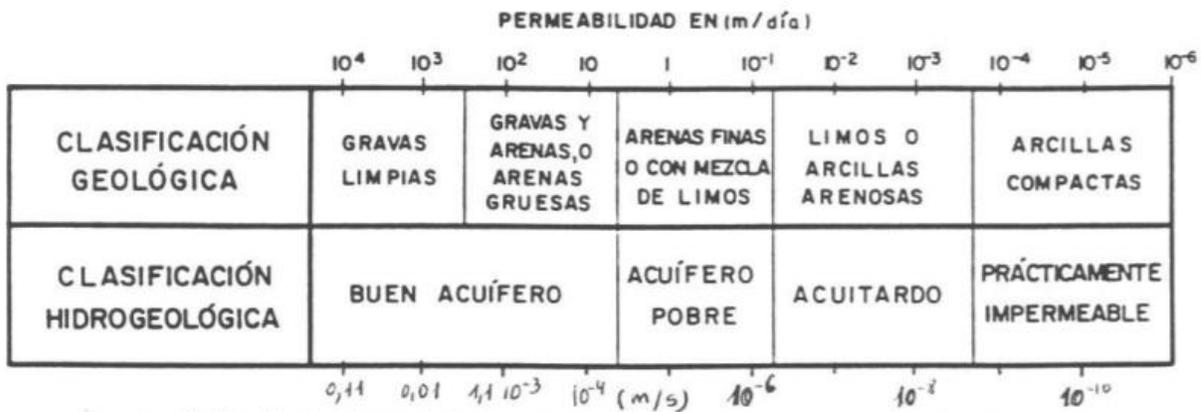


Ilustración 4. Valores de permeabilidad de los terrenos

Fuente: Materiales granulares relativamente homogéneos y temperaturas de orden de 20 C. Silin-Bekchurin 1928

- **Transmisividad**

Es una propiedad que indica la capacidad de un acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor y es igual a la conductividad hidráulica multiplicada por el espesor saturado del acuífero. En consecuencia, es el caudal de flujo bajo un gradiente unitario a través de una sección transversal de ancho unitario de todo el espesor acuífero. Tiene las dimensiones longitud²/ tiempo, por ejemplo, m²/día.

Un valor puede variar desde menos de 10 m²/día a más de 10.000 m²/día. Un acuífero con una transmisividad de 10 m²/día o menos, sólo puede proveer agua suficiente para pozos domésticos u otros usos de bajo caudal.

Este concepto fue introducido por Theis en 1935, y se define como el caudal que se infiltra a través de una franja vertical del terreno, unidad de ancho y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente de unidad y a una temperatura fija determinada (ver tabla 3, para valores de referencia de transmisividades y su depresión). Sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud. (Custodio/Llamas, 2001).

T (m ² /día)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1 l/s con 10 metros de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 metros de depresión
100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50 l/s con 10 metros de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 metros de depresión
T<1000	Muy alta	Mas de 100 l/s con 10 metros de depresión

Tabla 2. Valores de transmisividad y su depresión
Fuente: Pozos y acuíferos, IGME 1984

- **Coefficiente de almacenamiento**

Coefficiente es adimensional, se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico (o la presión) (Ilustración No. 6). Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura la del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico.

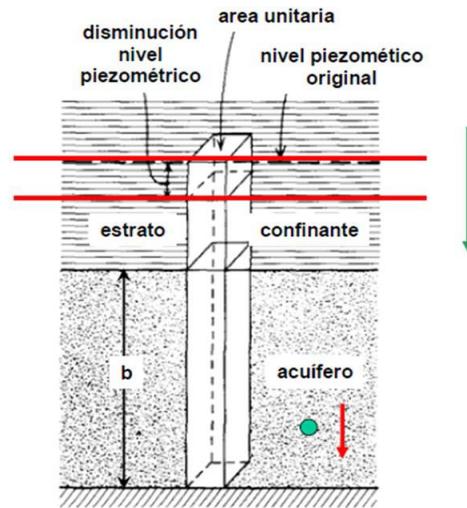


Ilustración 5 Esquema de Coeficiente de almacenamiento

Fuente: www.fcfm.cl

En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre (Ilustración 7). Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado. (Custodio/Llamas, 2001).

En acuíferos libres por ejemplo el almacenamiento (S) está entre 0.01-0.35 y en acuífero artesiano esta entre 1×10^{-2} hasta 1×10^{-5}

VALORES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (según autores)

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

Ilustración 6. Valores de coeficiente de almacenamiento

Fuente: www.fcfm.cl

- **Radio de Influencia (R)**

Es la distancia desde el centro del pozo hasta el límite del cono de depresión (Ilustración 8). Cuando se bombea un pozo baja el nivel de agua en el mismo y en toda la porción de acuífero circundante a él. El descenso de nivel es más pronunciado en el pozo, y aminora a medida que aumenta la distancia al mismo. (Iglesias/IGME, 2002)

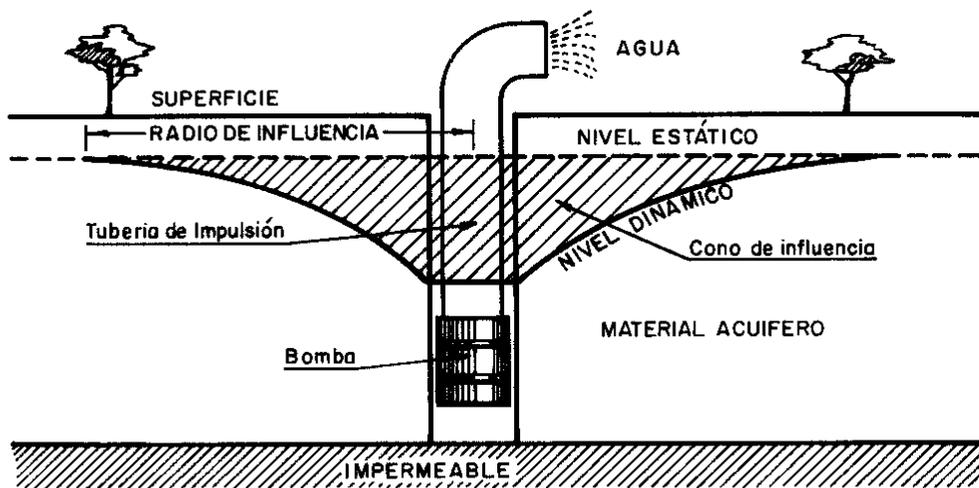


Ilustración 7. Esquema de un radio de influencia en un pozo perforado

Fuente: www.Hidráulica de captaciones de aguas subterráneas

El radio de influencia es determinado por una función matemática que depende del tiempo y de las características del acuífero, pero no del caudal de bombeo. (Custodio/Llamas, 2001). El valor de R donde la depresión de la superficie piezométrica es insignificante se llama radio de influencia del pozo.

Para encontrar R se admite que la aproximación de Jacob es válida para valores de “u” de hasta 0.01 aunque normalmente se toma u menor que 0.003, puede escribirse la fórmula de R expresada como la variación del radio de influencia con el tiempo. (Custodio/Llamas, 2001)

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{T * t}{S}}$$

T= Transmisividad en m²/día

t = Tiempo en días

S = Coeficiente de almacenamiento

- **Capacidad específica de un pozo (q)**

La capacidad específica o caudal específico de un pozo se define como la relación entre el caudal bombeado y el abatimiento en el pozo s_p . El caudal específico varía con el abatimiento, pero tiende a estabilizarse a medida que éste lo hace. (Custodio/Llamas, 2001)

$$q = \frac{Q}{s_p}$$

Sus unidades son por lo tanto m³/día/m ó l/s/m

- **Descenso específico de un pozo (s/q)**

El descenso producido por unidad de caudal extraído

- **Eficiencia de un pozo (E)**

Es la relación entre descensos teóricos y descensos reales (si no existiera pérdida de carga). Pero en el mundo real, aunque se cumplan los presupuestos básicos de la fórmula que estamos utilizando, el cono de descensos real siempre es más profundo de lo calculado en las inmediaciones del sondeo que bombea, y esa diferencia es especialmente notoria en el propio sondeo. (Salamanca, 2018). Entre estas pérdidas están:

- Pérdida en el propio acuífero, ya que en las proximidades del pozo la velocidad son bastantes altas, no se cumple la ley de Darcy.
- Pérdida en la rejilla, puede ser por un mal diseño
- Pérdida en la bomba y en el propio sondeo

Por tanto podemos ver que :

$$S_{\text{real}} = S_{\text{teórico}} + S_{\text{pérdidas}}$$

El descenso teórico siempre es una función lineal del caudal es decir que:

$$S_{\text{teórico}} = B \cdot Q$$

Donde B es una constante (para el acuífero donde está localizado el pozo y el caudal al que se está bombeando en un tiempo determinado), las pérdidas fueron estudiados por Jacob en 1946 donde dedujo que las pérdidas adicionales por rozamiento eran una función del caudal, aproximadamente función del cuadrado del caudal, o sea que:

$$S_{\text{pérdidas}} = C \cdot Q^2$$

Siendo C una constante que depende de la obra de captación, por tanto, el descenso observado en la realidad será la suma de las dos anteriores:

$$S_{\text{real}} = B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

Finalmente, se define la eficiencia del pozo como la relación entre el descenso teórico y el descenso real, o sea:

$$\text{Eficiencia} = \frac{1}{1 + \frac{C}{B}Q}$$

Caudal Crítico:

Caudal a partir del cual un pequeño incremento de caudal produce un gran aumento del descenso. También se le llama “caudal óptimo”, aunque en realidad éste debe ser ligeramente menor que el crítico. (Ilustración 9) (Johnson, 1975)

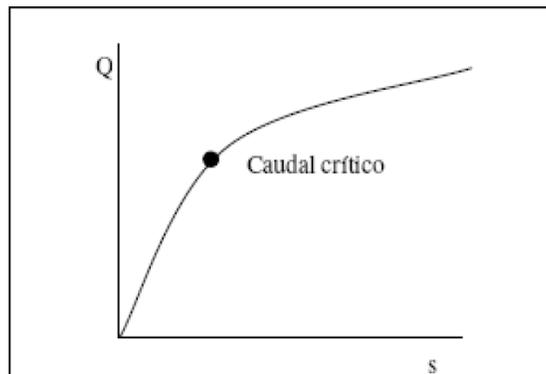


Ilustración 8 Esquema de caudal crítico

3.4 Pruebas de Bombeo

Las pruebas de bombeo se constituyen en una herramienta muy valiosa para el hidrogeólogo pues permite conocer los parámetros hidráulicos que rigen en el acuífero en estudio, (Ilustración No. 10).

Resulta importante el entender claramente el significado de los términos comunes que se emplean en las pruebas de bombeo de los pozos de agua subterránea. Algunos de los términos que se emplearán en esta investigación se definen a continuación: (Screens, 1975).

1. **Nivel estático del agua.** Este es el nivel a que el agua permanece dentro de un pozo cuando no se está extrayendo agua del acuífero por bombeo o descarga libre.
2. **Nivel de bombeo.** Este es el nivel a que se encuentra el agua dentro del pozo conforme avanza el bombeo, también se le denomina “nivel dinámico”
3. **Abatimiento.** El abatimiento en un pozo significa el descenso que experimenta el nivel de agua cuando se está bombeando o cuando el agua fluye naturalmente. El abatimiento es la diferencia, medida en metros, entre el nivel estático y el nivel dinámico. Este representa la carga, en metros de agua, que produce el flujo desde el acuífero hacia el pozo y al caudal que se está extrayendo.
4. **Abatimiento Residual.** Una vez que el bombeo se ha detenido, el nivel de agua asciende y trata de alcanzar el mismo nivel existente antes de empezar el bombeo. Durante este periodo de recuperación, la distancia a que el agua se halla por debajo del nivel inicial estático recibe el nombre de abatimiento residual.
5. **Rendimiento del pozo.** El rendimiento es el volumen de agua por unidad de tiempo que el pozo está descargando ya sea por bombeo o flujo natural. Se expresa generalmente en metros cúbicos por hora, litros por minuto. Etc.
6. **Eficiencia del pozo.** Se denomina eficiencia de un pozo a la relación entre el descenso teórico y el descenso real medido en un pozo.

7. **Capacidad Específica.** La capacidad específica de un pozo es igual a su descarga por unidad de abatimiento, lo cual se expresa por lo general en metros cúbicos o litros por hora y por metro de abatimiento.

Según Fetter (Fetter, 2001), es necesario examinar el pozo de dos diferentes maneras primeramente cómo es que se abate el nivel de agua en el pozo, y dos si es que se conoce la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero; sin embargo para conocer estos parámetros es necesario que se realicen pruebas tal como caudal constante, la prueba escalonada y la prueba de recuperación, realizada con una exhaustiva medida de abatimiento en el mismo tiempo en que se están implementando estas pruebas. (Ilustración 10)

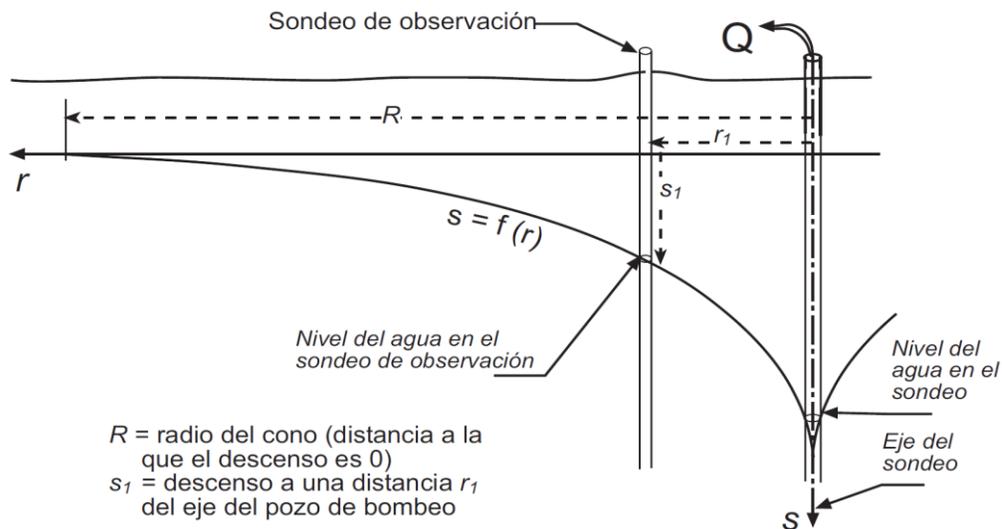


Ilustración 9 Esquema de bombeo de un pozo

Fuente: Hidráulica de Captaciones/Usal/Universidad de Salamanca España

Los valores de transmisividad y almacenamiento se encuentran de la siguiente forma:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s} \qquad S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

Donde:

T= Transmisividad (m²/día)

Q= Caudal m³/día

S=almacenamiento (sin dimensión)

t₀= tiempo donde intercepta el eje x, en día

r= Distancia desde el pozo de bombeo en metros

3.5 Pruebas de Resistividad Eléctrica

Si bien es cierto la resistividad eléctrica no es una propiedad Hidráulica de un pozo, es una herramienta que ayuda al hidrogeólogo al entendimiento del comportamiento de este y es muy estudiada en la hidrogeología para determinar la potencialidad de los suelos de almacenar agua.

La resistividad eléctrica es un método que mide el potencial eléctrico entre un punto y otro sobre la superficie de la tierra que es producido directamente por el flujo que corre a través del subsuelo (H. Robert Burger, 2006)

La resistividad eléctrica (R) de un material describe la dificultad que encuentra la corriente eléctrica a su paso por él (Ilustración No.5). De igual manera se puede definir la conductividad como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material.

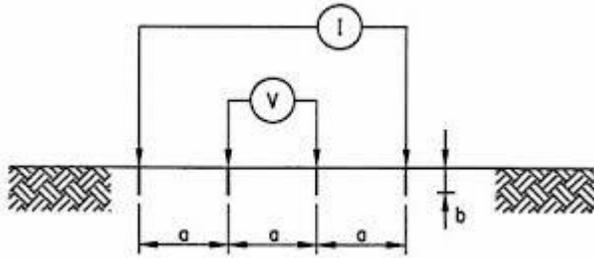


Ilustración 10 Esquema de un circuito eléctrico

Fuente: www.repository.lassalle.edu.co

La resistividad viene definida por:

$$R = \frac{V}{I} \frac{1}{2\pi d}$$

Donde R es la resistividad en ohm-m, V es el voltaje, I la intensidad y d es un factor de la distancia entre los electrodos que varía dependiendo del arreglo utilizado que puede ser: Wenner, Schlumberger o Dipolo. El método desarrollado para la investigación es el arreglo de Schlumberger que permite una mayor profundidad de exploración. El valor obtenido de resistividad representa la media de un gran volumen de suelo, ya que la red de corriente se extiende en profundidad. La tabla No.2 Nos proporciona algunos parámetros de comparación con los materiales encontrados en la zona de estudio.

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN Ω - M
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 - 100
Humus	10 - 150
Turba Húmeda	5 - 100
Arcilla Plástica	50 - 100
Marga y arcilla compacta	100 - 200
Margas del Jurásico	30 - 40
Arena arcillosa	50 - 500
Arena silíceo	200 - 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 - 500
Suelo pedregoso desnudo	300 - 500
Calizas blandas	100 - 300
Calizas compactas	1000 - 5000
Calizas agrietadas	500 - 1000
Pizarras	50 - 300
Granito y Greis procedentes de alteraciones	1500 - 10000
Roca Ignéa	5000 - 15000

Tabla 3 Valores de Resistividad de algunos materiales

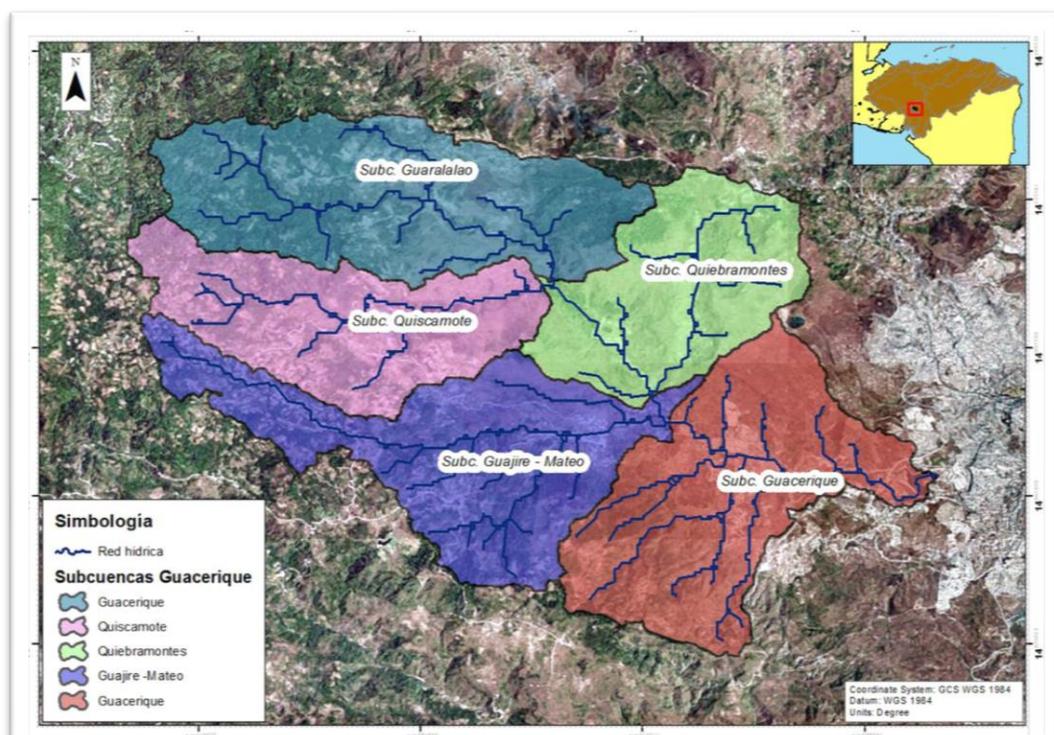
Fuente: Valores de resistividad, Hidrología subterránea, www.redalyc.org

4. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

4.1 Generalidades de la Subcuenca del Río Guacerique

Con una superficie de 191.724 Km² (19,172.4 ha) la subcuenca del río Guacerique forma parte de la cuenca del río Choluteca, se encuentra ubicada entre las coordenadas: 14.089775° y 14.089775 Latitud Norte y -87.337494 y -87.337494 Longitud Oeste; departamento de Francisco Morazán, entre los municipios de Lepaterique y el Distrito Central. El drenaje superficial se presenta de forma dendrítica, modelo que se caracteriza “por una ramificación irregular de corrientes tributarias que recuerda al modelo ramificado de un árbol caducifolio” (Mapa No.1). La red hídrica está conformada por cinco corrientes principales: Guaralalao (12.7 Km), Quiscamote (13.7 Km), Quiebramontes (7.6 Km), Guarije-Mateo (16.3 Km) y Guacerique (15.2 Km)¹. (CATIE/SANAA, 2014)

La subcuenca del río Guacerique tiene en la parte legal, la declaratoria de Zona Forestal Protegida mediante Acuerdo Ejecutivo No. 3, publicado en el Diario Oficial La Gaceta del 24 de Julio de 1972. también fue aprobado el Decreto Legislativo No. 87-87 en el cual se declara a la Montaña de Yerba Buena, como Reserva Biológica con su zona núcleo protegida a perpetuidad y su zona de amortiguamiento que es parte de los nacimientos del río Guacerique. Una decisión gubernamental fue tomada especificando que la subcuenca del río Guacerique debía ser utilizada para el abastecimiento de agua de Tegucigalpa y Comayagüela. (SOGREAH, 2004)



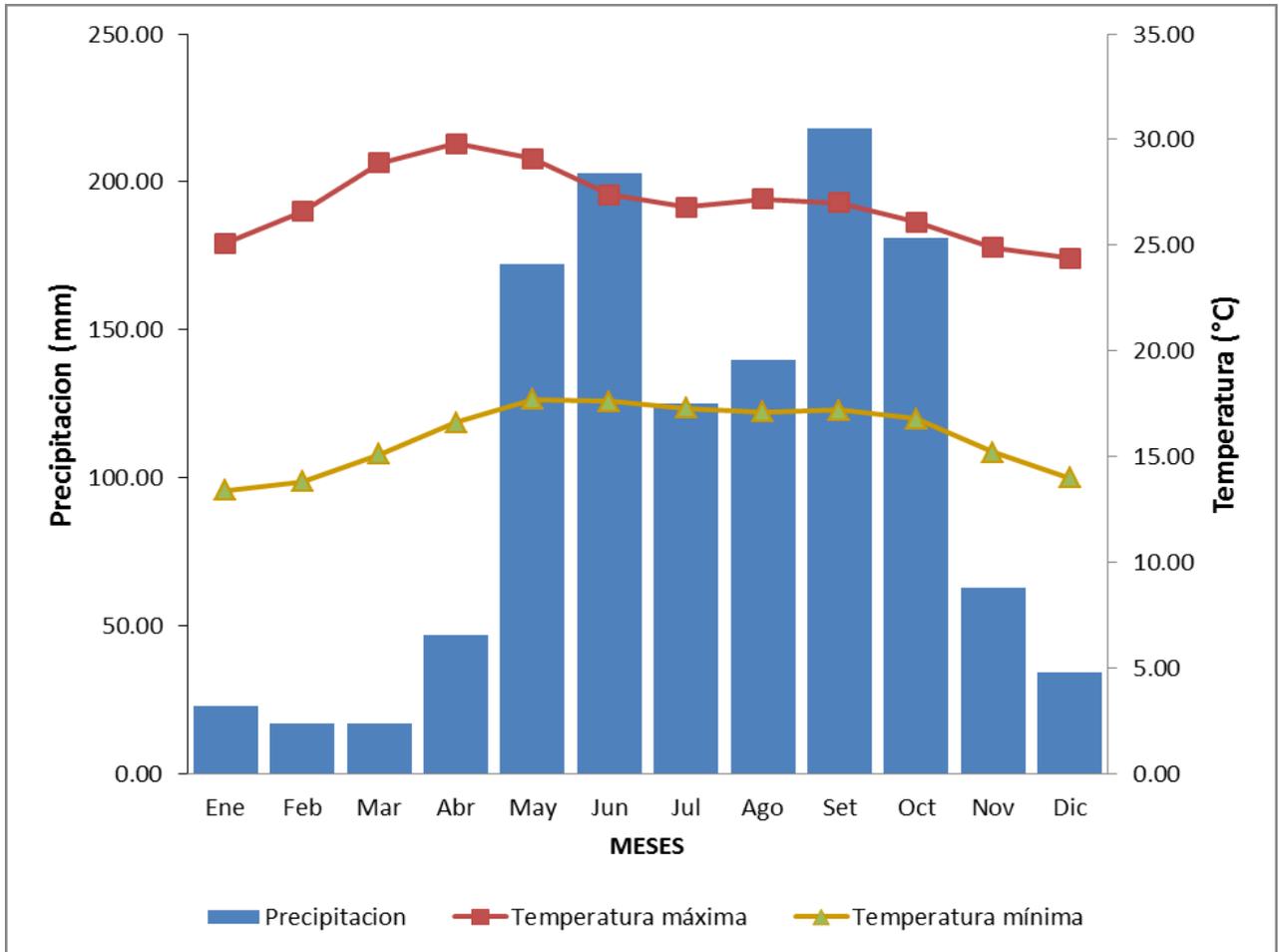
Mapa No. 1 Subcuenca hidrográfica del río Guacerique

Fuente: Informe Modelación Hidrológica bajo escenario de cambio Climático CATIE/SANAA/2014

Con alturas que van desde 1020 – 2000 msnm, elevación media de 1423 msnm, la topografía es irregular con pendientes de moderadas a fuertes (Mapa No.1).

4.1.1. Clima

La subcuenca presenta dos períodos bien marcados. La época seca de diciembre a abril y la lluviosa de mayo a noviembre. La precipitación promedio anual es de 1240 mm y temperatura media de 21.5 °C (World Bank 2014)2.

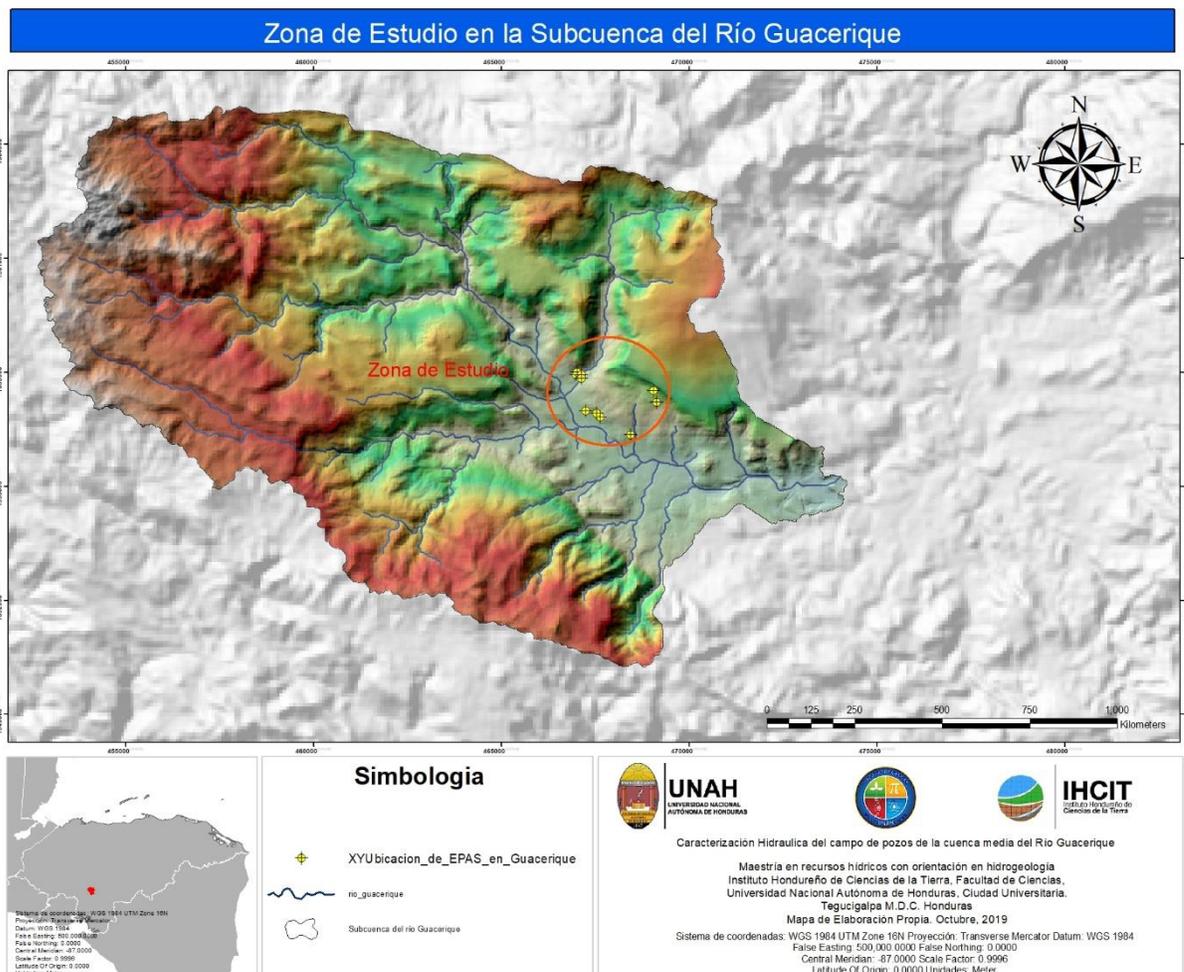


Gráfica No. 1 Clinograma cuenca del río Guacerique

Fuente: Tomado de Informe de World Bank 2014

4.2 Características Específicas de la zona de estudio

Para poder describir la situación del agua subterránea en un área determinada, se hace necesario elaborar mapas y clasificar su acuífero productor que son los depósitos de agua subterránea (Johnson, 1975). El mapa de delimitación del área se desarrollará con el uso de mapas de elevación digital. La zona de estudio se desarrollará en la parte media y baja de la subcuenca del río Guacerique exactamente donde se encuentran la Estructuras Productoras de Agua Subterráneas, (EPAS), pertenecientes al SANAA y cuyo acuífero deberá ser estudiado para garantizar un caudal sostenible de explotación a fin de incrementar la dotación de agua a las comunidades de la parte noreste de la ciudad. (Mapa No. 2)



Mapa No. 2 Ubicación del área de estudio dentro de la Subcuenca del río Guacerique

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Geología

En el estudio realizado por Energy Solution en el 2004-2005 y Eliseo Silva, (Silva, 2017) la geología superficial de la zona está constituido por:

Período Cuaternario: Constituido por los siguientes elementos:

Aluviales: Constituido por gravas y arenas procedentes de materiales preexistentes (riolitas, ignimbritas.) Aflora a lo largo del río Guacerique y en algunos arroyos ocupando las llanuras de inundación de los cauces fluviales, de escaso desarrollo en las cuencas medias y altas de las quebradas.

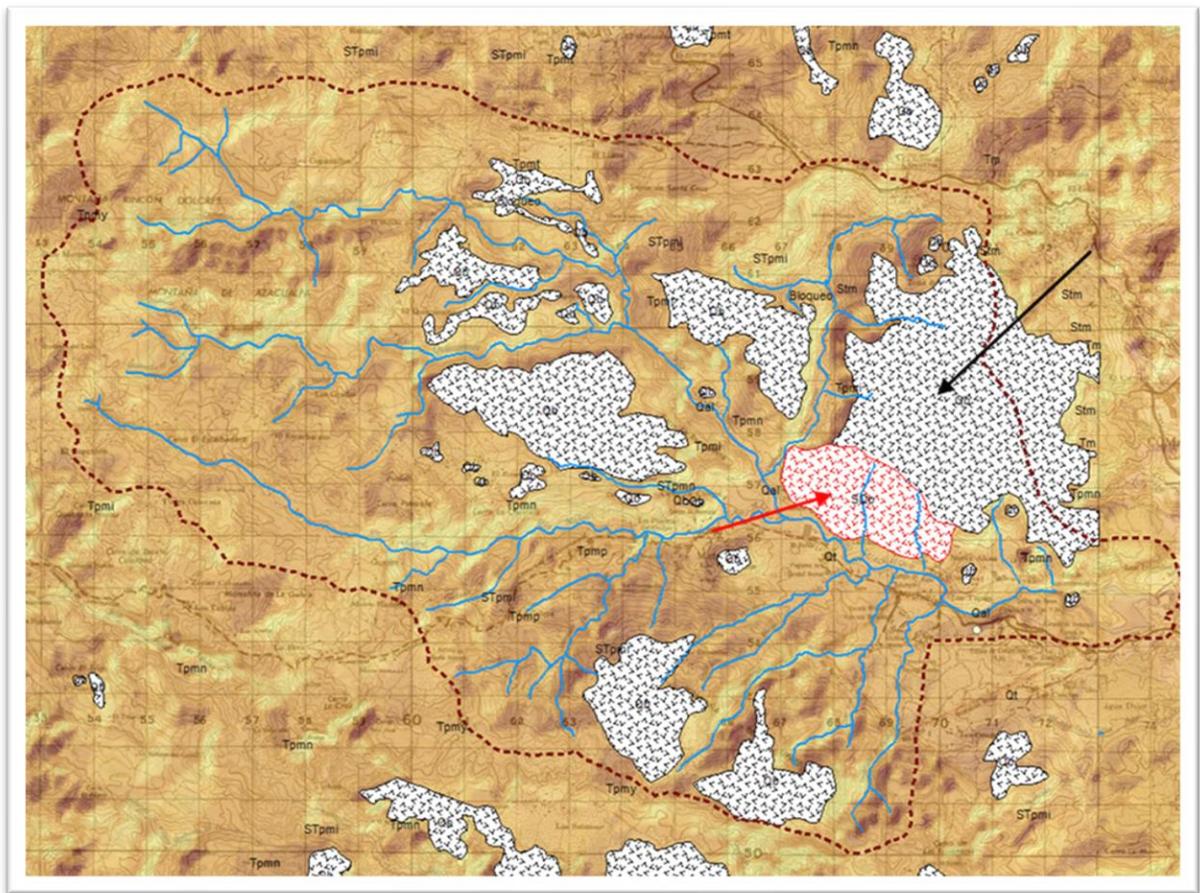
Coluviales (Q/Qb): Depósitos de ladera formados a partir de los deslizamientos, su litología está en función de las rocas preexistentes de la que derivaron.

Afloramientos pueden observarse en la margen izquierda del río Guacerique, en el área de El Aceituno y de la Colonia Mateo, el coluvial está compuesto mayoritariamente por gravas angulares a subangulares con matriz arcillosa procedentes de los deslizamientos de los basaltos. Gravass, arenas y niveles de arcilla provenientes de materiales volcánicos terciarios (riolitas, ignimbritas, tobas) están expuestos en la margen derecha del río en la zona de la subcuenca baja.

Los espesores pueden cambiar de pocos metros a algunas decenas de metros en el área de El Aceituno.



Terrazas (Qt): Con escaso espesor aparecen de forma dispersa en la margen derecha del Guacerique, son depósitos de arena, grava y guijarros con matriz arcillosa, de fragmentos de riolitas, ignimbritas y tobas.



Mapa No. 3 Mapa Geológica de la parte media y baja del río Guacerique

Elaboración: Ing. Eliseo Silva/COPECO

La litología de los materiales volcánicos corresponde a andesitas, riolitas, ignimbritas, tobas y materiales piroclásticos depositados en sucesivas coladas y en diferentes ambientes del paleo relieve. Intercaladas se presentan capas rojo-amarillentas que se corresponden a suelos calcinados por la colada superior. (Mapa No.3).

4.2.2 Hidrogeología y Unidades Hidrogeológicas

Desde el punto de vista hidrogeológico los sedimentos volcanoclasticos, debido a las discontinuidades que presentan, son heterogéneas lo que a gran escala se traduce en cierto grado de anisotropía, circunstancia que induce el desarrollo de un acuífero multicapa. Una

de las características hidrogeológicas de estos sedimentos es la presencia frecuente de barreras impermeables o poco permeables con disposición, unas veces casi paralela a los depósitos y otras veces perpendicular a las mismas. Estas barreras pueden dar lugar a cierta compartimentación de una misma formación geológica dando lugar a un conjunto de unidades hidrogeológicas más o menos aisladas desde el punto de vista hidráulico. (Solutions/SANAA, 2005)

En cuanto a las producciones de agua en los pozos en rocas volcánicas a veces pueden dar caudales altos con pequeños descensos, pero en la misma formación y a poca distancia pueden ser prácticamente secos. (SANAA, 2000).

Según el informe de SANAA en la zona de estudio existen diversas litologías conectadas hidráulicamente entre si, tanto lateralmente como en la vertical, por lo que el estado del conocimiento tanto publicado como propios, es complicado sino imposible definir límites precisos por lo que se considera una única unidad hidrogeológica el complejo volcánico constituido por los materiales de las unidades litológicas-hidrogeológicas que se encuentran en el área seleccionada y en toda la subcuenca del Guacerique aguas arriba de la presa Los Laureles. (Solutions/SANAA, 2005)

Las unidades litológicas -hidrogeológicas que se encuentran en el área de estudio son las siguientes:

- Unidad Tobas: Se encuentra incluida toda la secuencia de tobas ignimbritas y tobas asociadas de tipo andesítico-riolítico. Su permeabilidad es debido a la fracturación.
- Unidades Riodacitas: Está constituido por las riodacitas vitrificadas aflorantes en el área de la presa Los Laureles, su permeabilidad es debida a la escasa fracturación y a la intensa red de diaclasamiento.
- Unidad de tobas Retrabajadas: Esta formada por piroclastos, tufitas y sedimentos volcanoclásticos resedimentados en ambientes fluvio-lacustres. Se encuentran muy

fracturados debiendo a esto su permeabilidad, además de la debida a la alteración superficial que presentan. Afloran en la falda sur de El Pedregal.

- Unidad Basaltos: las coladas basálticas cuaternarias están representadas en El Pedregal y esporádicamente al sur del cauce del Guacerique, son coladas yuxtapuestas por diferentes etapas eruptivas. La permeabilidad se debe al intenso diaclasamiento existente en la fracturación.
- Unidad Depósitos Granulares: Está constituido por depósitos aluviales y coluviales aflorantes en los valles, terrazas y depósitos de ladera. Son depósitos granulares de gravas, arenas y arcillas procedentes de la erosión, transporte y depósito de los materiales volcánicos. Su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular.

Todas las unidades hidrogeológicas del área sobre la que se extiende la subcuenca del Guacerique están hidráulicamente interconectadas ya sea mediante fracturas o lateralmente. La alimentación subterránea se debe a la infiltración de parte de la lluvia efectiva. (Solutions/SANAA, 2005)

4.2.3 Inventario de los pozos de la zona

Los pozos para abastecimiento de agua para consumo humano suman en total de 17 pozos censados, en algunos casos con bajos rendimiento y en otro con presencia de algunos contaminantes en la tabla 4 se presentan el inventario de pozos localizados en el área de estudio.

Inventario de Pozos en la Subcuenca del río Guacerique							
ID	Codigo_Control	X	Y	Profundidad (m)	T ©	pH	CE (µS/cm)
11	PDC-043	468100	1555982	60.96	24.65	7.49	452
52	GU-NA-002	467969	1555979	108	28.08	7.26	421
64	GU-MAT-001	465334	1556476	66	28.14	6.98	233
67	GU-STC-002	469977	1555544	44.21	25.1	7.28	1024
68	GU-LTSC-001	468499	1555581	100			
101	Horcones	467278	1556962	184	26.3	7.31	359
104	PG_P4	468343	1556275	200	28	6.97	369
107	PG_QM1	467018	1557900	200	29	7.06	295
23	PDC-062-2015	468912	1554810	91.44	26.12	3.21	271
21	PDC-060-2015	469730	1555112	91.44	26.75	3.99	366
17	PDC-050-2015	472513	1554203	121.92	30.01	4.97	341
14	PDC-040-2015	473093	1554205	137.16	24.95	4.46	173
42	CHA-TMOR-001	474299	1553685	182.93	31.9	6.49	118.9
110	E-9-2	473993	1554436	60			
12	PDC-006-2015	475325	1554667	129.57	32.18	6.24	412
108	Laureles 1	474442	1555622	243.83	24	7.06	493
109	Laureles 2	474407	1555341	213.41	38	7.28	417

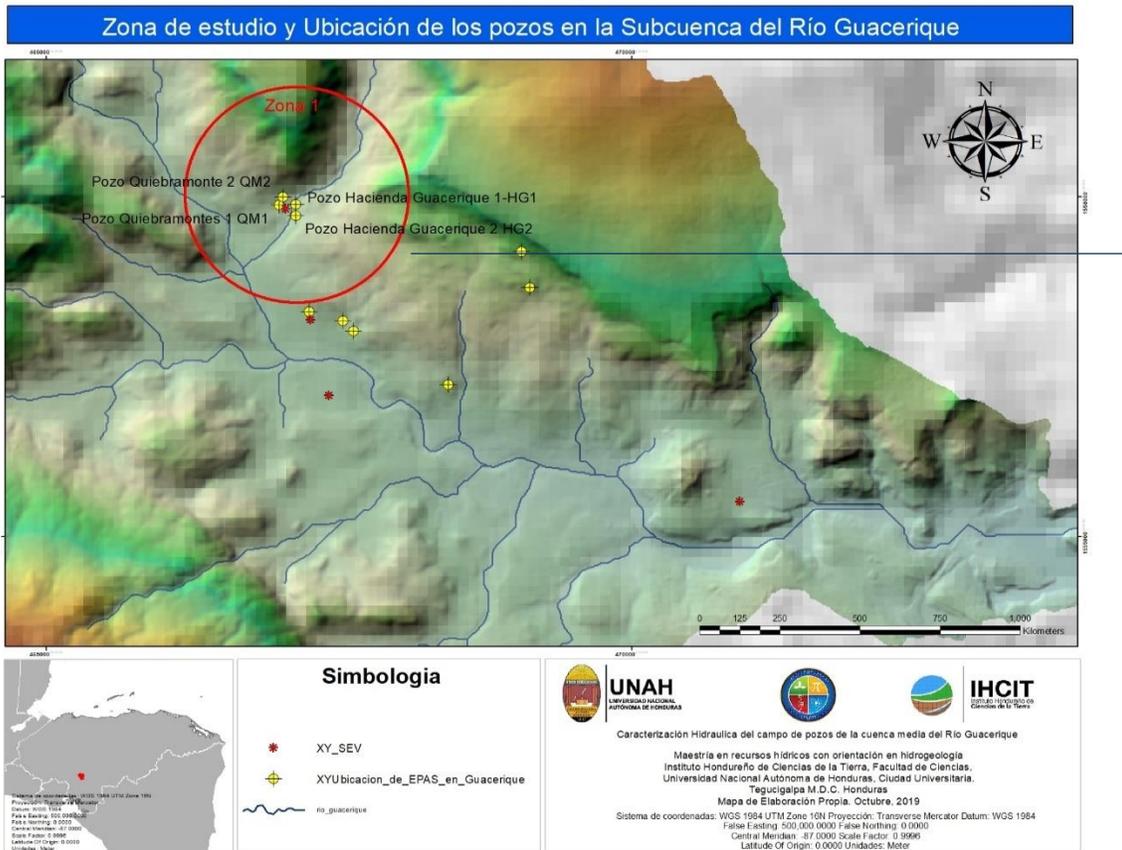
Tabla 4 Inventario de Pozos en la subcuenca del río Guacerique

Fuente: Informe de EPAS/SANAA

4.2.4 Hidráulica del acuífero

En los pozos perforados en el área de la subcuenca media del río Guacerique se han desarrollados pruebas de bombeo escalonadas y de caudal constante realizadas para el SANAA, en estas pruebas se determinaron los parámetros hidrogeológicos propios del acuífero, tales como la productividad, transmisividad y otras características específicas de las captaciones de aguas subterránea.

Los análisis y resultados se harán en la zona No.1 con las pruebas de bombeo que se realizaron en las EPAS del SANAA en el 2005 al 2006, los pozos elegidos para tal fin son: las EPAS Hacienda Guacerique 1 Hacienda Guacerique 2, Quiebramontes 1 y, Quiebramontes 2, la localización de las EPAS se muestra en el mapa No.4.



Mapa No. 4 Mapa de ubicación de las Estaciones Productoras de aguas subterráneas (EPAS) del SANAA

Fuente: Elaboración Propia

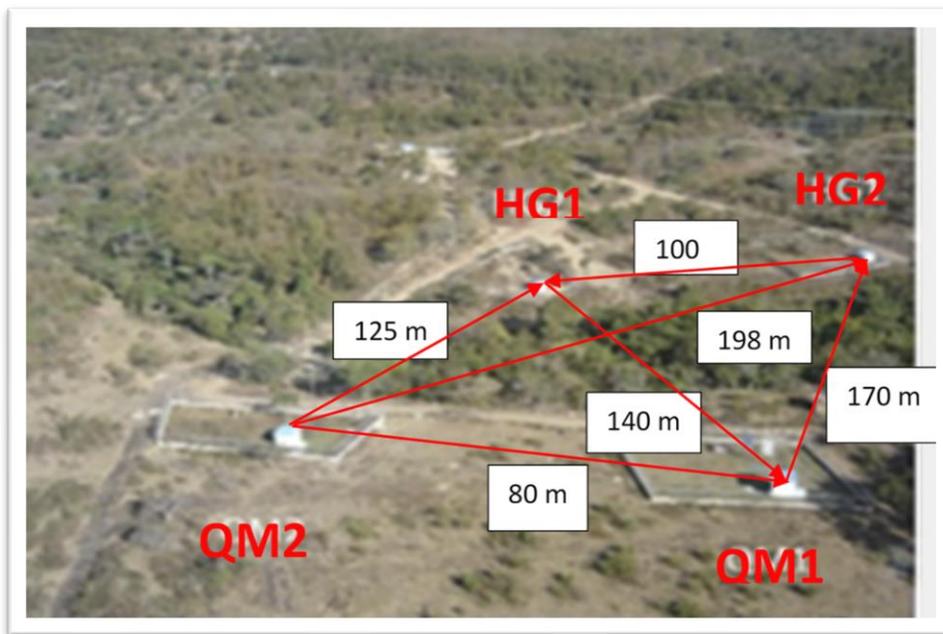


Foto 1 Posición de las EPAS Guacerique

5. CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se define el enfoque, alcance y diseño de la investigación. La metodología que se emplea presenta rigor científico, en ella se utilizan métodos y técnicas de forma sistematizada para alcanzar los objetivos planteados.

5.1 Tipo de Investigación

En cuanto al enfoque y metodología de la investigación, esta es de carácter descriptiva con enfoque dominante cuantitativo, dado que se recolectan datos para su posterior análisis que se caracteriza por ser cuantitativo principalmente y en menor escala realizar un análisis cualitativo.

Primordialmente la recolección de información se centró en las mediciones de variables hidrogeológicas que se orienten a la obtención de resultados sobre el comportamiento de la hidráulica del acuífero de la parte media del río Guacerique.

5.2 Diseño de la Investigación

Para un adecuado desarrollo de un proyecto de investigación es indispensable tener muy claro la metodología a seguir, en este caso se desarrolló un diagrama de flujo (Ilustración 11), en donde se pone en orden las acciones que se llevaron a cabo para lograr los objetivos propuesto, seguidamente se mostrará el proceso seguido para cada una de las fases de investigación.

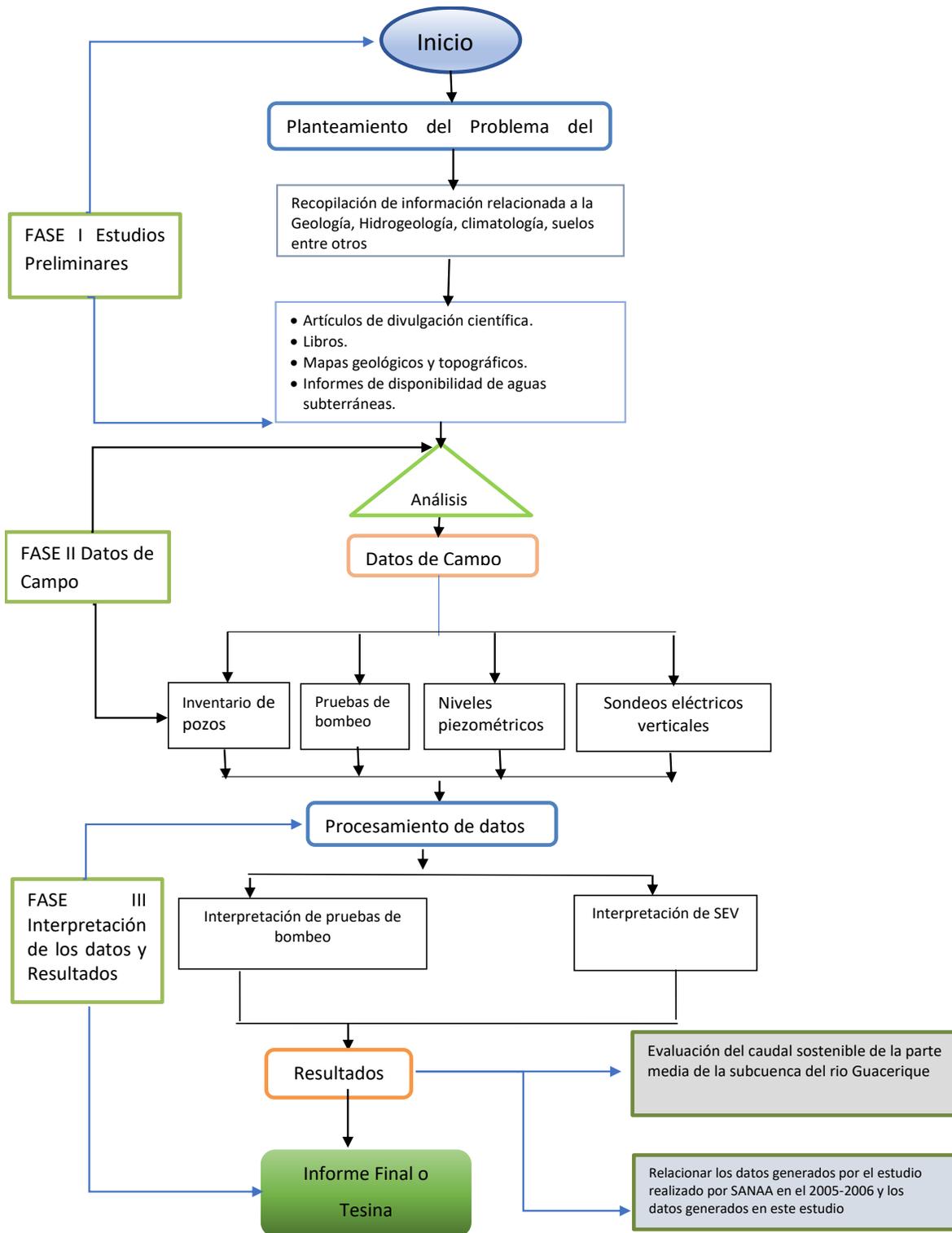


Ilustración 11 Diagrama de Flujo de los Procesos

Elaboración propia

5.3 Fase I

5.3.1 Recopilación de la Información

La información recopilada para esta investigación procede más que todo de los estudios realizados por el SANAA. Se recopiló la información climatológica, geológica, hidrogeológica y se analizaron todos los estudios realizados para la perforación de los pozos EPAS, se realizaron entrevistas con el personal técnico de la dependencia y se consultaron estudios y artículos de divulgación científica relacionados con el tema a tratar (Ilustración 12).

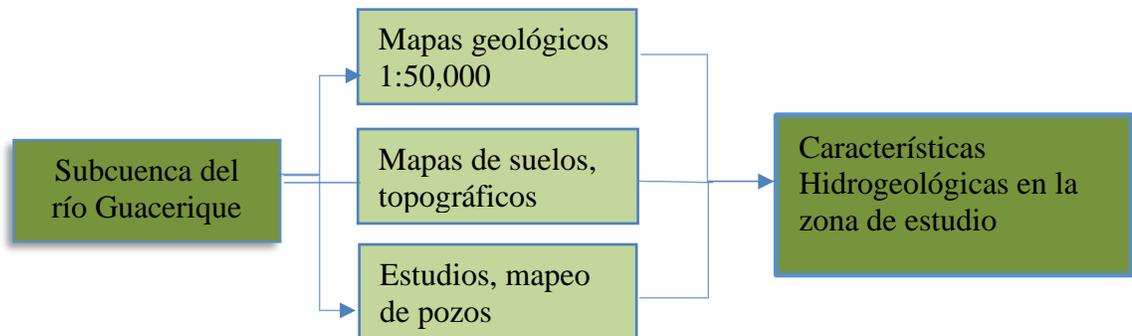


Ilustración 12 Diagrama de Flujo de los Procesos de Recopilación de información

Elaboración propia

5.4 Fase II

5.4.1 Trabajo de Campo

El Trabajo de campo consistió en una campaña de sondeos eléctricos verticales realizados en el 2011 lo que permitió verificar la información obtenida de estudios anteriores a la vez que se obtuvieron nuevos datos para complementar el conocimiento del área sujeta a esta investigación.

La información obtenida de campo fue las pruebas de bombeo realizadas en el 2005-2006, lo que permitió hacer un estudio del comportamiento hidráulico del acuífero en esa misma época.

A. Pruebas de bombeo

Con base en la ubicación y sobre todo que los pozos tengan las condiciones para realizar una prueba de bombeo (Ilustración 13). La prueba tiene el objetivo de obtener el dato de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. (Sanders, 1998).

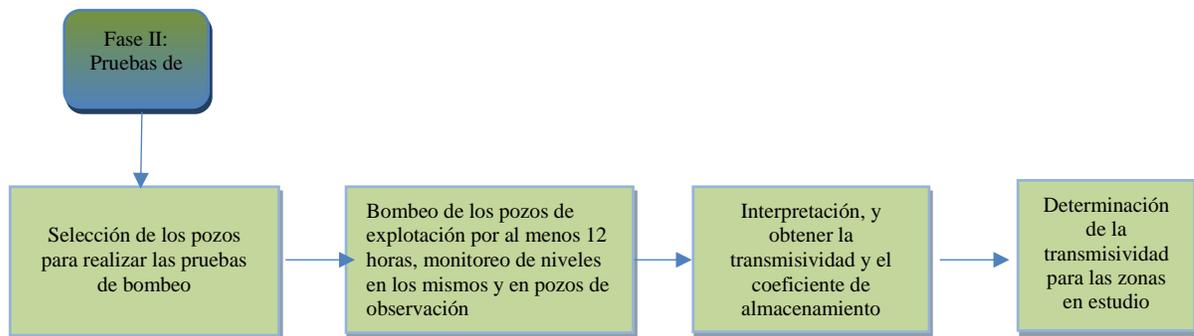


Ilustración 13 Metodología para la prueba de bombeo de pozos

Fuente: Manual de campo de hidrogeología, Laura Sanders

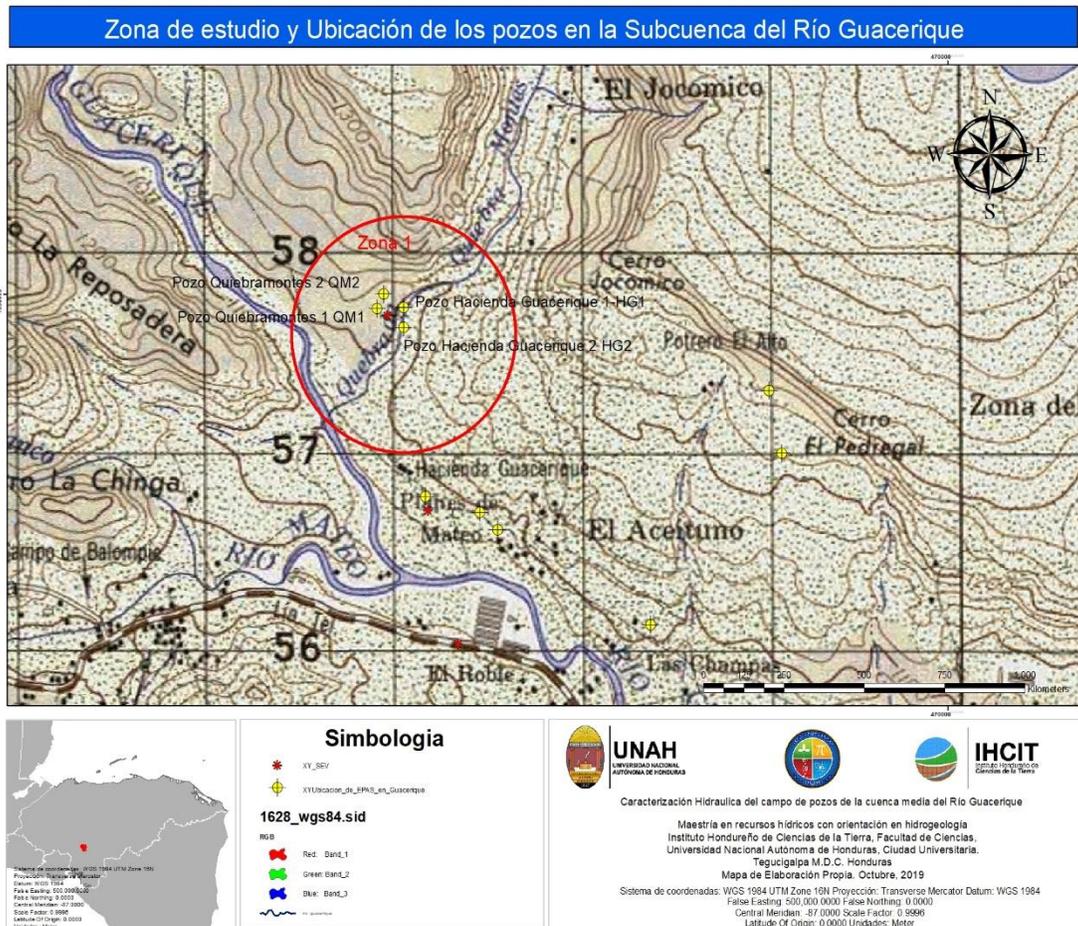
Para el análisis se partirá del hecho de que estamos ante un **acuífero confinado, homogéneo e isotrópico** de acuerdo al perfil litológico de cada pozo y en **régimen de no equilibrio** y que las pruebas de bombeo se realizaron con el propósito de extraer agua desde un pozo en condiciones controladas con un caudal bombeado constante y con la medición de los niveles de abatimiento, en este caso primeramente se realizó la prueba de caudal escalonada para conocer la capacidad específica del pozo, la eficiencia de cada pozo y la curva característica del pozo.

Para determinar las características hidráulicas del acuífero y de los pozos se hace uso de las pruebas de caudal constante bombeado en el pozo con uno o dos pozos de observación, y haciendo uso de la metodología de Theis y de Jacob-Cooper, propia para acuífero confinado podremos definir la transmisividad, coeficiente de almacenamiento, y radio de influencia

Las pruebas de bombeo fueron realizadas en los puntos mostrados en la tabla No. 5 y mapa No.5, en donde se presentan algunas características propias de los pozos y en donde se ha separado por zonas afines con respecto a la ubicación.

Nombre de Pozo	X	Y	Elevación (msnm)	Profundidad (m)	NE (m)	Zona
Quebramontes 1 – QM1	466988.459	1557924.318	1112.713	200	18.81	Zona 1
Quebramontes 2 – QM2	467022.84	1557997.952	1114.508	200	20.08	
Hacienda Guacerique 1 – HG1	467129.185	1557932.353	1111.456	203	17.65	
Hacienda Guacerique 2 – HG2	467129.29	1557830.943	1113.814	203	19.83	

Tabla 5 Zona de estudio del campo de pozos en la subcuenca del río Guacerique
Elaboración propia



Mapa No. 5 Ubicación de la zona de estudio

B. Sondeos Eléctricos Verticales

La metodología de la investigación será de acuerdo con el diagrama de proceso (Ilustración 14) y en los puntos mostrados en el mapa no.6

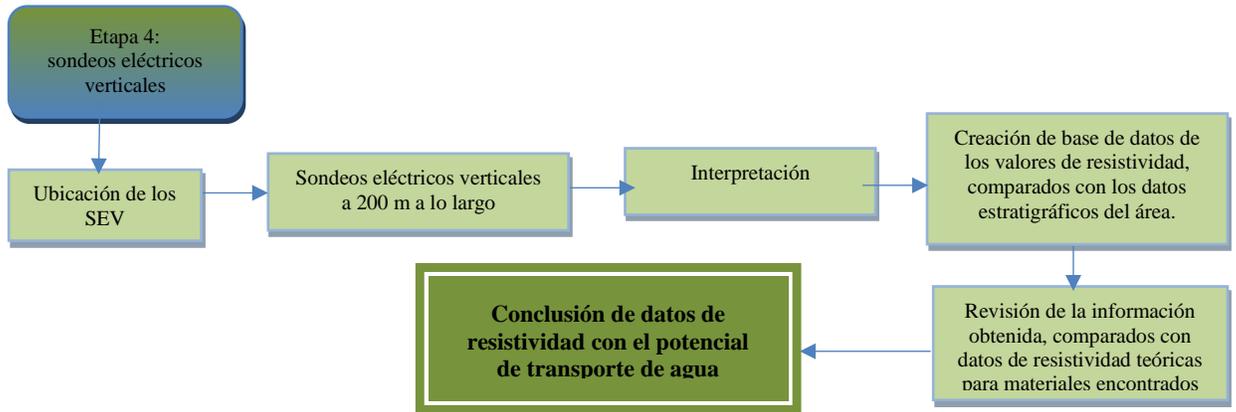
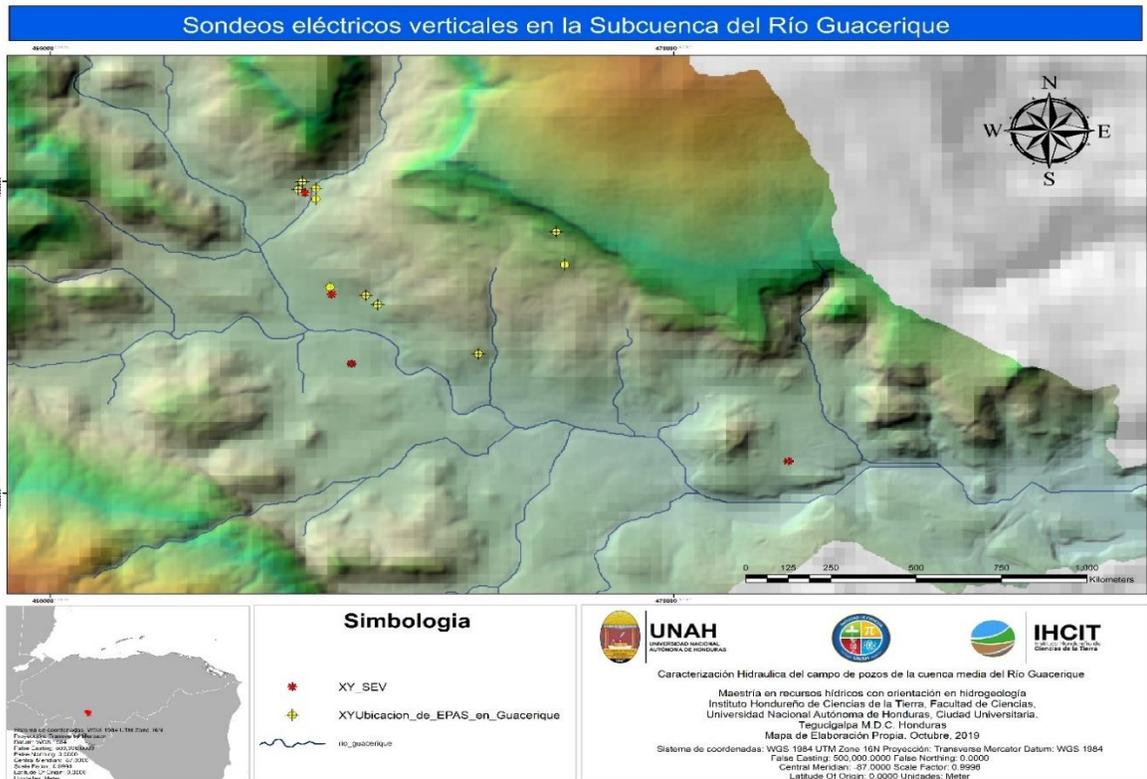


Ilustración 14 Metodología para la prueba de resistividad
Fuente: Manual de campo de hidrogeología, Laura Sanders



Mapa No. 6 Ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales

Fuente: Elaboración propia

6. CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

6.1 Perfil Litológico

Se cuenta con un perfil litológico que determina las formaciones que conforman los mantos acuíferos. Los perfiles litológicos son desarrollados y analizados en el momento de la perforación mediante muestras extraídas cada 5 pies de perforación este proceso fué efectuado por un experto en geología. Las formaciones mostradas en los perfiles litológicos entregados son poco descriptivas por lo que se asumen los materiales que son los más probables para conformar acuíferos de acuerdo con la experiencia.

Los pozos de la zona se encuentran en área geológica donde predomina rocas del “Grupo Padre Miguel”. Hidrogeológicamente en este grupo geológico se encuentran capas de sedimentos piroclásticas bien estratificadas depositadas en agua con abundantes "sillares", tobas de cenizas de caída libre y lahares interestratificados frecuentemente con abundante pómez; como se define en el mapa geológico y de fallas para la ciudad de Tegucigalpa. En el mapa hidrogeológico observamos que nos encontramos sobre una formación cuya unidad hidrogeológica imperante son las Tobas Fracturadas. (Solutions/SANAA, 2005)

El Resto de los pozos se encuentran en una capa que está, probablemente, por encima del Grupo Padre Miguel; el mapa indica que dichas capas son conformadas por materiales del período Cuaternario Complejo Intrusivo Santa Clara, provenientes de escombros de deslizamiento de tierras y no se definen en la literatura como perteneciente a ningún grupo geológico. El mapa hidrogeológico nacional por su escala (1:500,000) no detalla muy bien la zona, pero muestra que la formación encontrada en el área de los pozos está conformada por aluviones que conforman acuíferos freáticos. Algo que se tiene que comparar con los perfiles litológicos y en las pruebas de bombeo, ya que los indicios son que estamos en presencia de acuíferos en medio fracturado y que son confinados, artesianos, no surgentes; como veremos más adelante. Los perfiles litológicos se dividieron en las tres zonas dentro de la cuenca media y se pueden observar en el anexo No 1.

6.2 Sondeos Eléctricos verticales

Se realizaron 4 sondeos eléctricos verticales en 3 zonas dentro de la subcuenca. Estos sondeos se ubicaron en las cercanías a las captaciones de agua subterránea, a fin de determinar la resistividad del subsuelo y el número de capas de acuerdo con los valores de resistividad aparente. Los sondeos se realizaron en líneas de 200 metros que permitió un análisis de hasta 324 metros de profundidad. (Ver en anexo 2 los resultados gráficos de los SEV en cada capa de suelo).

Zona 1

- Hacienda Guacerique 1
- Hacienda Guacerique 2
- Quebramontes 1
- Quebramontes 2

Los resultados de la campaña de sondeos geofísicos permitieron corroborar las resistividades de los sedimentos de la columna litológica de los pozos obtenidos durante la perforación y asociarlos a otras áreas próximas dentro de la cuenca.

Clave	Profundidad (m)	Resistividad Ohm – m	Columna Litológica
Zona 1	0-1.1	20	<p>The diagram shows a vertical column of rock layers with the following descriptions from top to bottom:</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 m: Toba verdosa 5 m: Toba rojiza poco compacta 23 m: Toba azulada verdosa 28 m: Toba rojiza 33 m: Toba azulada verdosa 48 m: Toba azulada verdosa 50 m: Toba roja poco compacta 78 m: Toba roja poco compacta 155 m: Toba verdosa 170 m: Toba roja poco compacta 183 m: Toba verdosa semicompacta 188 m: Toba rojiza y verdosa 198 m: Toba verdosa 202 m: Toba roja compacta 253 m: Toba verdosa poco compacta
Guaco-3	1 a 10	27	
	12 a 19	25	
	19 a 27	9.5	
	27 a 39	3.6	
	39 a 59	4	
	59 a 84	42	
	84 a 99	6	
	99 a 124	61	
	124 a 174	7	
	174 a 274	19	
	274 a 324	14	
	324 a 374	4	

Tabla 6 valores de resistividad en Zona 1

Elaboración Propia

Zona 2

-
- Pozo Horcones 1
- Aceituno 1
- Aceituno 2

Clave	Profundidad (m)	Resistividad Ohm – m	Columna Litológica				
Zona 2	0-1.1	20	0			Toba verdosa arcillosa	
	1 a 9	27	5			Toba verdosa semi compacta	
	9 a 12	55	10				
	12 a 60		8	20			
				25			Toba verdosa
	Guaco-3			30			
				35			
				40			Toba arcillosa pardo rojiza
50							
60 a 85	80	60			Toba rojiza arenosa		
85 a 99	6	65					
99 a 124	31.5	70					
			80			Toba rojiza arcillosa	
			90				
			100				
			110				
			120				
			124				
	124 a 174	61					
	174 a 224	6					
	224 a 274	4					
	274 a 324	19					

Tabla 7 valores de resistividad en Zona 2

Elaboración Propia

- **Zona 3**

La componen las EPAS siguientes:

- Pozo Pinto
- Las Tapias
- Cerro Jocomico

Clave	Profundidad (m)	Resistividad Ohm – m	Columna Litológica			
Zona 3	0-1.1	23		0 m		
	1 a 2	13		10	Toba rojo parduzca arenosa	
	2 a 9	24		20		
	9 a 12	29		30	28 m	Toba arcillosa blanquecina
	12 a 27	40		32 m		
	27- 39	50		40	Toba parduzca arenosa	
	39 a 60	66		50	52 m	Toba blanquecina porosa
	60 a 84	103		60	67 m	
	84 a 99	64		70	92 m	Toba rojiza arenosa
	99 a 124	138		100	102 m	Toba verdosa poco compacta
Guaco-2	124 a 174	201	110		Toba rojo parduzca arenosa	
			120			
			130	132 m		
			140	142 m	Toba rojiza arcillosa	
			150		Toba verdosa semicompacta	
		160	167 m			
		170		Toba pardo rojiza compacta		
		180	182 m			
	174 a 224	85	190		Toba verdosa compacta	
			200	200 m		
	224 a 374	55				

Tabla 8 valores de resistividad en Zona 3

Elaboración Propia

Zona 4

Este último sondeo se realizó en el sitio denominado La Pollera, situado a la margen derecha del río Guacerique en la carretera a las Tapias, en vista que no se cuenta con un perfil litológico se tomara como referencia la geología encontrada en la zona.

La geología en la zona está entre: arenas, rocas y arcillas.

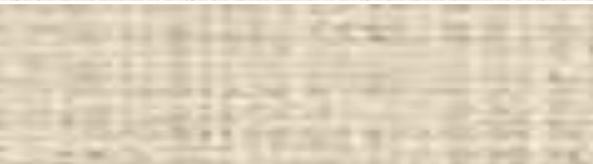
Clave	Profundidad (m)	Resistividad Ohm – m	Columna Litológica
Zona 4	0-1.1	16	
Guaco-4	1 a 12	16	
	12 a 19	19	
	19 a 27	19	
	27 a 39	16	
	39 a 59	12	
	59 a 84	10	
	84 a 124	15.5	
	124 a 174	6.3	
	174 a 224	13	
	224 a 374	13	

Tabla 9 valores de resistividad en Zona 4

Fuente: Elaboración propia

6.3 Pruebas de bombeo

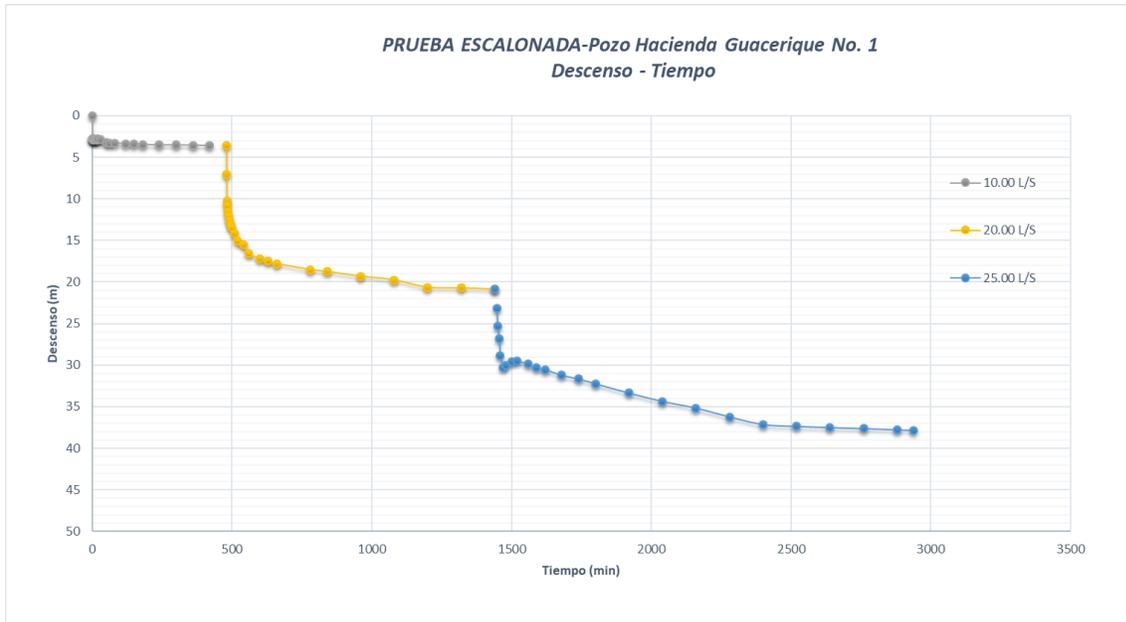
Para las pruebas de bombeo en el campo de pozos de la subcuenca media del río Guacerique, específicamente en la zona 1 de las EPAS Guacerique, se considera que si existen varias captaciones éstas se influyen unas con otras ya que el descenso en el punto de un acuífero es la suma de los descensos provocados por el mismo.

En un mismo campo pueden coincidir varios tipo de borde o barreras (se llaman barreras negativas a los bordes impermeables y barreras positivas a los de potencial constante), y el efecto que se tiene es la combinación de efectos a medida que el cono de descenso va alcanzando los distintos límites o radio de influencia. (Custodio/Llamas, 2001)

6.3.1 Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de Recuperación del Pozo Hacienda Guacerique 1 (HG1)

Se analizarán las características hidráulicas del Pozo HG1 mediante ensayos de pruebas de bombeo escalonado y variable, con dos pozos de observación: un piezómetro localizado a 28.71 m. del pozo y el pozo Quiebramontes 1 (QM1) localizado a 140 metros de distancia, a continuación, una descripción de cada una de estas pruebas o ensayos.

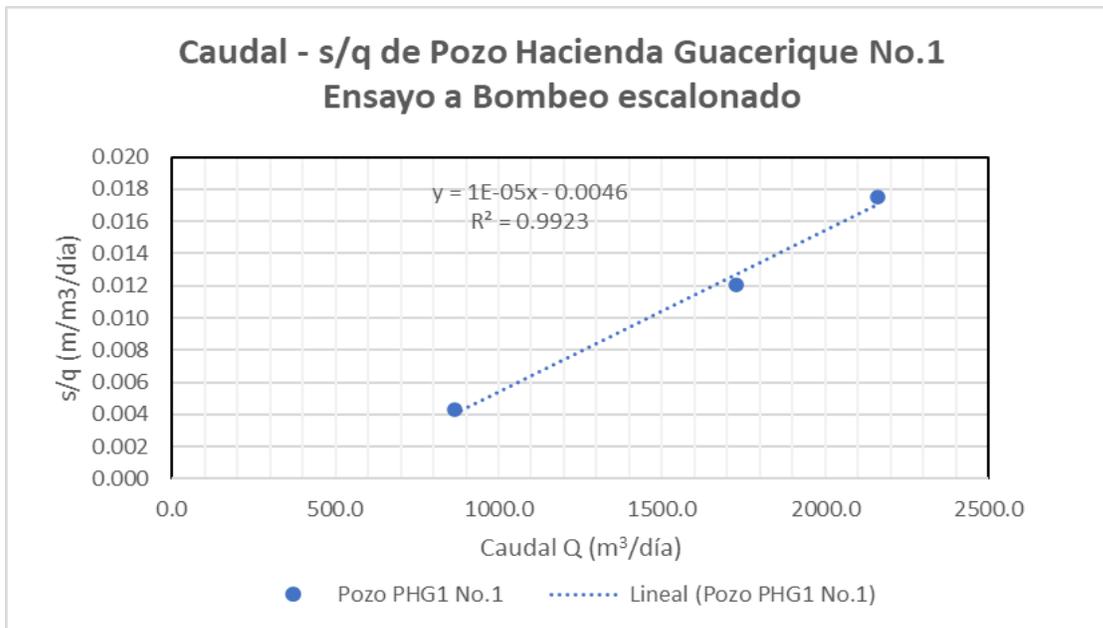
Prueba de caudal escalonado: Esta prueba se realizó a tres escalones en un lapso de 50 horas con caudales de 10, 20, y 25 l/s dando inicio el día 21 de abril, 2005, con descensos más o menos estabilizados en cada escalón (gráfica No.2). Con la prueba escalonada se pretende determinar el orden de magnitud de los descensos y caudales en los que se mueve el rendimiento del pozo y los datos del tercer escalón son los que sirven de base para seleccionar el caudal para la prueba a caudal constante de 25 l/s



Gráfica No. 2 Prueba escalonada descenso-tiempo de PHG1

Fuente: Elaboración propia

Se determinan las proyecciones de los descensos necesarios para poder determinar la capacidad específica en (q/s) y descenso específico del pozo (s/q), estos se plotean en un gráfico de Caudal (Q) en m³/s y descenso específico (Gráfica No.3), a fin de obtener la ecuación característica del pozo.



Gráfica No. 3 Caudal -descenso específico de Pozo Guacerique 1

Para la ecuación característica del pozo de la gráfica No 3 se toman los valores de caudal en m³/s y la inversa de la capacidad específica (descenso real/Q) de ese modo se determina la ecuación característica del pozo HG1 quedando planteada de la siguiente manera:

$$s = 0.0046Q + 1E-05 Q^2$$

El análisis de todas las variables involucradas en la prueba de caudal escalonado se presenta en la tabla No. 10

Caudal (l/s)	Abatimiento (m)	s proyec (m)	Δs	sreal	Caudal Especifico q/s (l/s/m)	Caudal Q M ³ /día	Descenso Especifico s/q (m/m ³ /día)	Eficiencia
10	3.61	3.7	3.61	3.7	2.8	864.0	0.004	34.74
20	20.86	20.9	17.16	20.86	1.0	1728.0	0.012	21.02
25	37.85		16.95	37.81	0.7	2160.0	0.018	17.56

Tabla 10 caudal Especifico y Eficiencia del pozo HG1

Fuente: Elaboración propia

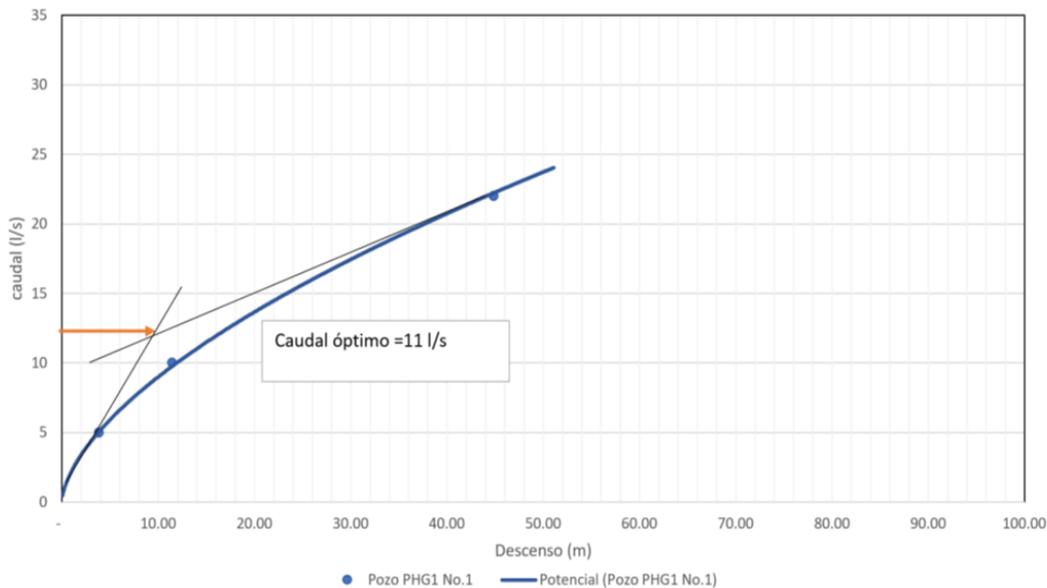
No obstante que en la tabla No. 10 se dan valores de eficiencia bastante bajos es necesario para este campo de pozos y en especial para este pozo objeto de análisis proporcionar un Caudal Critico que mejore la eficiencia del pozo sin presentar un gran descenso en el abatimiento del pozo.

Para realizar este análisis se toma la ecuación característica del pozo y con diferentes caudales (tabla No. 11), se calculan los descensos y la eficiencia. La gráfica No.4 de descenso y caudal con tendencia exponencial nos muestra el comportamiento del pozo a diferentes caudales en este caso 12 l/s sería un caudal crítico para la operación de este pozo, mejorando un poco la eficiencia del pozo.

Caudal (l/s)	Q M3/día)	Abatimiento (m)	Caudal Específico q/s (m ³ /s/m)	Descenso Específico s/q (m/m ³ /día)	Eficiencia
5	432	3.85	112.11	0.01	51.57
10	864	11.44	75.53	0.01	34.74
22	1900.8	44.87	42.36	0.02	19.48

Tabla 11 Caudal -descenso específico de Pozo Guacerique 1

Caudal crítico para HG1
Caudal - descenso de Pozo Hacienda Guacerique No.1
Ensayo a Bombeo escalonado

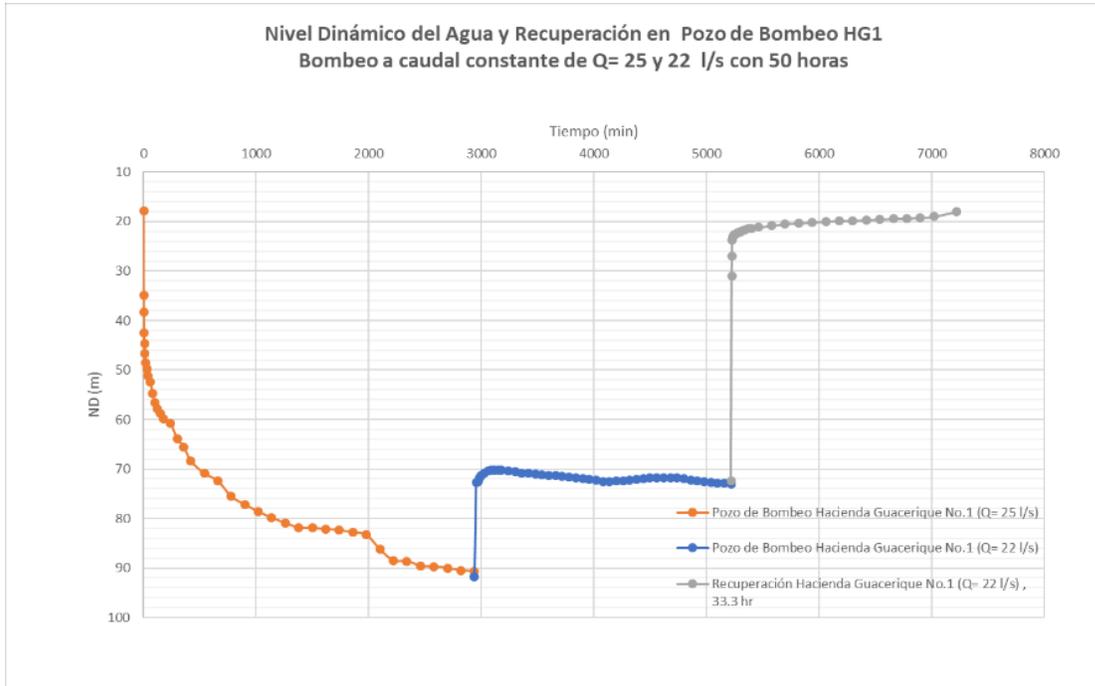


Gráfica No. 4 Caudal crítico para pozo HG1

Prueba de caudal constante: La prueba lo que pretende es determinar el orden de magnitud de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento tanto en el pozo como en el acuífero, siempre con los dos pozos de observación usados en la prueba escalonada y con 2,940 minutos o sea 50 horas de tiempo de bombeo.

La prueba de bombeo con 25 l/s se realizó durante 50 horas sin embargo con 25 l/s los descensos no parecen estabilizarse por tanto se decidió seguidamente un bombeo de caudal constante de 22 l/s en la gráfica No.5 se aprecia notablemente que el pozo se está

recuperando y se da una estabilización de nivel de agua. Los resultados de este análisis se presentan a continuación, y las tablas de datos en el anexo No. 3



Gráfica No. 5 Nivel dinámico Pozo HG1

Considerando la gráfica No.5. Descenso- tiempo de los dos caudales aforados y para facilitar la interpretación de los datos se usará los datos del tramo de 25 l/s. para obtener los valores de transmisividad y almacenamiento, a continuación, el análisis llevado a cabo:

- **Análisis con pozo de bombeo HG1 con descenso en QM1 localizado a 140 m. y piezómetro a 28.71 m del pozo de bombeo.**

De la tabla de caudal constante del anexo No. 3 se grafican los valores de tiempo en horas y descenso en metros en papel doble logaritmo a la cual se le sobrepone la curva reversa de no equilibrio de Theis, para finalmente encontrar los valores de transmisividad y almacenamiento.

Para la prueba de Jacob-Cooper los datos se llevan a un gráfico en papel semilogarítmico con descenso versus tiempo en horas y con los datos de la pendiente e intercepto de la línea de tendencia se obtienen los valores de: transmisividad, almacenamiento para cuando la función “u” del pozo se vuelve muy pequeña.

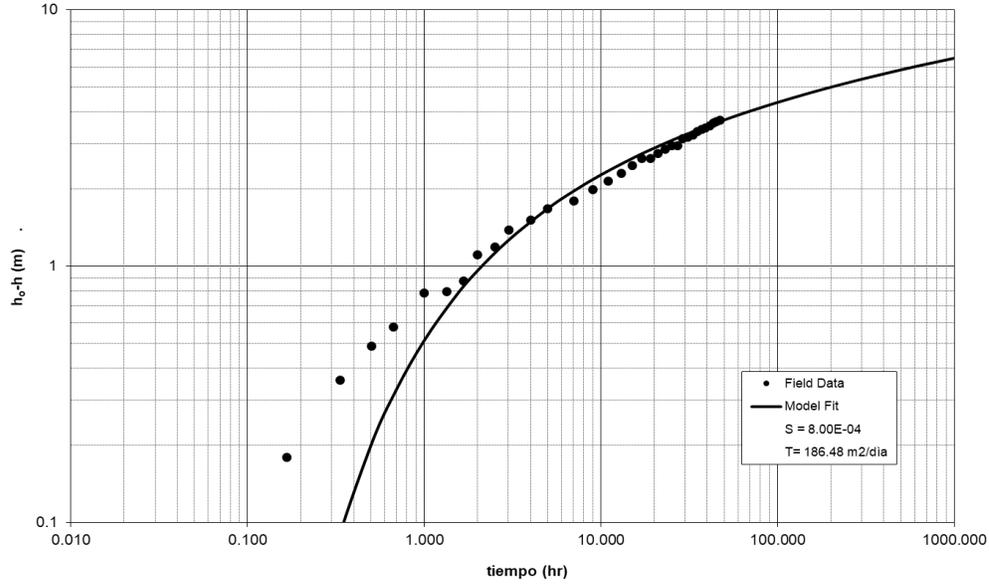
Caso No. 1 pozo de bombeo HG1 y descenso en QM1

Ambos pozos tienen una profundidad de 253 m de perforación con una entubación de 203 m. con un diámetro de 315 mm y con un ranurado de rejilla desde los 30 metros hasta 203m. con un total de 24 ranuras por lance de perforación con un ranurado de 2.5 x 150 mm (Energy /Solution).

Un esquema de la ubicación de los pozos, descensos y otra información relevante es presentada en la ilustración No 15 a fin de comprender el comportamiento de los parámetros hidráulicos en este campo de pozos, la gráfica No. 6 y 7 mostrará el comportamiento que tiene el pozo QM1 cuando en el pozo HG1 se está realizando la prueba de caudal constante de 25 l/s durante 50 horas, los descensos en QM1 se midieron durante 47 horas para así obtener los valores de transmisividad y almacenamiento del acuífero, que inmediatamente que cambia la tasa de caudal a 22 l/s estos valores cambian de 186 m²/día a 169.7 m²/día.

Para la prueba de Theis

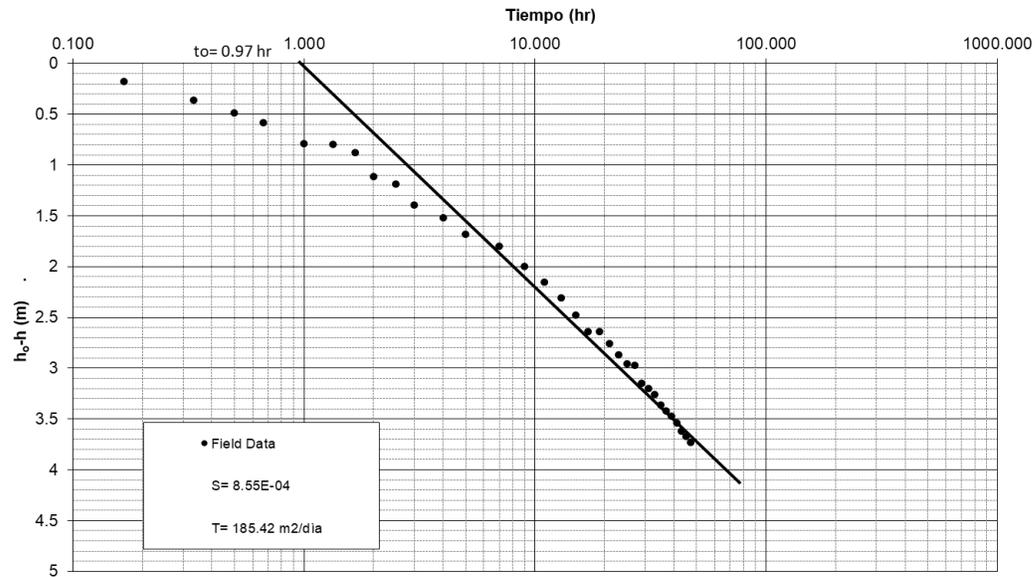
Prueba de bombeo con caudal constante
 Método de Theis, Pozo de bombeo HG1 con descenso en QM1
 Qcte= 25 l/s, Dist.= 140 m, 50 horas



Gráfica No. 6 Método de Theis para pozo HG1

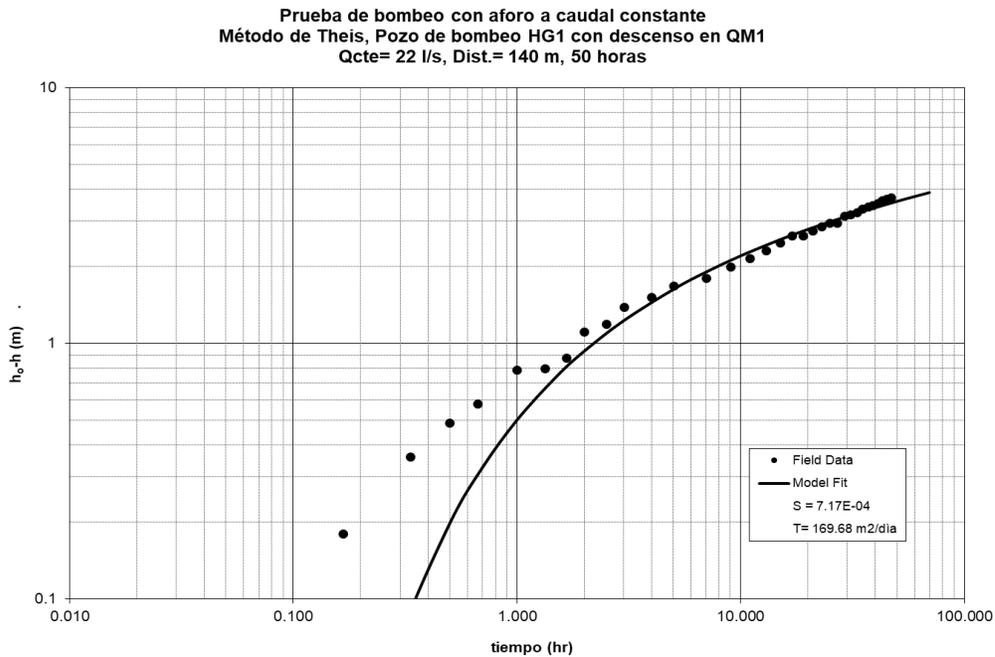
Para la prueba de Jacob-Cooper

Prueba de bombeo con aforo a caudal constante
 Método de Jacob-Cooper, pozo de bombeo HG1 con descenso en QM1
 Distancia = 140 m y Qcte= 25 l/s

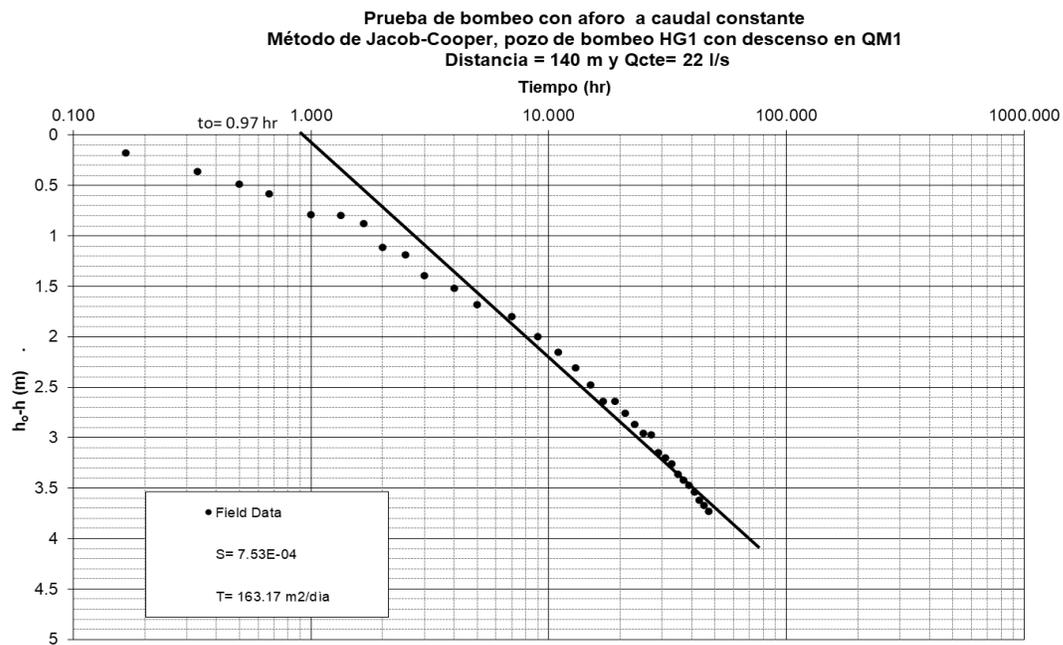


Gráfica No. 7 Método de Jacob-Cooper para pozo HG1

En vista de que los descensos no parecen estabilizarse se siguió durante 49 horas con un caudal más bajo de 22 L/s. (gráficas 8 y 9), con este caudal parece estabilizarse el pozo de bombeo.



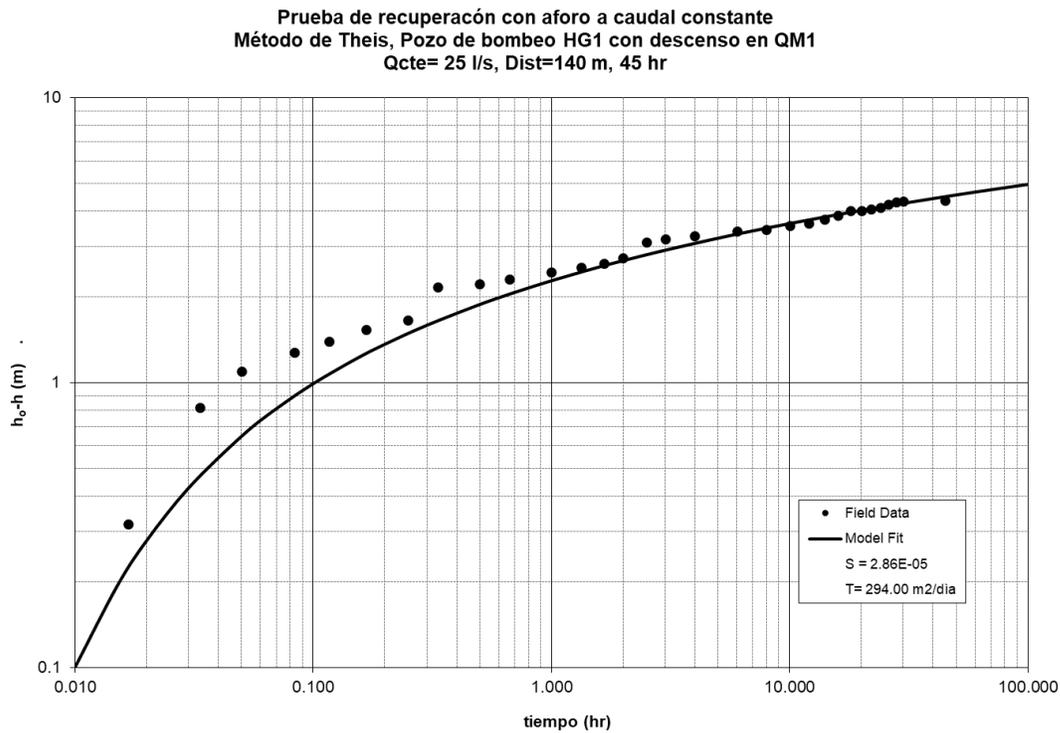
Gráfica No. 8 método de Theis para HG1 con descenso en QM1



Gráfica No. 9 Método de Jacob-Cooper, para HG1 con descenso en QM1

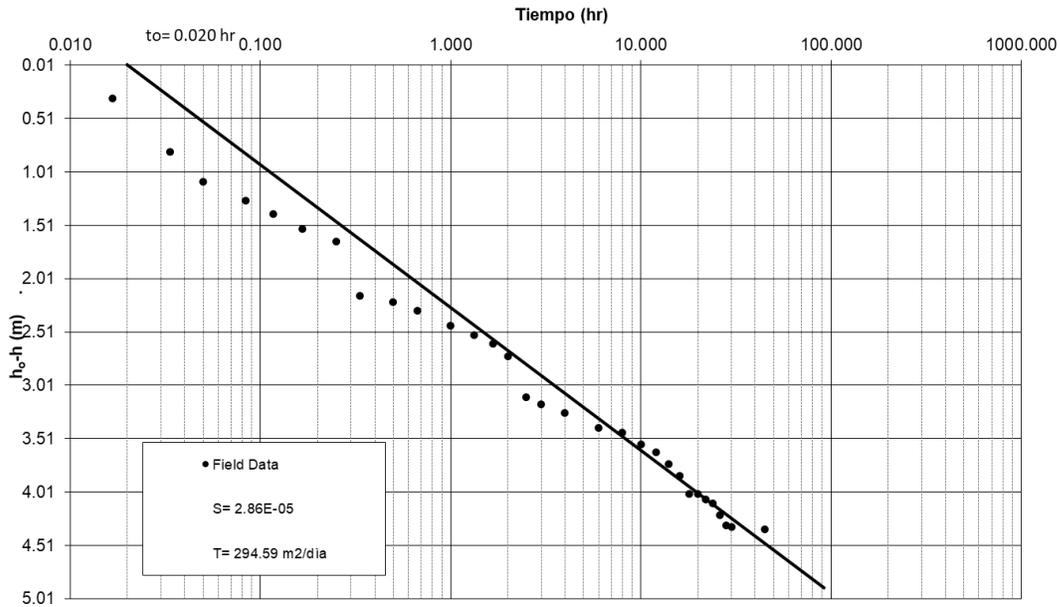
Una vez realizadas las pruebas de caudal constante se procede a verificar la recuperación del pozo de bombeo y el pozo de observación. (gráfica No. 10 y 11).

La recuperación en HG1 se realizó en 32 horas mientras que en QM1 y piezómetro en 45 horas con fecha de inicio el 29 de abril del 2005 con los resultados de transmisividad y almacenamiento presentados en la tabla No.12



Gráfica No. 10 prueba de recuperación en HG1 con descenso en QM1

Prueba de recuperación a caudal constante
Método de Jacob-Cooper, pozo de bombeo HG1 con descenso en QM1
Qcte= 25 l/s, Dist.= 140 m, 45 horas

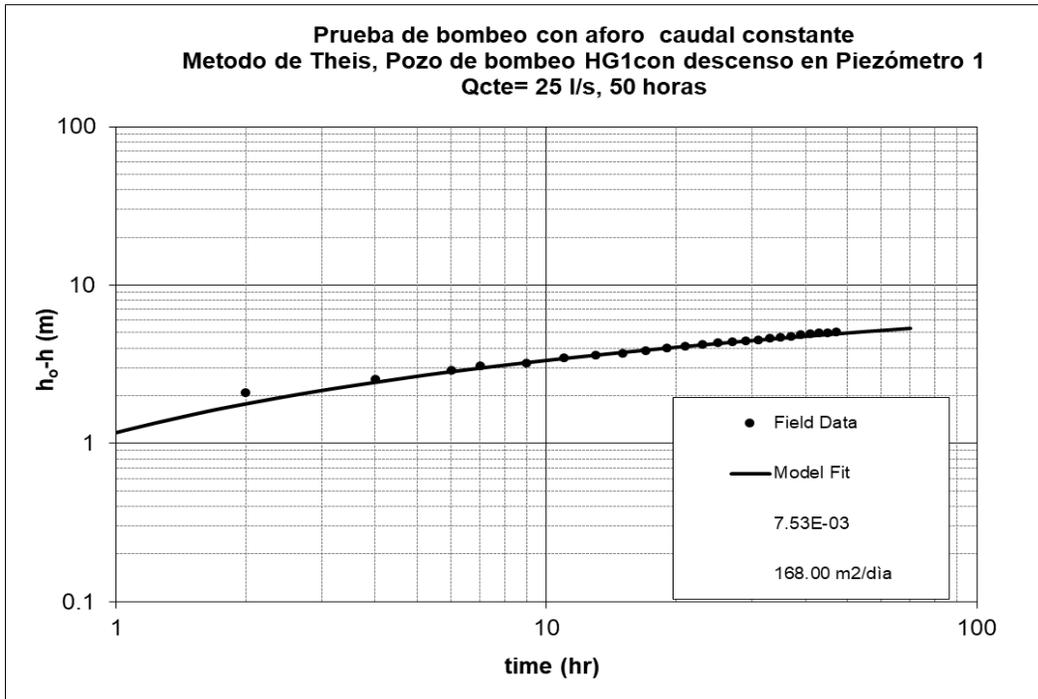


Gráfica No. 11 Prueba de recuperación en HG1 con descenso en QM1

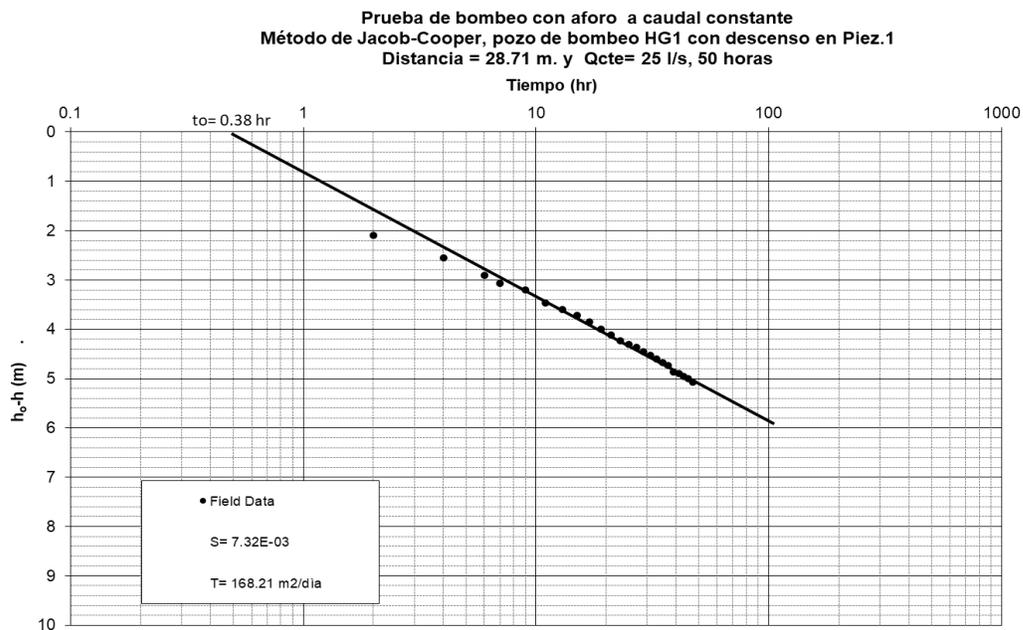
La recuperación del pozo Quiebramonte 1 (QM1) se da en los primeros minutos, alcanzó el nivel estático al final de las 45 horas y el pozo se había recuperado en un 93 %, con un incremento de la transmisividad de 295 $\text{m}^2/\text{día}$.

En la Tabla No.12 Se da un resumen de los resultados de estas pruebas.

Caso No. 2 Pozo de bombeo HG1 y descenso en Piezómetro



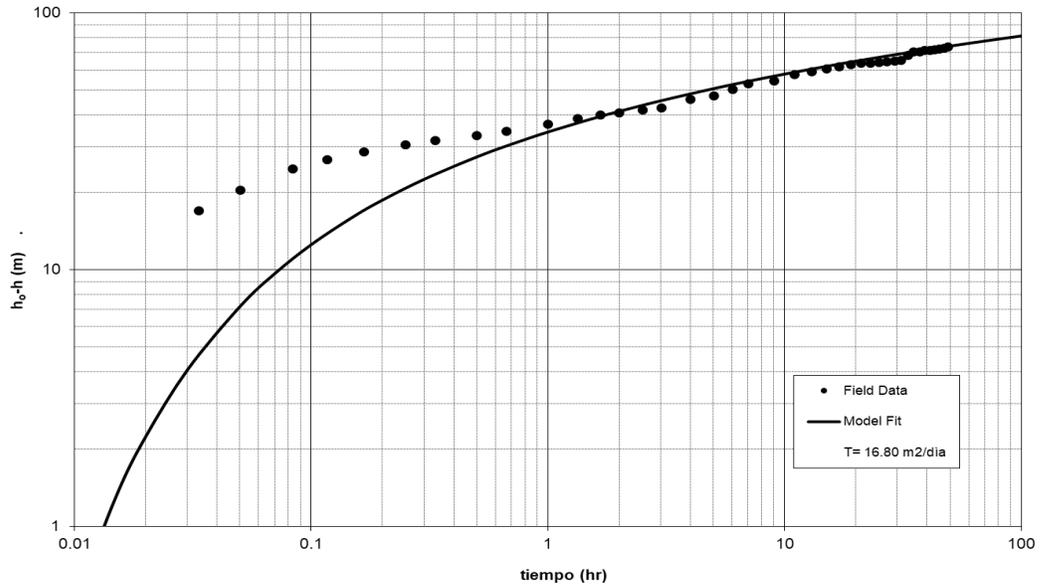
Gráfica No. 12 Método de Theis, Prueba de aforo a caudal constante descenso en piezómetro



Gráfica No. 13 Método de Jacob-Cooper, Prueba de aforo a caudal constante descenso en piezómetro

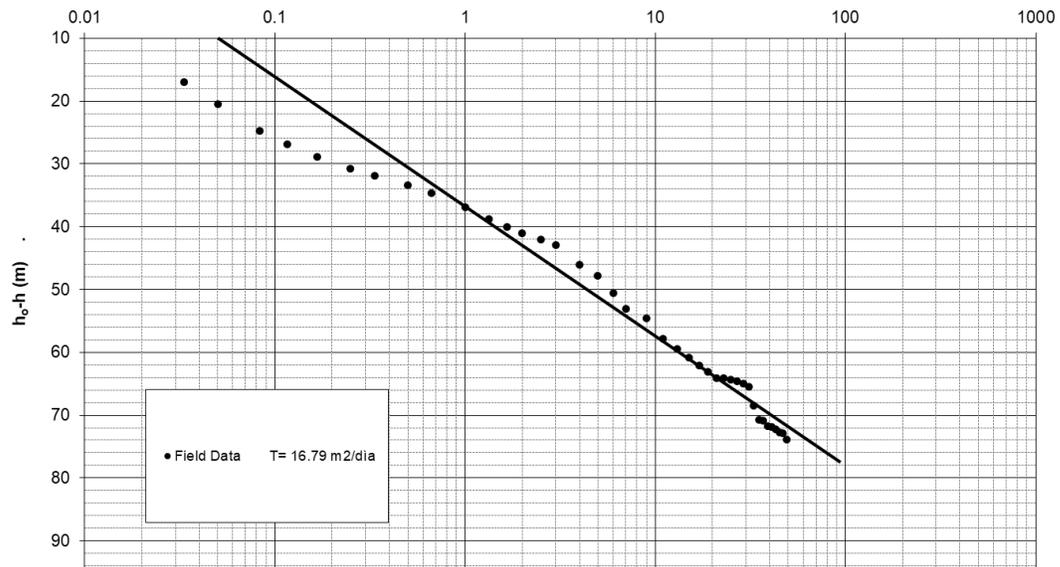
Caso No. 3 pozo de bombeo HG1 y descenso en el Propio pozo HG1

Prueba de bombeo a caudal constante
 Método de Theis, Pozo de bombeo HG1 con descenso en HG1
 Qcte= 25 l/s , 50 horas



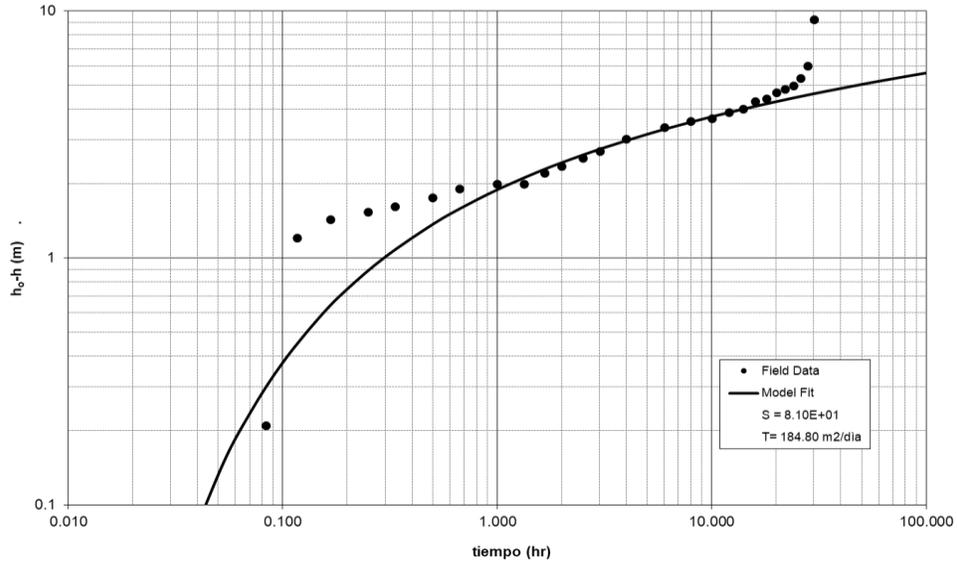
Gráfica No. 14 Prueba de caudal constante HG1 con descenso en HG1

Prueba de bombeo con aforo a caudal constante
 Método de Jacob-Cooper, pozo de bombeo HG1 con descenso en HG1
 Qcte= 25 l/s, 50 horas
 Tiempo (hr)



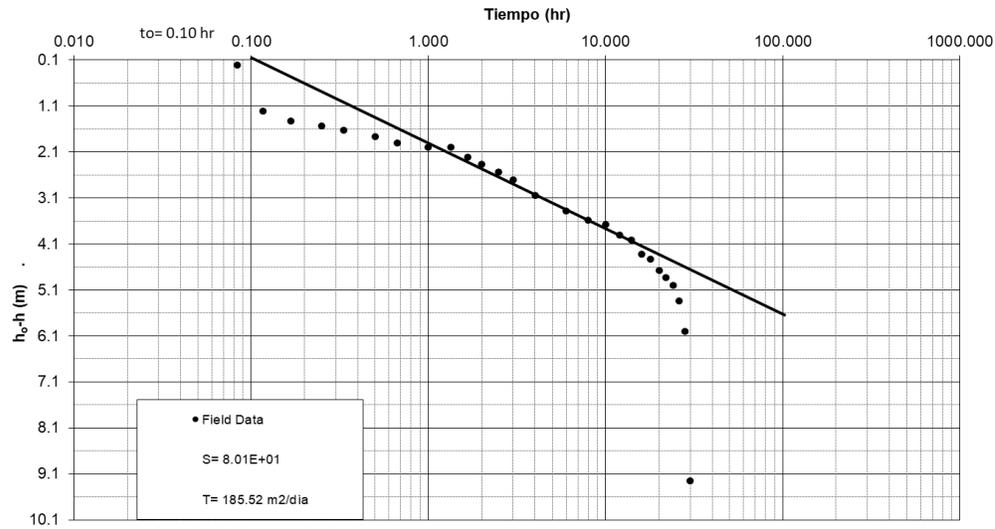
Gráfica No. 15 prueba de caudal constante HG1 con descenso en HG1

Prueba de recuperación con aforo a caudal constante
 Método de Theis, Pozo de bombeo HG1 con descenso en HG1
 $Q_{cte} = 22 \text{ l/s, } 45 \text{ hr}$



Gráfica No. 16 Prueba de recuperación pozo bombeo HG1 con descenso en HG1

Prueba de recuperación a caudal constante
 Método de Jacob-Cooper, pozo de bombeo HG1 con descenso en HG1
 $Q_{cte} = 22 \text{ l/s, } 45 \text{ horas}$



Gráfica No. 17 Prueba de recuperación pozo bombeo HG1 con descenso en HG1

Los resultados obtenidos de estos análisis y de las gráficas 12-17, son tabulados en la tabla No.12

Características Hidráulicas de bombeo caudal constante								
Pozo Hacienda Guacerique No.1 (HG1) con 25 l/s y 22 l/s								
25-29 de abril de 2005 (Duración = 50 horas)								
Pozo	Unidad	Pozo HG1	Pozo Piez. 1	Pozo de observación QM1		Prueba de Recuperación de los pozos		
Característ		Bombeo	observación	25 L/s	22 l/s	Pozo HG1	Pozo Piez. 1	Pobs. QM1
Profundidad	(m)	203	203	203	203	203	203	203
Diametro	(mm)	315	315	315	315	315	315	315
Caudal	L/s	25	25	25	22	22	22	22
Nivel Estático	(m)	17.79	23.9	18.78	18.78	72.32	29.45	23.14
Nivel Dinamico	(m)	91.70	28.97	22.56	22.56	18.00	23.5	19.1
Abatimiento	(m)	73.91	5.07	3.78	3.78	13.22	5.95	4.36
radio (r)	(m)	0.15	28.71	140	140	0.15	28.71	140
Capa acuífera superior	(m)	25	25	30	30	25		30
Capa acuífera inferior	(m)	10	10	15	15	10		15
Tiempo de prueba	(hr)	50	50	50	49	45	45	45
Transmisividad Theis	m ² /día	16.8	168	186.48	169.68	184.8		294
Almacenamiento Theis		-	7.53E-03	9.43E-04	7.17E-04			2.86E-05
Transmisividad Jacob-Cooper	m ² /día	16.79	168.21	185.42	163.17	185.52		294.59
Almacenamiento Jacob- Cooper			7.32E-03	8.55E-04	7.53E-04			2.86E-05
Conductividad Hidráulica sup	m/día	0.67	6.73	6.18	5.44			9.82
Conductividad Hidráulica infer	m/día	1.68	16.82	12.36	10.88			19.64
to	hora		0.38	0.97	0.97	0.1		2.02
to	día		0.016	0.040	0.040			0.084
% de Recuperación del pozo						98%		93%
Radio de Influencia (R)	(m)		28.21	140.43	140.38			

Tabla 12 características Hidráulicas a caudal constante HG1

Los resultados para el caudal de 22 l/s únicamente son analizados para el pozo QM1, tanto los descensos como la recuperación, esto porque se ve claramente en la gráfica No. 5. de caudal constante hay una estabilización de los niveles de agua en el pozo.

Los resultados de descenso en el pozo de bombeo y en los pozos de observación se pueden apreciar en la ilustración No. 15

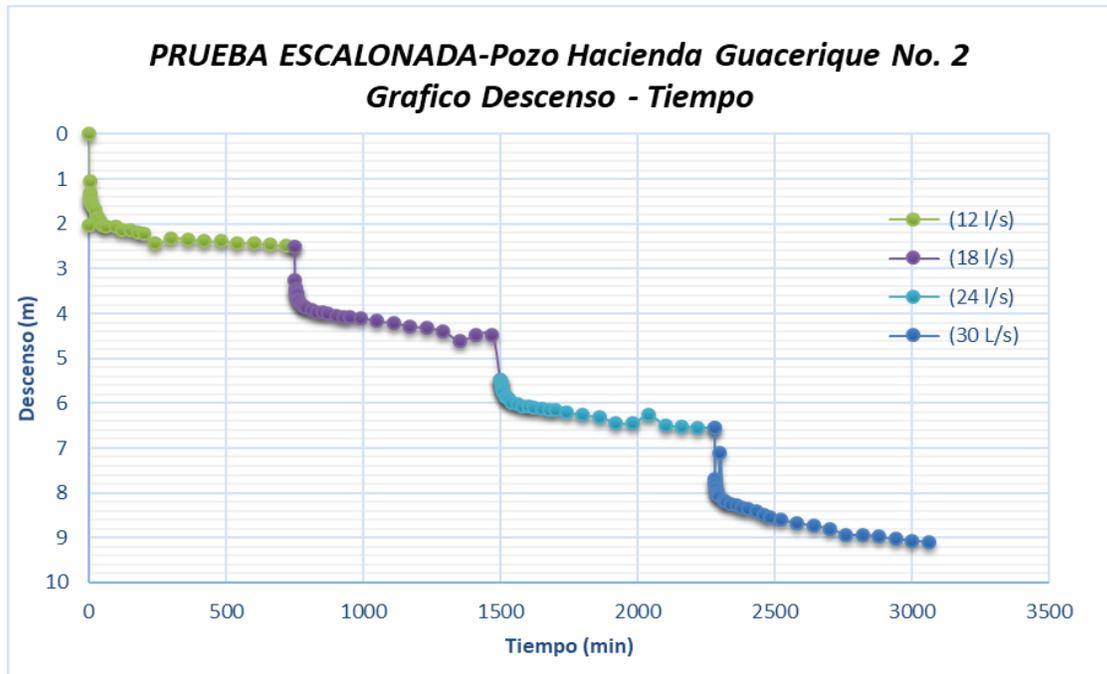
6.3.2 Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado y un aforo simultáneo a caudal constante en el Pozo Hacienda Guacerique 2 (HG2)

Se analizarán las características hidráulicas del Pozo HG2 mediante ensayos de pruebas de bombeo escalonado y variable, con un pozo de observación Hacienda Guacerique 1 (HG1), localizado a 100.0 m. del pozo, también se llevó a cabo un aforo simultáneo a caudal constante entre el pozo HG2 y pozo Quebramontes 1 (QM1).

El pozo HG2, tiene una profundidad de 200 m de perforación con una entubación de 203 m con un diámetro de 315 mm y con un ranurado de rejilla desde los 30 metros hasta 200 con un total de 24 ranuras por lance de perforación con un ranurado de 2.5 x 150 mm (Energy /Solution), con un nivel estático en el inicio de las pruebas de 20.97 m; a continuación, una descripción de cada una de estas pruebas o ensayos.

Prueba de caudal escalonado: Esta prueba se realizó a cuatro escalones en un lapso de 50 horas con caudales de 12, 18, 24 y 30 l/s dando inicio el día 22 de febrero, 2005, con descensos más o menos estabilizados en cada escalón. Con la prueba escalonada se pretende determinar el orden de magnitud de los descensos y caudales en los que se mueve el rendimiento del pozo y los datos del cuarto escalón son los que sirven de base para seleccionar el caudal para la prueba a caudal constante de 30 l/s, este último escalón se desarrolló en 13 horas.

La grafica No.18. Muestra la forma en que se comportó el pozo durante la prueba, con escalones más o menos estabilizados, el último escalón de esta prueba es la base para determinar el caudal para la prueba de caudal constante, de 30 l/s.



Gráfica No. 18 Descenso-tiempo de caudal escalonado PH2

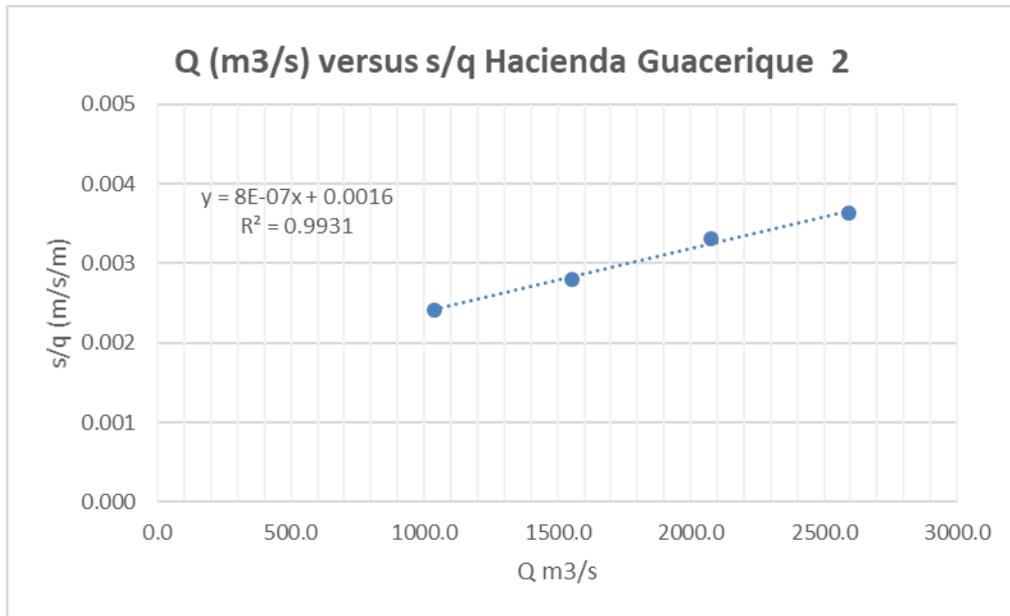
Fuente: Elaboración propia

Para determinar los valores característicos de este pozo se determina las proyecciones de los descensos de cada escalón, de esa manera poder estimar la capacidad específica del pozo en (q/s), el descenso específico s/q ($m/m^3/día$) lo que nos lleva a un gráfico de Caudal (Q) en m^3/s y descenso específico (Gráfica No.19), a fin de obtener la ecuación característica del pozo (tabla No.13).

Caudal (l/s)	Abatimiento (m)	s proyec (m)	Δs	sreal	q/s (l/s/m)	Q ($m^3/día$)	s/q ($m/m^3/s$)	Eficiencia
12	2.51	2.65	2.51	2.51	4.8	1036.8	0.002	65.86
18	4.49	4.55	1.84	4.35	4.1	1555.2	0.003	56.26
24	6.55	6.55	2	6.86	3.5	2073.6	0.003	49.10
30	9.1		2.55	9.41	3.2	2592.0	0.004	43.55

Tabla 13 Caudal específico y Eficiencia del pozo HG2

Fuente: Elaboración propia



Gráfica No. 19 Caudal específico y Caudal
Fuente: Elaboración propia

Con los valores de la ecuación característica del pozo mostrados en la gráfica No 19 de caudal en m^3/s y la inversa de la capacidad específica (descenso real/Q) y se determina la ecuación característica del pozo HG2 la cual queda planteada de la siguiente manera:

$$s = 0.0016Q + 8E-07 Q^2$$

La curva característica de este pozo nos permite determinar la eficiencia de este y además el resultado involucra las variables derivadas de la prueba escalonada los cuales se presentan en la tabla No. 13

Caudal critico

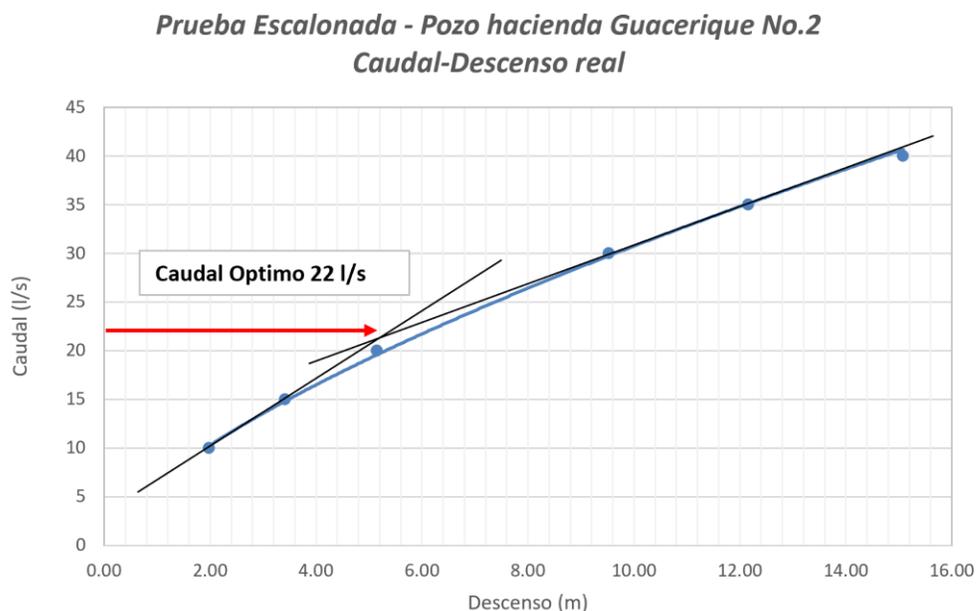
No obstante que la tabla No.13. Se dan valores de eficiencia, es necesario para este campo de pozos y en especial para este pozo objeto de análisis, proporcionar un Caudal Crítico que mejore la eficiencia del pozo sin presentar un gran descenso en el abatimiento del pozo.

Para realizar este análisis se toma la ecuación característica del pozo y a diferentes caudales se calcula nuevamente los valores expresados en la tabla No. 13 anterior, luego se lleva a una gráfica No.20 de descenso caudal con tendencia exponencial que nos muestra el comportamiento del pozo a diferentes caudales con mejores eficiencias en este caso 22 l/s sería un caudal óptimo para la operación de este pozo, mejorando a un 50% la eficiencia del pozo, el análisis se presenta en la tabla No.14.

Caudal (l/s)	Caudal (m3/día)	Descenso (m)	q/s (m3/día/m)	Descenso Específico s/q (m/m ³ /día)	Eficiencia %
10	864	1.98	436.45	0.0023	69.83
15	1296	3.42	379.25	0.0026	60.68
20	1728	5.15	335.30	0.0030	53.65
30	2592	9.52	272.21	0.0037	43.55
35	3024	12.15	248.81	0.0040	39.81
40	3456	15.08	229.11	0.0044	36.66

Tabla 14 Caudal, Eficiencia del pozo HG2

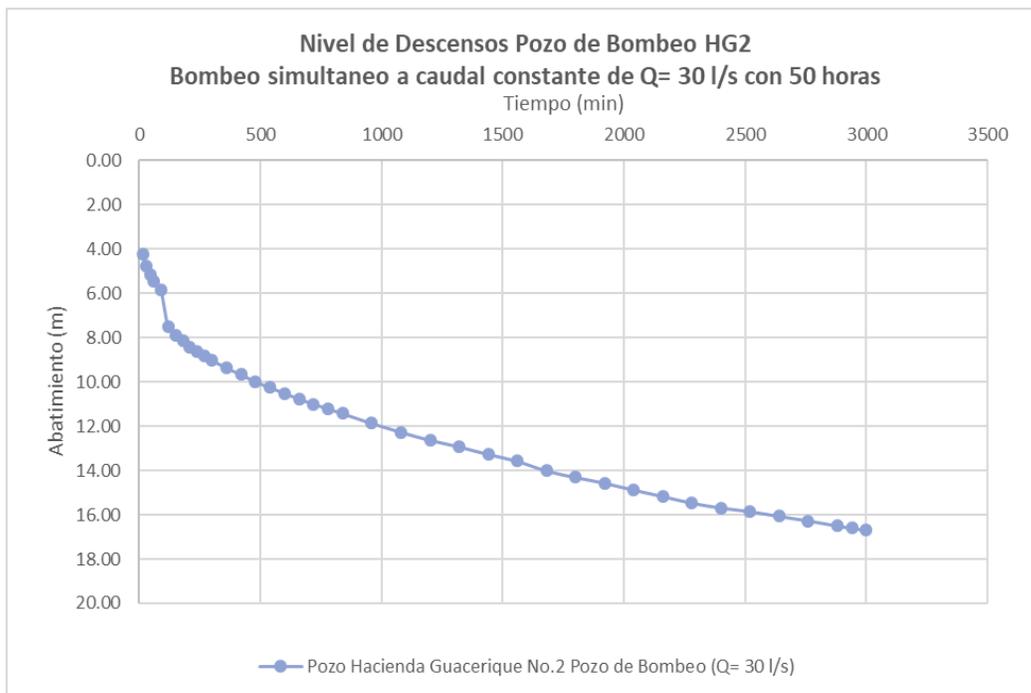
Fuente: Elaboración propia



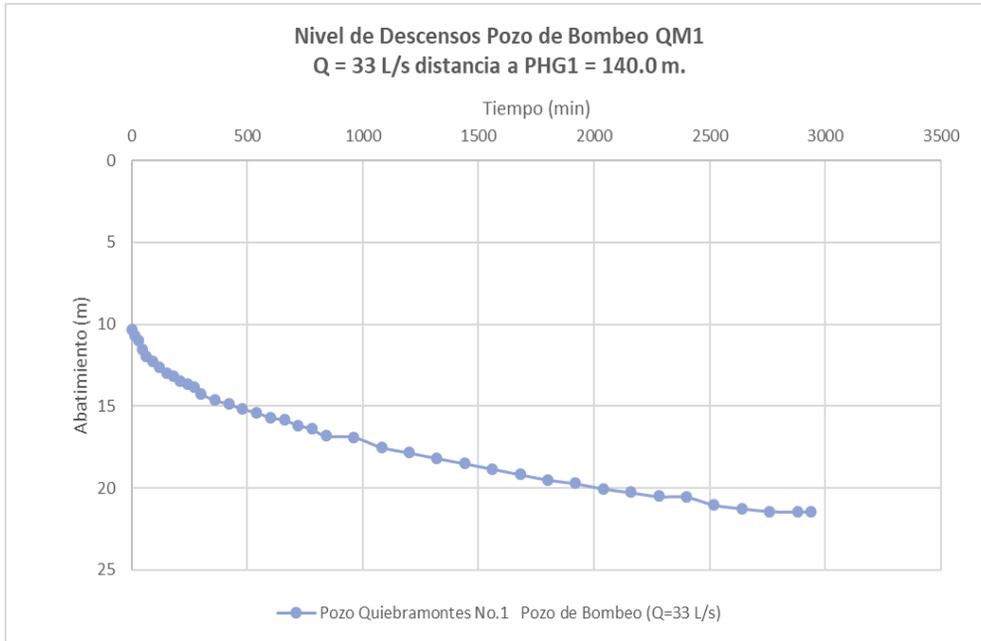
Gráfica No. 20 caudal crítico para pozo HG2

Prueba de caudal Simultáneo a caudal constante: Entre el Pozo Hacienda Guacerique 2 (HG2) y Quebramontes 1 (QM1), con el pozo de observación en pozo Hacienda Guacerique 1 (HG1); los caudales para HG2 de 30 l/s y para QM1 de 33 l/s, la prueba se realizó para 50 horas de bombeo continuo, el día 7 de marzo, 2005.

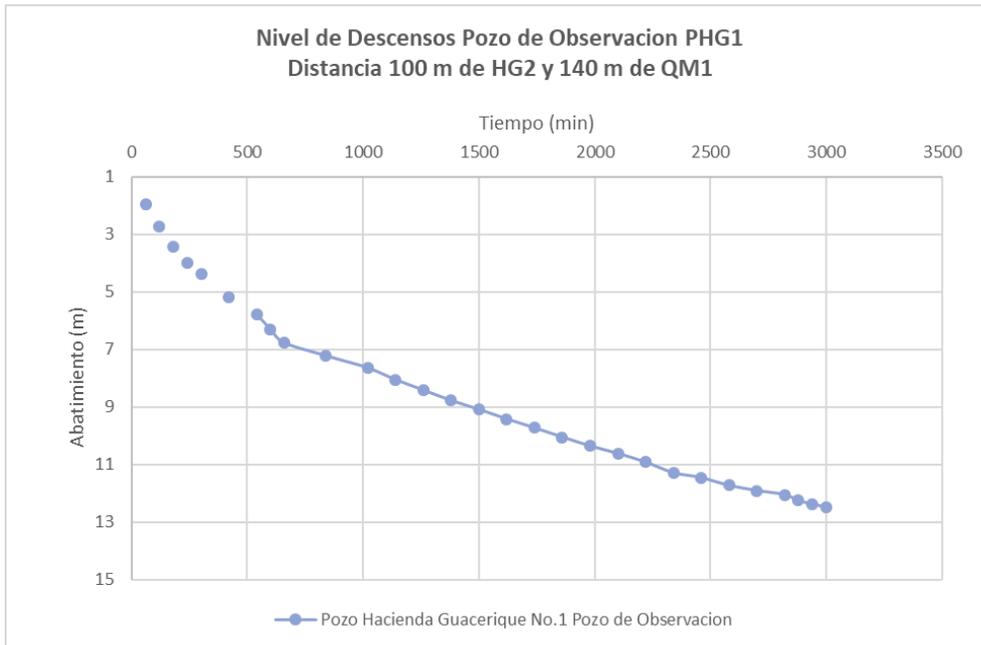
Las gráficas No.21, 22 Y No. 23 muestran el comportamiento de los descensos en esta prueba y sobre este comportamiento del pozo se analizarán los demás parámetros hidráulicos del pozo cuyas graficas con sus respectivos resultados se detallan en el anexo No. 4



Gráfica No. 21 Nivel de descenso pozo HG2



Gráfica No. 22 Nivel de descensos pozo QM1



Gráfica No. 23 Nivel de descensos pozo de observación HG1

En la tabla No.15 resume todas las características de la prueba de caudal simultáneo con caudal constante y además contiene todos los parámetros hidráulicos del acuífero entre

los cuales se destacan los valores de: caudal, nivel estático y dinámico, abatimiento, transmisividad entre otros (Tabla No. 15).

Características Hidráulicas de bombeo aforo simultáneo a caudal constante									
Pozo hacienda Guacerique 2 (HG2) con 30 l/s Pozo Queiebramontes 1 (QM1) con 33 l/s									
7 de marzo ,2005 (Duración = 50 horas)									
Pozo Caracterist	Unidad	Pozo HG2 Bombeo 30 l/s	Pozo HG 1 con HG2 D= 100 m	Pozo QM1 Bombeo 33 l/s	Pozo HG 1 con QM1 D= 140 m	Prueba de Recuperación de los pozos			
						HG2 30 l/s	HG1 HG2 30l/s	QM1 33 l/s	HG1 QM1 33l/s
Profundidad	(m)	200	203	203	203	200	200	203	203
Diametro	(mm)	315	315	315	315	315	315	315	315
Caudal	L/s	30		33	29	30	30	33	33
Nivel Estático	(m)	19.83	17.65	18.81	16.76	19.83	17.65	18.81	17.65
Nivel Dinamico	(m)	36.53	30.13	40.26	30.13	22.08	20.05	21.03	20.05
Abatimiento	(m)	16.7	12.48	21.46	12.48	2.25	2.40	2.22	2.40
radio (r)	(m)	0.15	100	0.15	140	0.15	100	0.15	140
Capa acuífera superior	(m)	33	25	25	25	33	25	33	25
Capa acuífera inferior	(m)	15	10	10	10	15	10	15	10
Tiempo de prueba	(hr)	50	50	50	50	48	48	48	48
Transmisividad Theis	m ² /día	63.6	55.2	76.8	60.00	64.8	74.4	55.68	68.88
Almacenamiento Theis			1.14E-03		6.40E-04		1.87E-03		2.75E-04
Transmisividad Jacob-Cooper	m ² /día	60.89	52.33	73.84	60.87	65.72	74.86	58.15	68.69
Almacenamiento Jacob- Cooper			1.14E-03		5.74E-04		1.97E-03		2.75E-04
Conductividad Hidráulica sup	m/día	1.85	2.09	2.95	2.43	1.99	2.99	1.76	2.75
Conductividad Hidráulica infer	m/día	4.06	5.23	7.38	6.09	4.38	7.49	3.88	6.87
to	hora		2.33		1.97	0.02	0.38	3.09	1.67
to	día		0.097		0.082	0.001	0.016	0.129	0.070
% de Recuperación del pozo						89%	88%	88%	88%
Radio de influencia (R)	(m)		100.14		132.53				

Tabla 15 valores característicos del pozo HG2

Esquema de Posición de los pozos en la prueba de aforo Simultáneo a caudal constante
Pozo de bombeo QM1 con 33 l/s y HG2 con 30 l/s
Pozo de observación HG1 a una distancia de 140 m. de QM1 y 100 m. de HG2
Duración de la Prueba 50 Horas
7 de marzo ,2005

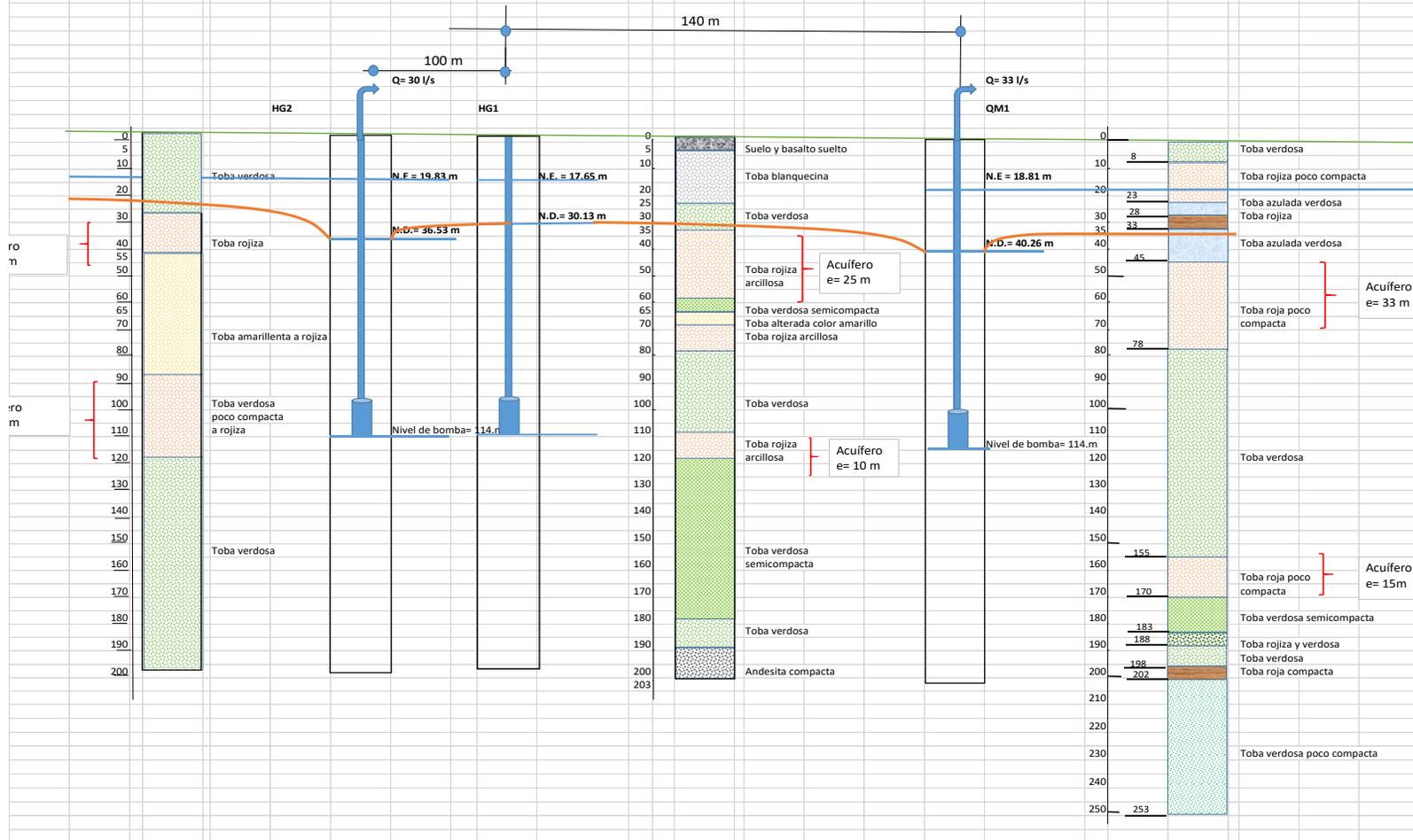


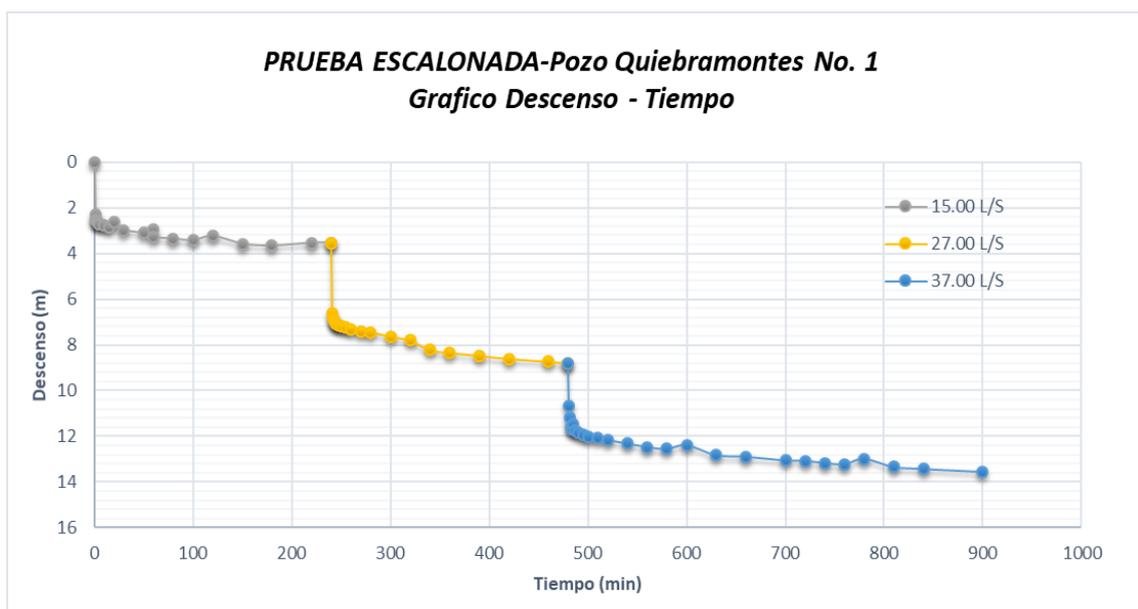
Ilustración 16 esquema de Bombeo simultáneo a caudal constante pozo HG2 Y QM1

6.3.3 Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de Recuperación del Pozo Quiebramontes 1 (QM1)

Se analizarán las características hidráulicas del Pozo QM1 mediante ensayos de pruebas de bombeo escalonado y variable, con un pozo de observación localizado a 18.7 m. del pozo; a continuación, una descripción de cada una de estas pruebas o ensayos.

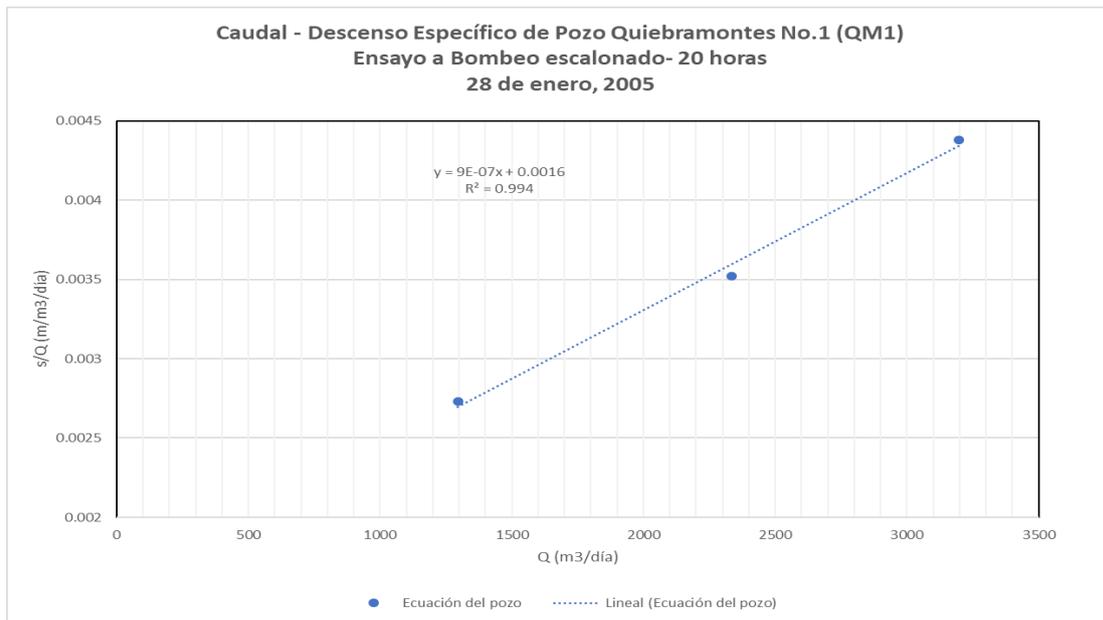
El pozo QM1 tiene una profundidad de 253 m de perforación con una entubación de 203 m con un diámetro de 315 mm y con un ranurado de rejilla desde los 30 metros hasta 200 con un total de 24 ranuras por lance de perforación con un ranurado de 2.5 x 150 mm (Energy /Solution).

Prueba de caudal escalonado: Esta prueba se realizó a tres escalones en un lapso de 20 horas con caudales de 15, 27 y 37 l/s dando inicio el día 28 de enero, 2005, con descensos más o menos estabilizados en cada escalón. Con la prueba escalonada se pretende determinar el orden de magnitud de los descensos y caudales en los que se mueve el rendimiento del pozo y los datos del tercer escalón son los que sirven de base para seleccionar el caudal para la prueba a caudal constante de 37 l/s, este último escalón se desarrolló en 7 horas (gráfica No.24).



Gráfica No. 24 Prueba escalonada descenso-tiempo de PHM1
Fuente: Elaboración propia

Para determinar los valores característicos de este pozo se determina las proyecciones de los descensos de cada escalón, de esa manera se puede estimar la capacidad específica del pozo en (q/s), el descenso específico (m/m³/día) lo que nos lleva a un gráfico de Caudal (Q) en m³/s y descenso específico (Gráfica No. 25.), a fin de obtener la ecuación característica del pozo



Gráfica No. 25 Caudal -descenso específico de Pozo QM1

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de la ecuación característica del pozo mostrados en la gráfica No 25 de caudal en m³/s y la inversa de la capacidad específica (descenso real/Q) y se determina la ecuación característica del pozo HG2 la cual queda planteada de la siguiente manera:

$$s = 0.0016Q + 9E-07 Q^2$$

El resultado de este análisis en el cual involucra las variables derivadas de la prueba escalonada se presenta en la tabla No. 16

Caudal (l/s)	Descenso (m)	s proyec	Δs calcul(m)	sreal l(m)	q (l/s/m)	Q (m ³ /día)	Descenso Específico s/q (m/m ³ /día)	Eficiencia
15	3.54	3.7	5.11	3.54	4.24	1296	0.002731481	57.8
27	8.81	8.9	4.67	8.21	3.29	2332.8	0.003519376	43.2
37	13.57	14		14	2.64	3196.8	0.004379379	35.7

Tabla 16 Caudal específico y Eficiencia

Fuente: Elaboración propia

Caudal critico

No obstante que la tabla No.16 se dan valores de eficiencia bastante bajos es necesario para este campo de pozos y en especial para este pozo objeto de análisis proporcionar un Caudal Critico que mejore la eficiencia del pozo sin presentar un gran descenso en el abatimiento del pozo.

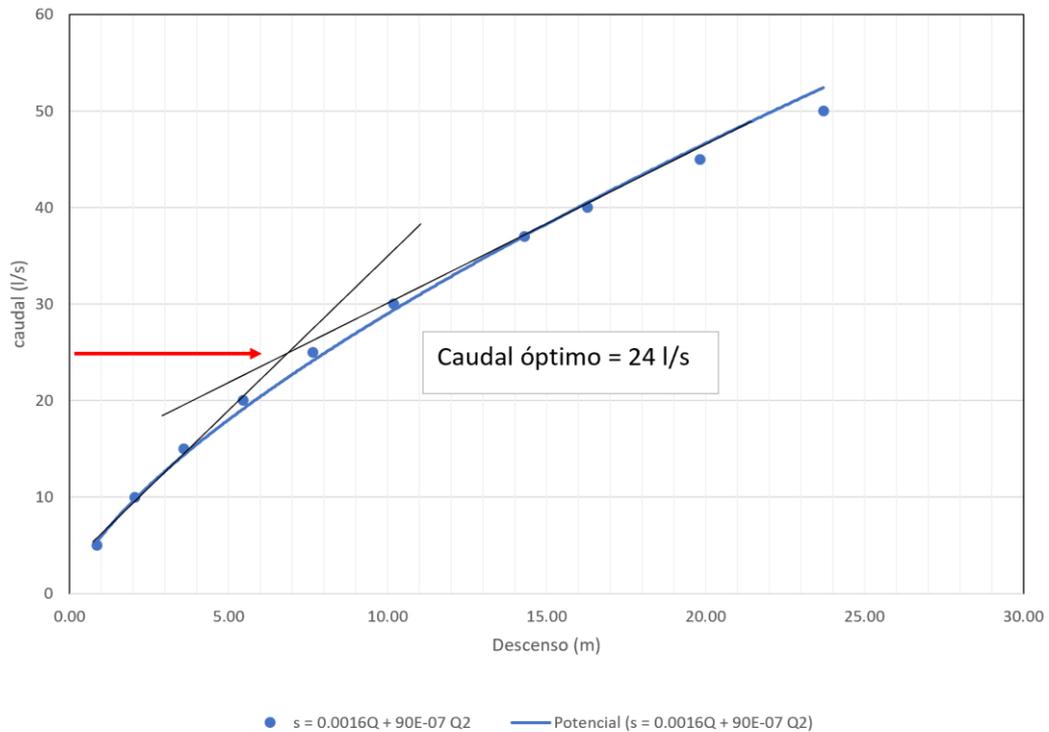
Para realizar este análisis se toma la ecuación característica del pozo y a diferentes caudales se calcula nuevamente los valores expresados en la tabla No.16, luego se lleva a una gráfica No.26 de descenso caudal con tendencia exponencial que nos muestra el comportamiento del pozo a diferentes caudales, con mejores eficiencias en este caso 24 l/s sería un caudal óptimo para la operación de este pozo, mejorando a un 50% la eficiencia del pozo. (Tabla No.17)

Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /día)	Descenso (m)	q/s (m ³ /día/m)	Descenso Específico s/q	Eficiencia %
5	432	0.86	502.82	0.0020	80.5
10	864	2.05	420.59	0.0024	67.3
15	1296	3.59	361.48	0.0028	57.8
20	1728	5.45	316.94	0.0032	50.7
25	2160	7.66	282.17	0.0035	45.1
30	2592	10.19	254.27	0.0039	40.7
37	3197	14.31	223.36	0.0045	35.7
40	3456	16.28	212.30	0.0047	34.0
45	3888	19.83	196.11	0.0051	31.4
50	4320	23.71	182.22	0.0055	29.2

Tabla 17 valores de caudal para pozo QM1

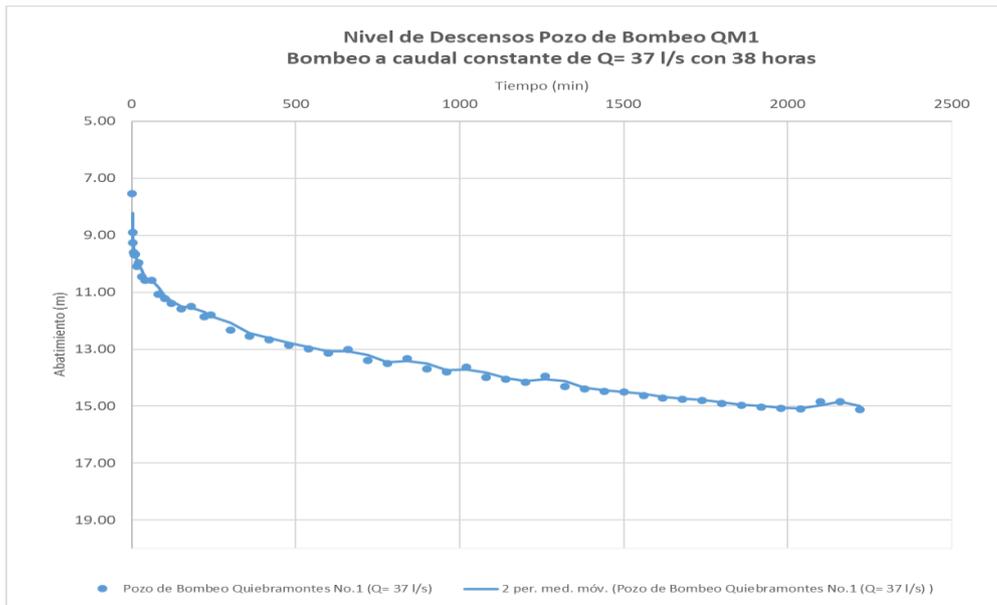
Gráfica No. 26 caudal crítico para pozo QM1

Grafica Caudal - descenso de Pozo Quebramontes No.1 Ensayo a Bombeo escalonado



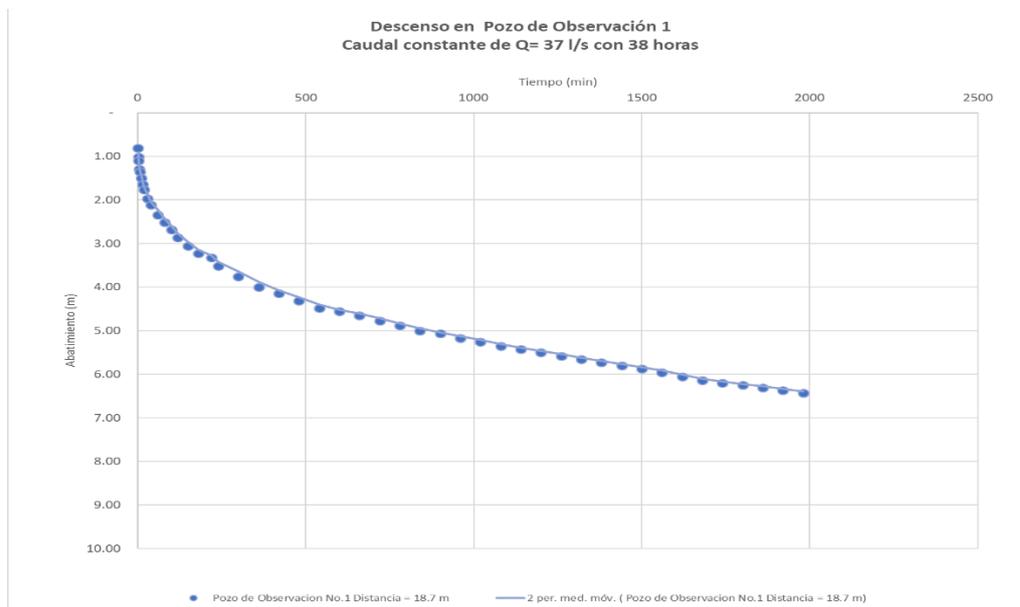
Prueba de caudal constante: La prueba lo que pretende es determinar el orden de magnitud de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento tanto en el pozo como en el acuífero, la prueba escalonada de con 37 l/s, en 2,280 minutos de tiempo de bombeo, con un pozo de observación localizado a 18.7 m

La prueba de bombeo en QM1 con 37 l/s se realizó durante 38 horas, en la gráfica No.27 se aprecia la estabilización del nivel de agua del pozo, el nivel de agua llega a 31.09 m con un descenso de 15.21 m.



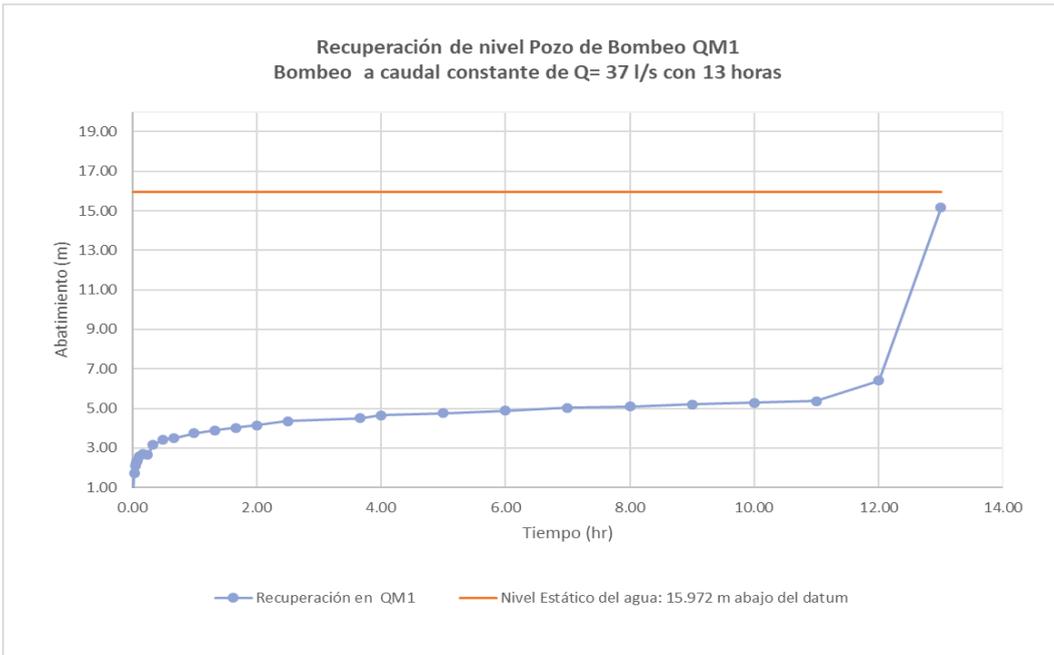
Gráfica No. 27 Nivel de descenso pozo QM1

Mientras tanto en el piezómetro localizado a 18.7 m de QM1 se observa que el nivel de agua llega 22.07 m, con un descenso de 6.43 m y sigue con valores más altos a medida que pasa el tiempo (gráfica No.28).

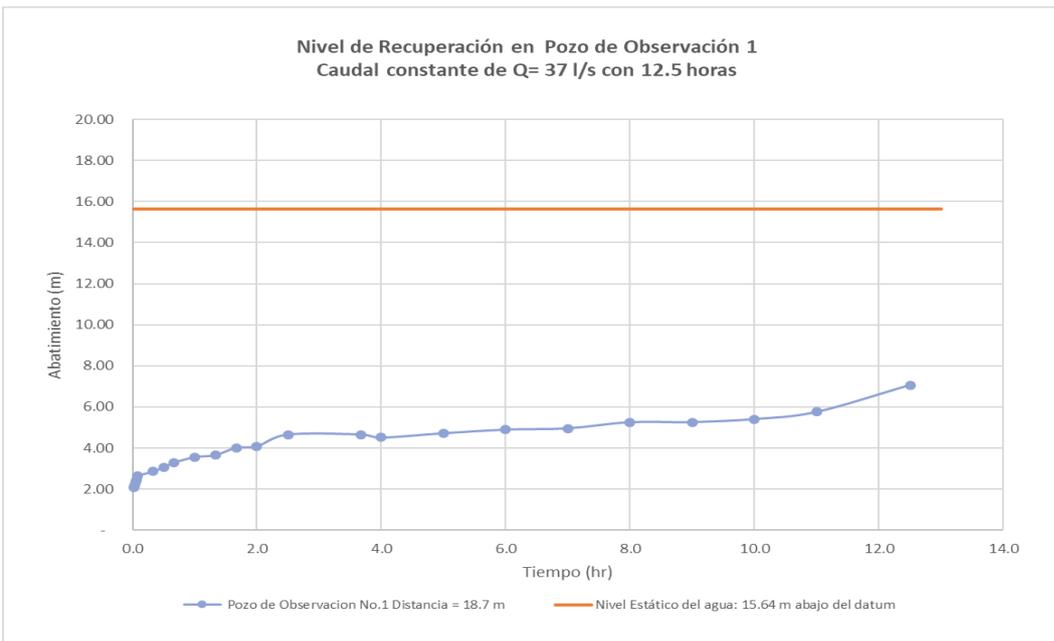


Gráfica No. 28 Nivel de descenso en pozo de observación

La prueba de recuperación del pozo (gráfica No. 29 y 30), se llevó a cabo en 13 horas, el pozo QM1 logra alcanzar un nivel de recuperación del 95% del nivel estático en el momento que inició la prueba, mientras que en el piezómetro la recuperación fue 45%



Gráfica No. 29 Recuperación de nivel pozo QM1



Gráfica No. 30 recuperación de nivel pozo de observación

Considerando la gráfica No.29 a No. 30 de descenso-tiempo a caudal constante y recuperación tanto para el pozo de bombeo como la de piezómetro se derivan los siguientes análisis para obtener los valores de transmisividad y almacenamiento.

- **Análisis Pozo de bombeo QM1 con descenso en QM1**
- **Análisis Pozo de bombeo QM1 y descenso en Piezómetro**
- **Análisis de Recuperación de Pozo de bombeo QM1**

La misma metodología empleada para el análisis del pozo Hacienda Guacerique 1 (HG1) se realizará para este apartado, con la diferencia que las gráficas de valores de transmisividad y almacenamiento y los datos de bombeo base, se presentarán en el anexo No. 5 de este documento.

El resumen de los resultados se presenta en la tabla No. 18 producto de los valores encontrados según las gráficas de los valores de tiempo en horas y descenso en metros en papel doble logaritmo a la cual se le sobrepone la curva reversa de no equilibrio de Theis y luego la gráfica de Jacob-Cooper, para finalmente encontrar los valores de transmisividad y almacenamiento.

Características Hidráulicas de bombeo Caudal Constante y Recuperación					
Pozo Quiebramontes No.1 (QM1) con 37 l/s					
28 de enero al 9 de febrero, 2005 (Duración = 38 horas)					
Pozo	Unidad	PozoQM1	Pozo Piez. 1	Recuperación (13 Horas)	
Caracterist		Bombeo	D= 18.7 m	Pozo QM1	Pobs.
Profundidad	(m)	200	203		
Diametro	(mm)	315	315		
Caudal	L/s	37	37		
Nivel Estático	(m)	15.97	15.64	15.97	15.64
Nivel Dinamico	(m)	31.09	22.7	15.15	7.06
Abatimiento	(m)	15.12	4.84		
radio (r)	(m)	0.15	18.7	0.15	18.7
Capa acuífera superior	(m)	30	30	30	30
Capa acuífera inferior	(m)	15	15	15	15
Tiempo de prueba	(hr)	38	35	13	13
Transmisividad Theis	m ² /día	165.6	244.8	324.00	294
Almacenamiento Theis		-	8.79E-03		2.86E-05
Transmisividad Jacob-Cooper	m ² /día	165.25	243.67	325.78	294.59
Almacenamiento Jacob- Cooper			8.57E-03		2.86E-05
Conductividad Hidráulica sup	m/día	5.51	8.12		9.82
Conductividad Hidráulica infer	m/día	11.02	16.24		19.64
to	hora		0.13	0.1	2.02
to	día		0.005		0.084
% de Recuperación del pozo				95%	45%
Radio de Influencia (R)	(m)		18.38		

Tabla 18 valores característicos de pozo QM1

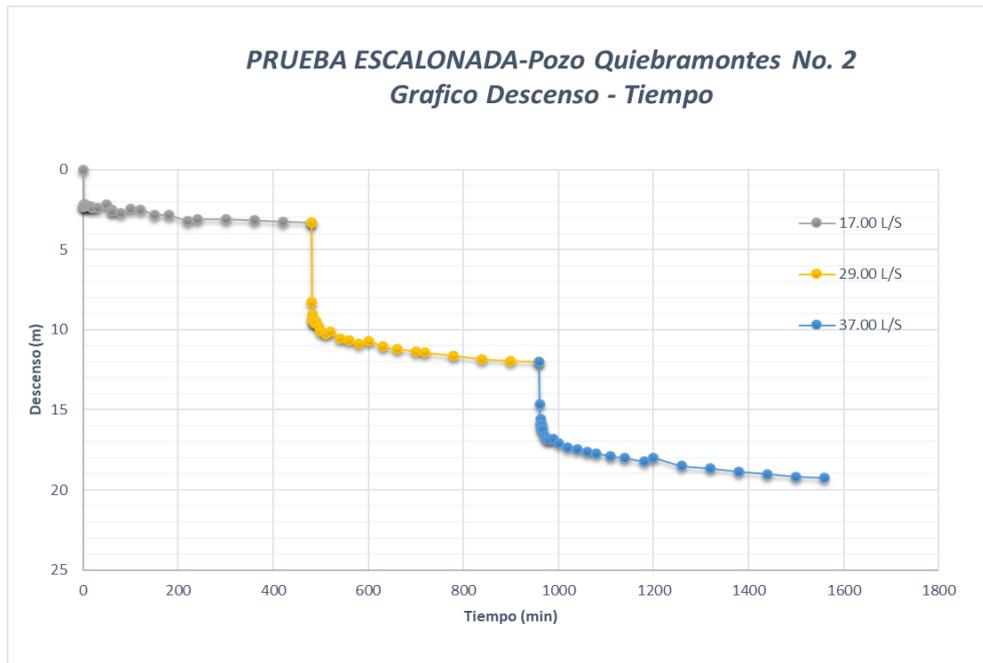
Las gráficas y los datos base para este estudio se presentan en el anexo No. 5 y los resultados de descenso en el pozo de bombeo y en los pozos de observación se pueden apreciar en la ilustración No. 17

6.3.4 Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, caudal constante y de la recuperación además de un aforo simultáneo en el Pozo Quebramontes 2 (QM2)

Se analizarán las características hidráulicas del Pozo QM2 mediante ensayos de pruebas de bombeo escalonado y variable, con un piezómetro localizado a 72.0 m. del pozo, y con dos pozos de observación QM1 y HG1 localizados a 127 m y 140 m. respectivamente, en este pozo también se llevó a cabo un aforo simultáneo entre el pozo QM1 y QM2.

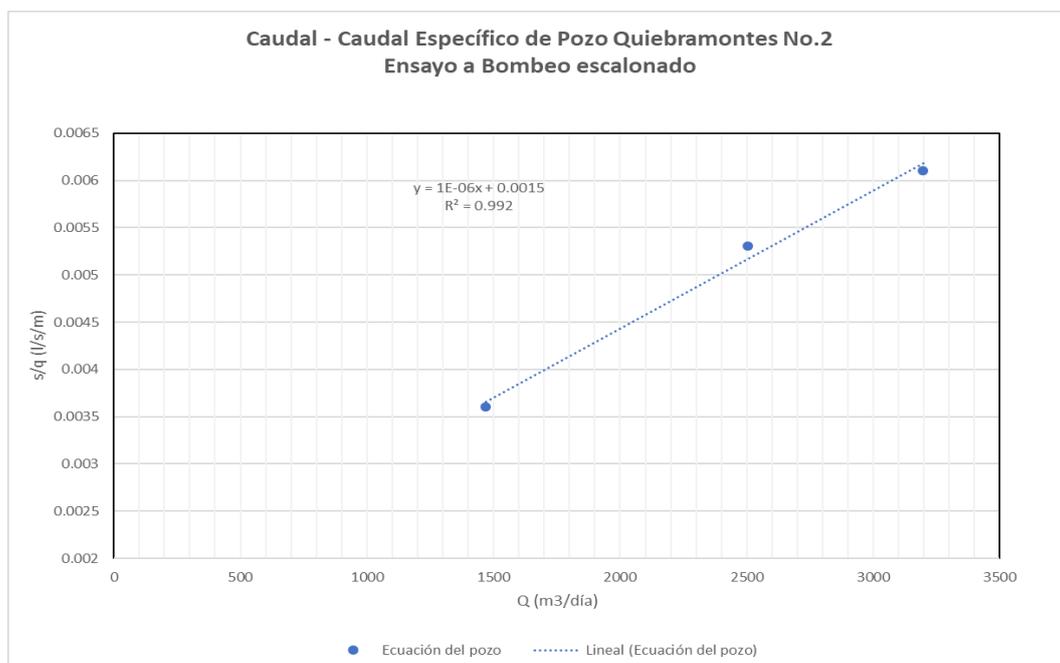
El pozo QM2, tiene una profundidad de 253 m de perforación con una entubación de 203 m con un diámetro de 315 mm y con un ranurado de rejilla desde los 30 metros hasta 200 con un total de 24 ranuras por lance de perforación con un ranurado de 2.5 x 150 mm (Energy /Solution), continuación, una descripción de cada una de estas pruebas o ensayos.

Prueba de caudal escalonado: Esta prueba se realizó a tres escalones en un lapso de 20 horas con caudales de 17, 29 y 37 l/s (gráfica No. 31), dando inicio el día 28 de enero, 2005, con descensos más o menos estabilizados en cada escalón. Con la prueba escalonada se pretende determinar el orden de magnitud de los descensos y caudales en los que se mueve el rendimiento del pozo y los datos del tercer escalón son los que sirven de base para seleccionar el caudal para la prueba a caudal constante de 37 l/s, este último escalón se desarrolló en 10 horas.



Gráfica No. 31 Prueba de caudal escalonado pozo QM2

Para determinar los valores característicos de este pozo se determina las proyecciones de los descensos de cada escalón, de esa manera poder estimar la capacidad específica del pozo en (q/s), el descenso específico (m/m³/día) lo que nos lleva a un gráfico de Caudal (Q) en m³/s y descenso específico (Grafica No.32), a fin de obtener la ecuación característica del pozo



Gráfica No. 32 Caudal -descenso específico de Pozo QM1

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de la ecuación característica del pozo mostrados en la gráfica No 32 de caudal en m³/s y la inversa de la capacidad específica (descenso real/Q) y se determina la ecuación característica del pozo HG2 la cual queda planteada de la siguiente manera:

$$s = 0.0015Q + 1E-06 Q^2$$

El resultado de este análisis en el cual involucra las variables derivadas de la prueba escalonada se presenta en la tabla No. 19

Caudal (l/s)	Descenso (m)	s proyec	Δs calcul(m)	sreal l(m)	q (l/s/m)	Q (m3/día)	s/q	Eficiencia
17	5.29	5.8	5.29	5.29	3.21	1468.8	0.0036016	50.5
29	13.99	16	8	13.29	2.18	2505.6	0.0053041	37.4
37	21.23	21.23	6.23	19.52	1.90	3196.8	0.0061061	31.9

Tabla 19 Caudal específico y Eficiencia

Fuente: Elaboración propia

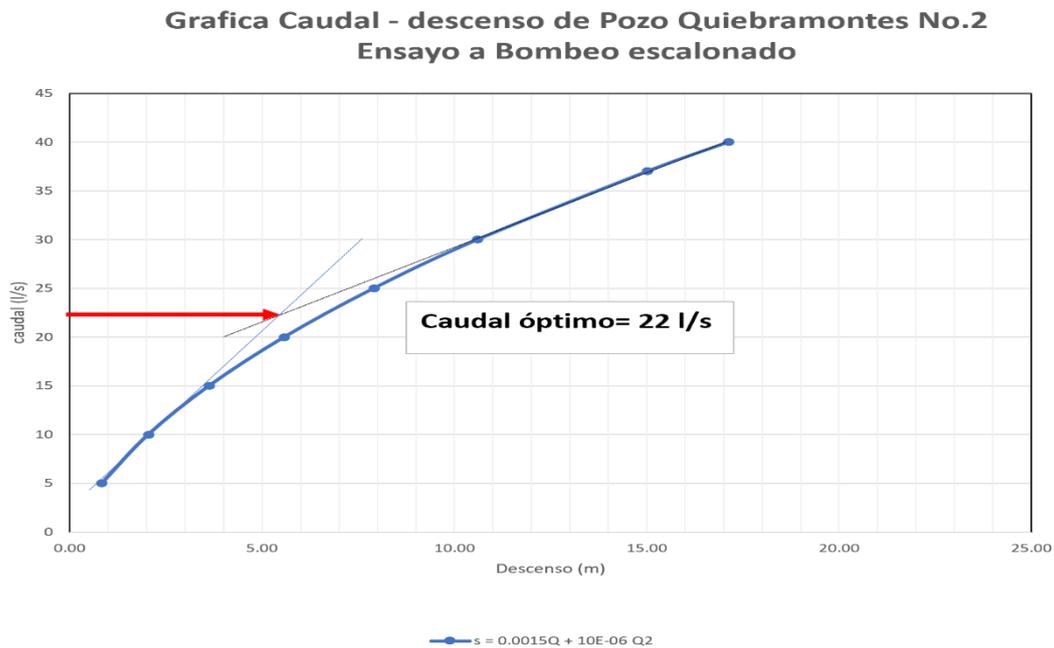
Caudal crítico

No obstante que la tabla No. 19 se dan valores de eficiencia, es necesario para este campo de pozos y en especial para este pozo objeto de análisis, proporcionar un Caudal Crítico que mejore la eficiencia del pozo sin presentar un gran descenso en el abatimiento del pozo.

Para realizar este análisis se toma la ecuación característica del pozo y a diferentes caudales se calcula nuevamente los valores expresados en la tabla No. 19, luego se lleva a una gráfica No.33 de descenso caudal con tendencia exponencial que nos muestra el comportamiento del pozo a diferentes caudales en la tabla No. 20 se observan mejores eficiencias en este caso 22 l/s sería un caudal óptimo para la operación de este pozo, mejorando a un 50% la eficiencia del pozo.

Caudal (l/s)	Caudal (m3/día)	Descenso (m)	q/s (m3/día/m)	Descenso Específico s/q	Eficiencia %
5	432	0.86	502.82	0.0020	80.5
10	864	2.05	420.59	0.0024	67.3
15	1296	3.59	361.48	0.0028	57.8
20	1728	5.45	316.94	0.0032	50.7
25	2160	7.66	282.17	0.0035	45.1
30	2592	10.19	254.27	0.0039	40.7
37	3197	14.31	223.36	0.0045	35.7
40	3456	16.28	212.30	0.0047	34.0
45	3888	19.83	196.11	0.0051	31.4
50	4320	23.71	182.22	0.0055	29.2

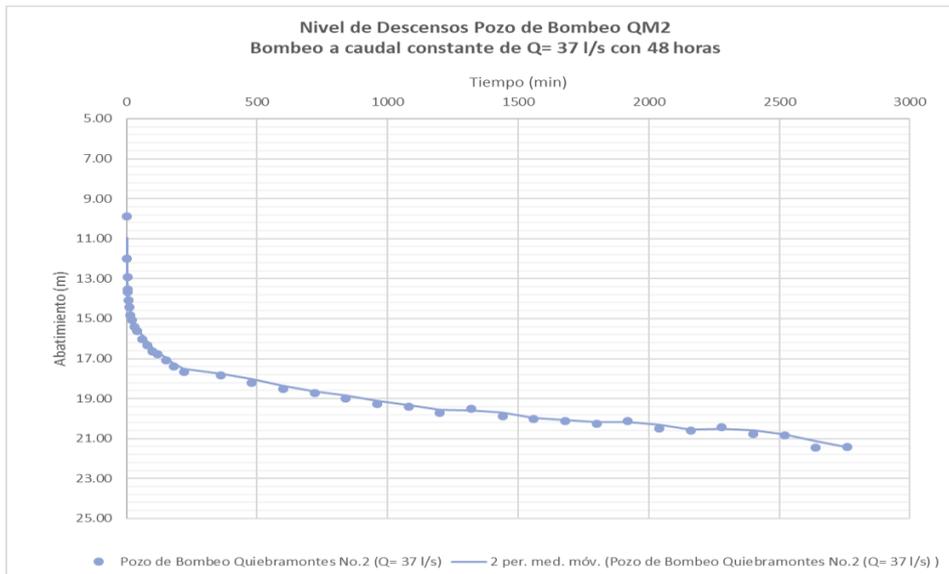
Tabla 20 valores de caudal para pozo QM2



Gráfica No. 33 caudal crítico para pozo QM2

Prueba de caudal constante: Este análisis procura determinar el orden de magnitud de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento tanto en el pozo como en el acuífero, la prueba a caudal constante se realiza con un caudal de 37 l/s, en 2,280 minutos de tiempo de bombeo, con un pozo de observación localizado a 72 m y Quebramontes 1 (QM1), como pozo de observación localizado a 80 m.

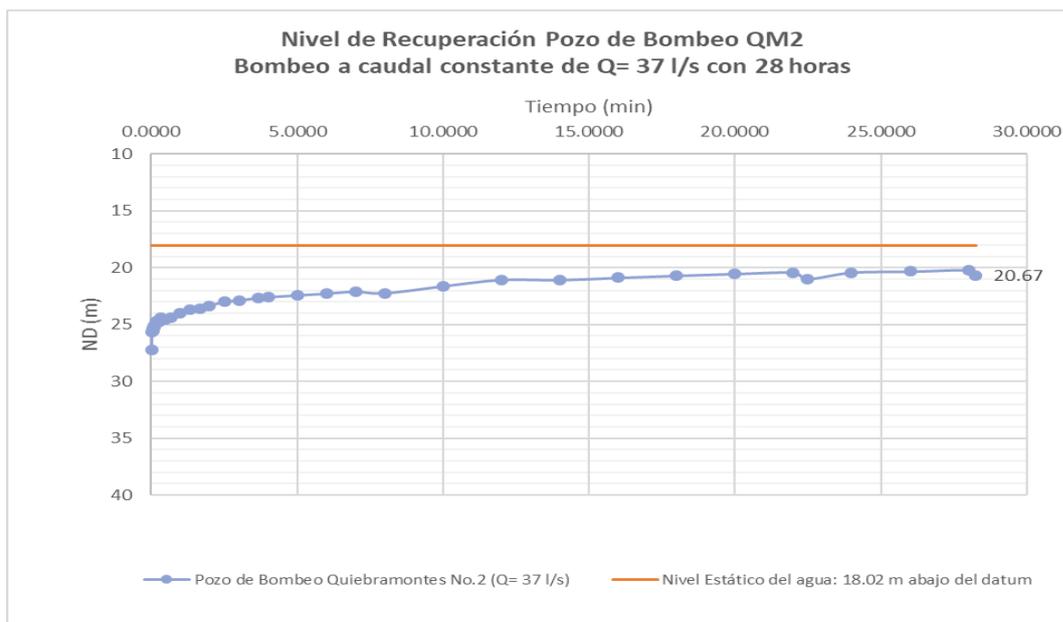
La prueba de bombeo en QM2 con 37 l/s se realizó durante 48 horas, con un nivel estático inicial de 18.02 m, en la gráfica No.34 se aprecia la estabilización del nivel de agua del pozo, el nivel de agua llega a 39.46 m con un descenso de 21.44 m.



Gráfica No. 34 Nivel de descensos pozo QM2

Mientras tanto en el piezómetro localizado a 72 m de QM2 se observa que el nivel de agua llega 23.50 m, con un descenso de 6.94 m y para el pozo QM1 el nivel de agua llega a 23.63 m, con un descenso de 4.75 m. (las gráficas en anexo No. 6)

La recuperación del pozo se llevó a cabo en 13 horas, el pozo QM2 logra alcanzar un nivel de recuperación del 81 % del nivel estático (grafica No. 35), en el momento que inició la prueba, mientras que en el piezómetro la recuperación fue 86% y en el pozo QM1 de 82%



Gráfica No. 35 Nivel de recuperación de pozo QM2

Considerando la gráfica No.34 y No.35 y de descenso-tiempo a caudal constante y recuperación para el pozo de bombeo como para los pozos de observación (graficas en Anexo No.6), se derivan los siguientes análisis para obtener los valores de transmisividad y almacenamiento.

- **Análisis Pozo de bombeo QM2 con descenso en QM2**
- **Análisis Pozo de bombeo QM2 y descenso en Piezómetro**
- **Análisis Pozo de bombeo QM2 y descenso en QM1**
- **Análisis de Recuperación de Pozo de bombeo QM2 en QM2**
- **Análisis de Recuperación de Pozo de bombeo en QM2 en Piezómetro**

La misma metodología empleada para el análisis del pozo Hacienda Guacerique 1 (HG1), se realizará para este apartado, con la diferencia que las gráficas de valores de transmisividad y almacenamiento y los datos de bombeo base, se presentarán en el anexo No.6 de este documento.

El resumen de los resultados se presenta en la tabla No. 21 producto de los valores encontrados según las gráficas de los valores de tiempo en horas y descenso en metros en papel doble logaritmo a la cual se le sobrepone la curva reversa de no equilibrio de

Theis y luego la gráfica de Jacob-Cooper, para finalmente encontrar los valores de transmisividad y almacenamiento.

Características Hidráulicas de bombeo caudal constante							
Pozo Quebramontes 2 (QM2) con 37 l/s							
03-07 de febrero ,2005 (Duración = 48 horas)							
Pozo	Unidad	Pozo QM2	Pozo Piez. 1	Pozo QM1	Prueba de Recuperación de los pozos		
Caracterist		Bombeo	observación	observación	Pozo QM2	Pozo Piez. 1	Pobs. QM1
Profundidad	(m)	203	203	203	203	203	203
Diametro	(mm)	315	315	315	315	315	315
Caudal	L/s	37	37	37	37	37	37
Nivel Estático	(m)	16.76	16.56	15.94	16.76	16.56	15.94
Nivel Estático a inicio de la prueba	(m)	18.02	16.56	18.88	39.46	23.5	18.88
Nivel Dinamico	(m)	39.46	23.5	23.63	20.67	19.2	19.5
Abatimiento	(m)	21.44	6.94	4.75	18.79	4.3	0.62
radio (r)	(m)	0.15	72	80	0.15	72	80
Capa acuífera superior	(m)	30	30	30	25	25	30
Capa acuífera inferior	(m)	15	15	15	10	10	15
Tiempo de prueba	(hr)	48	48	48	28	32	30
Transmisividad Theis	m ² /día	181.44	183.6	181.44	264	208.8	74.4
Almacenamiento Theis			1.59E-03	6.24E-03		1.57E-03	2.50E-02
Transmisividad Jacob-Cooper	m ² /día	183.13	183.94	183.67	263.34	206.34	76.65
Almacenamiento Jacob- Cooper			1.88E-03	6.43E-03		1.40E-03	1.39E-02
Conductividad Hidráulica sup	m/día	6.10	6.13	6.12	10.53	8.25	2.56
Conductividad Hidráulica infer	m/día	12.21	12.26	12.24	26.33	20.63	5.11
to	hora		0.38	2.4	0.02	0.38	12
to	día		0.016	0.100	0.001	0.016	0.500
% de Recuperación del pozo					81%	86%	82%
Radio de Influencia (R)	(m)		64.20	80.17			

Tabla 21 valores característicos a caudal constante QM2

Prueba de caudal Simultáneo: Para el Pozo Quebramonte 1 (QM1) y Quebramontes 2 (QM2) con el pozo de observación en pozo hacienda Guacerique 1 (HG1), los caudales son; para QM1 con 34 l/s y para QM2 con 29 l/s, la prueba se realizó para 72 horas de bombeo continuo, la ilustración No. 18 muestra cómo se llevó a cabo dicha prueba.

Características Hidráulicas de bombeo caudal simultáneo y Recuperación									
Pozo Quiebramontes 1 (QM1) con 34 l/s Pozo Quiebramontes 2 (QM2) con 29 l/s									
15 de febrero ,2005 (Duración = 72 horas)									
Pozo Caracterist	Unidad	Pozo QM1	Pozo HG 1	Pozo QM2	Pozo HG 1	Prueba de Recuperación de los pozos			
		Bombeo 34 l/s	con QM1 D= 140 m	Bombeo 29 l/s	con QM2 D= 127 m	QM1 34 l/s	QM1 con desc. en HG1	QM2 29 l/s	QM2 con desc. En HG1
Profundidad	(m)	203	203	203	203	203	203	203	203
Diametro	(mm)	315	315	315	315	315	315	315	315
Caudal	L/s	34		29		34	34	29	29
Nivel Estático	(m)	16.76	14.8	16.76	16.56	18.5	25.35	19.81	25.35
Nivel estático de agua al inicio de la prueba	(m)	18.5	25.35	19.81	25.35	46.24	30.07	60.34	30.07
Nivel Dinamico	(m)	46.24	30.38	60.34	30.38	20.45	20.00	22.25	20
Abatimiento	(m)	27.74	5.03	40.53	5.03	1.95	1.4	2.44	1.4
radio (r)	(m)	0.15	140	0.15	127	0.15	140	0.15	127
Capa acuifera superior	(m)	33	25	33	25	33	25	25	25
Capa acuifera inferior	(m)	15	10	15	10	15	10	10	10
Tiempo de prueba	(hr)	72	72	72	72	51.3	44	51.3	44
Transmisividad Theis	m ² /día	66.72	117.6	64.8	99.84	122.4	216	120	192
Almacenamiento Theis			3.58E-04		3.58E-04		2.00E-04	2.36E-02	2.10E-04
Transmisividad Jacob-Cooper	m ² /día	71.06	119.3	65.17	101.76	124.28	219.68	98.83	222.38
Almacenamiento Jacob- Cooper			3.09E-04		3.20E-04		2.17E-04		1.82E-04
Conductividad Hidráulica sup	m/día	2.15	4.77	1.97	4.07	3.77	8.79	3.95	8.90
Conductividad Hidráulica infer	m/día	4.74	11.93	4.34	10.18	8.29	21.97	9.88	22.24
to	hora		1.27	2.4	2.27	0.02	0.2	0.01	0.14
to	día		0.053	0.100	0.095	0.001	0.008	0.000	0.006
% de Recuperación del pozo						90%	79%	89%	79%
Radio de Influencia (R)	(m)		199.19		245.95				

Tabla 22 Características Hidráulicas de aforo simultáneo QM1 y QM2

Esquema de Posición de los pozos para la prueba de caudal Simultáneo
Pozo de bombeo QM1 con 34 l/s y QM2 con 29 l/s
Pozo de observación HG1 a una distancia de 127 m. de QM2 y 140 m. de QM1
Duración de la Prueba 72 Horas
15 de febrero ,2005

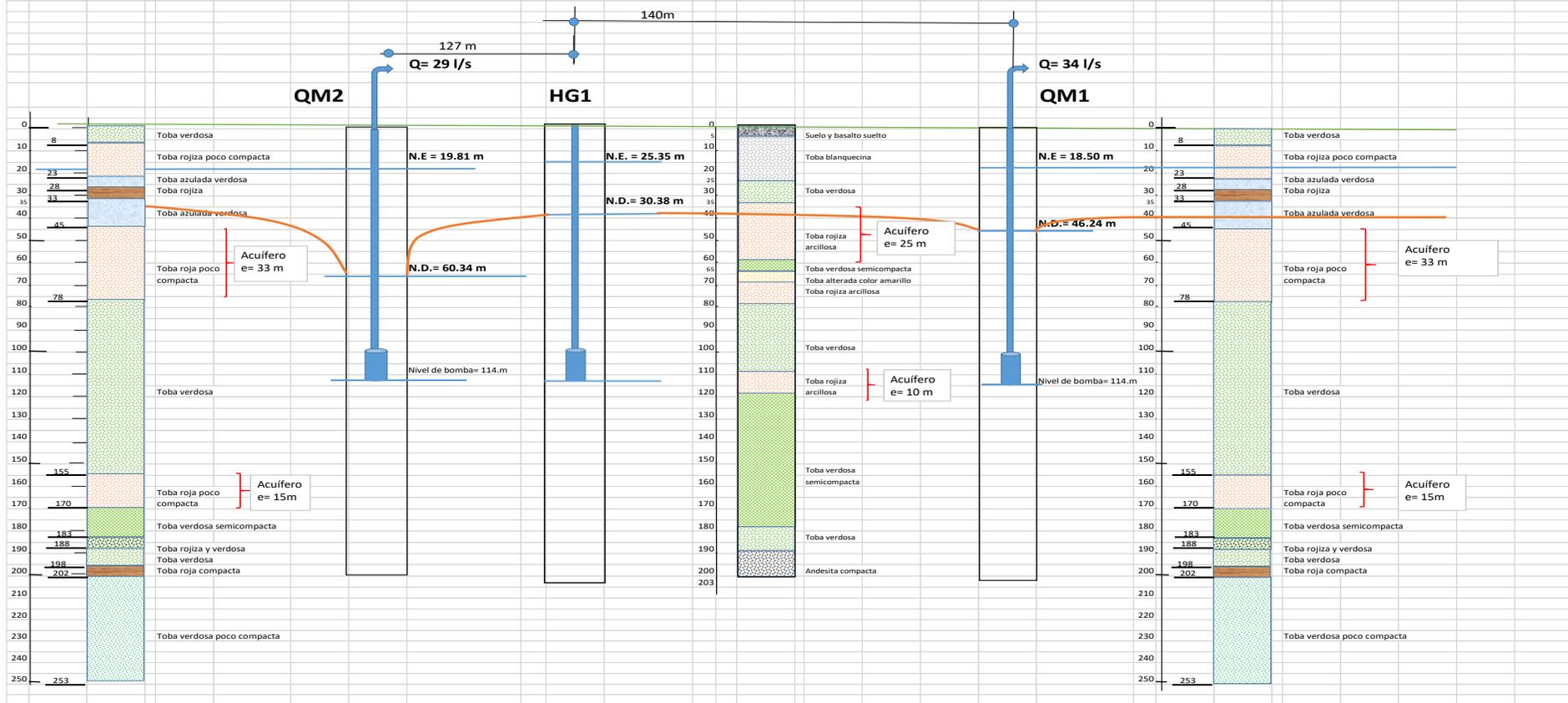
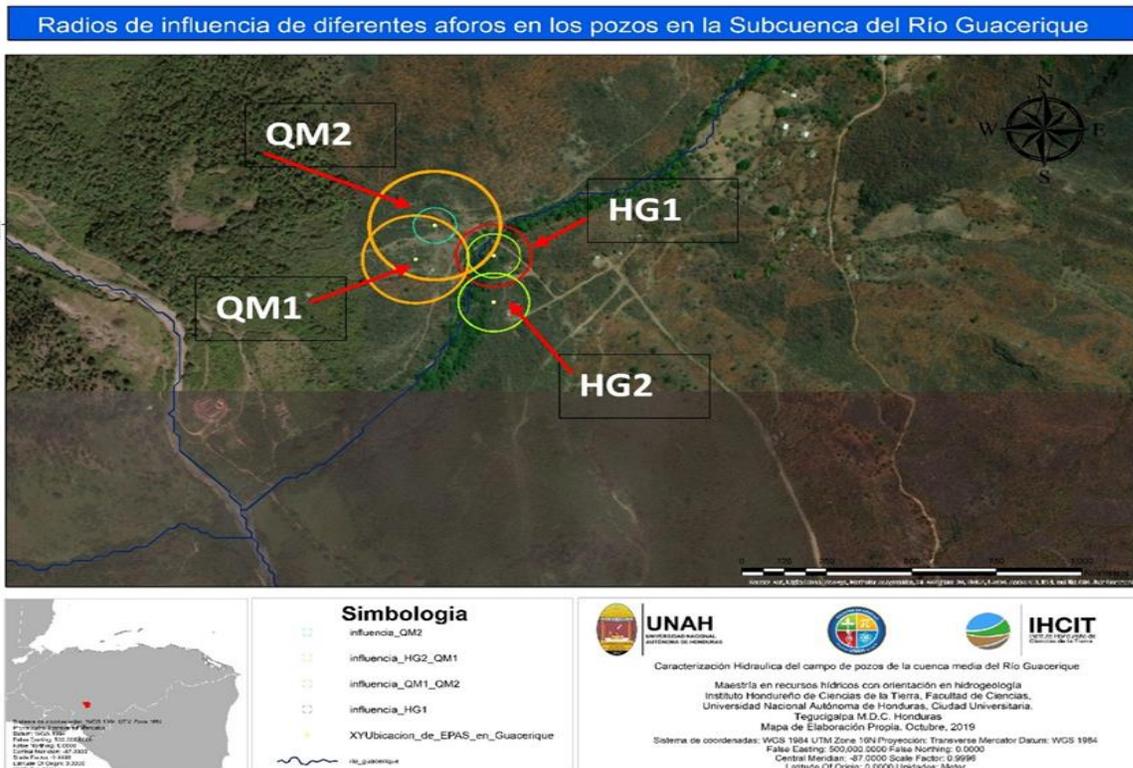


Ilustración 18 esquema del pozo en prueba de caudal simultáneo pozo QM2 y QM1

6.3.5 Radio de Influencia de los aforos a caudal constante y aforo simultáneo.

En el mapa No 7, se muestra el radio de influencia según el tipo de aforo realizado en cada pozo y en la tabla No. 23 se proporcionan las distancias calculadas en función de las características hidráulicas de transmisividad, tiempo y coeficiente de almacenamiento del acuífero.



Mapa No. 7 Radio de Influencia de diferentes aforos en el campo de pozos de la Subcuenca del río Guacerique

Fuente: Elaboración propia

Tipo de Aforo	Pozo de bombeo	Q/l/s	Pozo de Observ.	Radio (m)
Caudal constante	HG1	25	QM1	140
Caudal constante	QM2	37	QM1	80
Caudal simultáneo	HG2	30	HG1	100.14
	QM1	33	HG1	132.5
Caudal simultáneo	QM1	34	HG1	200
	QM2	29	HG1	246

Tabla 23. Radio de Influencia a diferentes aforos

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusión y Recomendación General

1. El cuadro que se presenta a continuación es un resumen de las características hidráulicas y caudales críticos de explotación, recomendados en este estudio.

Pozo	Profundidad	NE	Ensayo Caudal (l/s)	Horas de bombeo	ND (m)	Descenso (m)	Recuperación NE (horas)	Transmisividad (m ² /día)	Caudal Operación recomendado (l/s)	Horas Bombeo Operación (hr)	
Guacerique 1 HG1	203	17.79	25	50	91.7	73.91	45	168	11	12	
Guacerique 2 HG2	200	19.83	30	50	36.5	16.7	48	63.6	22	12	
Quebramontes 1 QM1	253	15.97	37	48	31.1	15.12	13	165	24	12	
Quebramontes 2 QM2	253	16.76	37	48	39.5	21.44	28	181	22	12	
Caudal a explotar por SANAA (l/s)			129	Caudal recomendado en este Estudio					79	l/s	

Con un caudal de 79 l/s durante 12 horas, es posible abastecer de agua a un sector de la población de aproximadamente 20,000 personas.

2. Tomando en cuenta las características hidráulicas del campo de pozos, los descensos estudiados en la prueba de bombeo tanto escalonada, de caudal constante y de recuperación, este estudio recomienda que las EPAS Guacerique y Quebramontes, se exploten con el caudal crítico proporcionado en el cuadro resumen, con un tiempo de operación de 12 horas de bombeo a fin de mejorar la eficiencia del pozo y esperar que los pozos recuperen su nivel estático.
3. Las transmisividades de este acuífero se encuentran entre 16 a 300 m²/día, por lo que según la tabla de calificación de acuíferos estamos en presencia de un acuífero entre bajo a medio productividad.
4. El acuífero mantiene un coeficiente de almacenamiento entre 10E-03 a 10E-05 propio de un acuífero confinado con material volcánico.

7.2 Conclusiones y Recomendaciones específicas

- **Pozo Hacienda Guacerique 1 HG1, con QM1 como pozo de observación y piezómetro**

- 1 La estabilización del pozo en HG1 observada en la prueba de bombeo a caudal variable, y el mayor valor de las transmisividades calculados por dos métodos en la recuperación nos indica que reduciendo el caudal a 22 l/s. El pozo tiende a estabilizar sus descensos.
- 2 La eficiencia de los pozos es baja, debido a la pérdida de carga en el pozo. La pérdida de carga en un pozo es indicativa de una mala construcción.
- 3 Los valores de transmisividad en el pozo de bombeo son de aproximadamente de 168 m²/día y para el piezómetro están entre 168 y 177 m²/día mientras que para el pozo QM1 estos valores están entre 163 a 169 m²/día.
- 4 Los valores de coeficiente de almacenamiento en el piezómetro 7.21E-03 y en el pozo QM1 de 8.55 E-04 y 9.4E-04 que son valores típicos para este tipo de formaciones.
- 5 La recuperación del pozo se da bastante rápida con una transmisividad de 185 m²/día en HG1 y 294 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 2.86E-05 en QM1.
- 6 Tomando en cuenta la geología, los descensos estudiados en la prueba de bombeo tanto escalonada y de caudal constante es recomendable que el caudal a explotar sea de 11 L/s con un tiempo de operación de 12 horas de bombeo, la recuperación en 12 horas es de aproximadamente del 88%.

- **Pozo Hacienda Guacerique 2 (HG2)**

Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de recuperación con Quebramontes 1 (QM1) y pozo Hacienda Guacerique1 (HG1), como pozos de observación.

- 1 La eficiencia de los pozos es baja, debido a la pérdida de carga en el pozo, sin embargo, para mejorar esta eficiencia se propone explotar el pozo con un caudal de 22 l/s, que es un caudal crítico.

- 2 El nivel de agua del pozo HG2 observada, durante la prueba de bombeo simultáneo a caudal constante, parece estabilizarse hasta alcanzar un nivel dinámico de 36.53 m con un abatimiento de 16.70 m. el cual se ubica sobre el estrato acuífero superior.
- 3 El nivel de agua del pozo HG1 de observación en la prueba de bombeo simultaneo a caudal constante no parece estabilizarse al finalizar, la prueba alcanzó un nivel dinámico de 30.13 m con un abatimiento de 12.48 m.
- 4 El nivel de agua del pozo en QM1 en la prueba de bombeo simultaneo a caudal constante no parece estabilizarse al finalizar, la prueba alcanzó un nivel dinámico de 40.26 m. con un abatimiento de 21.46 m., por encima del estrato acuífero superior
- 5 Los valores de transmisividad en el pozo HG2 son de aproximadamente de 63.6 m²/día para la prueba de Theis y de 60.89 m²/día para la prueba de Jacob-Cooper, para el HG1 como pozo de observación están entre 55.2 m²/día y 52.33 m²/día, finalmente para el pozo QM1 los valores están entre 60.0 m²/día a 60.87 m²/día
- 6 Los valores de almacenamiento en el HG1 son de 1.14E-03 para ambos métodos que son valores típicos para este tipo de formaciones de origen volcánico.
- 7 La recuperación del pozo de bombeo es lenta con una transmisividad de 65 m²/día en HG2, con un nivel de recuperación después de 48 horas del 89%.
- 8 La recuperación del pozo de bombeo es lenta con una transmisividad de 58 m²/día en QM1, con un nivel de recuperación después de 48 horas del 88%.
- 9 La recuperación en el pozo de observación HG1 es lenta con un valor de 75 m²/día con un almacenamiento de 1.97E-03, logrando alcanzar su nivel estático después de 48 horas de observación, 88%.
- 10 Tomando en cuenta la geología los descensos estudiados en la prueba de bombeo tanto escalonada, de caudal constante y la recuperación es recomendable que el caudal a explotar sea de 24 L/s con un tiempo de operación de 12 horas de bombeo a fin de mejorar la eficiencia del pozo y esperar que los pozos se recuperen en sus niveles.
- 11 El resultado de tener dos pozos trabajando en forma simultánea en este caso HG2 con 30 l/s y QM1 con 33 l/s con un pozo de observación en HG1, obliga a definir un comportamiento de este campo de pozos si trabajan en forma continua, estos hallazgos son:
 - El nivel dinámico en HG2 a 36.53 m con un abatimiento de 16.70 m

- El nivel dinámico en QM1 a 18.81 m con un abatimiento de 21.46 m
- El nivel dinámico en HG1 a 17.65 m con un abatimiento de 12.48 m

El abatimiento del pozo HG2 sobrepasa el techo del acuífero superior, pero se mantiene sobre el nivel de la bomba, los pozos QM1 y HG1 se mantienen sobre el estrato acuífero superior.

13. Los niveles de recuperación del nivel estático se realizaron en 48 horas, al final de este tiempo no se logró alcanzar el 100 % del nivel estático.
- 14 En vista de estos resultados, es recomendable replantear la forma más adecuada de operación de estos pozos, los resultados de este estudio recomienda una explotación de 12 horas para dar tiempo que el pozo se recupere.

- **Pozo de bombeo Quebramontes 1 QM1**

Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de Recuperación del Pozo Quebramontes 1 (QM1) con piezómetro como pozo de observación.

- 1 La eficiencia de los pozos es baja, debido a la pérdida de carga en el pozo, sin embargo, para mejorar esta eficiencia se propone trabajar el pozo con un caudal de 24 l/s.
- 2 El nivel de agua del pozo QM1 observada durante la prueba de caudal constante, parece estabilizarse hasta alcanzar un nivel dinámico de 31.09 m con un abatimiento de 15.12 m.
- 3 El nivel de agua del pozo de observación en la prueba de caudal constante no parece estabilizarse al finalizar la prueba, alcanzó un nivel dinámico de 22.7 con un abatimiento de 4.84 m.
- 4 Los valores de transmisividad en el pozo de bombeo son de aproximadamente de 165.60 m²/día para la prueba de Theis y de 165.25 m²/día para la prueba de Jacob-Cooper y para el piezómetro están entre 244.80 m²/día y 243.67 m²/día.
- 5 Los valores de coeficiente de almacenamiento en el piezómetro varían entre 8.79E-03 y en el pozo 8.57 E-03 que son valores típicos para este tipo de formaciones de origen volcánico.

- 6 La recuperación del pozo de bombeo se da bastante rápida con una transmisividad de 324 m²/día en QM1, con un nivel de recuperación después de 13 horas del 95%.
- 7 La recuperación en el piezómetro es más lenta con un valor de 294 m²/día con un coeficiente de almacenamiento de 2.86E-05 en el Piezómetro, alcanzando un 45% de su nivel estático después de 13 horas de observación.
- 8 Tomando en cuenta la geología, los descensos estudiados en la prueba de bombeo tanto escalonada, de caudal constante y la recuperación se recomienda que el caudal a explotar sea de 20 L/s con un tiempo de operación de 12 horas de bombeo a fin de mejorar la eficiencia del pozo y dar tiempo a la recuperación del pozo.

- **Pozo de bombeo Quebramontes 2 (QM2)**

Análisis de los Ensayos de Bombeo a caudal escalonado, constante y de recuperación del Pozo Quebramontes 2 (QM2), además de un aforo simultáneo; con piezómetro, QM1 y HG1 como pozo de observación.

- 1 La eficiencia de los pozos es baja, debido a la pérdida de carga en el pozo, sin embargo, para mejorar esta eficiencia se propone trabajar el pozo con un caudal de 22 l/s, como caudal crítico.
- 2 El nivel de agua del pozo QM2 observada en la prueba de caudal constante, parece estabilizarse hasta alcanzar un nivel dinámico de 39.46 m con un abatimiento de 21.44 m. el cual queda sobre el estrato acuífero superior.
- 3 El nivel de agua del pozo de observación en la prueba de caudal constante no parece estabilizarse al finalizar la prueba, alcanzó un nivel dinámico de 23.5 con un abatimiento de 6.94 m.
- 4 El nivel de agua del pozo en QM1 en la prueba de caudal constante no parece estabilizarse al finalizar la prueba, alcanzó un nivel dinámico de 23.63 m., con un abatimiento de 4.75 m., por encima del estrato acuífero superior
- 5 Los valores de transmisividad en el pozo de bombeo son de aproximadamente de 181.44 m²/día para la prueba de Theis y de 183.13 m²/día para la prueba de Jacob-Cooper, para el piezómetro

están entre 183.60 m²/día y 183.94 m²/día, finalmente para el pozo QM1 los valores están entre 181.44 m²/día a 183.67 m²/día

- 6 Los valores de coeficiente de almacenamiento en el piezómetro varían entre 8.88E-03 y en el pozo QM1 de 6.43E-03 que son valores típicos para este tipo de formaciones de origen volcánico.
- 7 La recuperación del pozo de bombeo se da más o menos rápida con una transmisividad de 263 m²/día en QM2, con un 81% de recuperación de su nivel estático después de 28 horas de observación.
- 8 La recuperación en el piezómetro es lenta con un valor de 208 m²/día con un coeficiente de almacenamiento de 1.40E-03 en el Piezómetro, logrando alcanzar un 86% de nivel estático después de 32 horas de observación.
- 9 La recuperación en el pozo QM1 es lenta con un valor de 76.65 m²/día con un coeficiente de almacenamiento de 1.39E-03, logrando alcanzar un 82% de su nivel estático después de 30 horas de observación.
- 10 Tomando en cuenta la geología, los descensos estudiados en la prueba de bombeo tanto escalonada, de caudal constante y de recuperación, este estudio recomienda que el caudal a explotar sea de 22 L/s con un tiempo de operación de 12 horas de bombeo a fin de mejorar la eficiencia del pozo y esperar que los pozos recuperen su nivel estático.
- 11 El resultado de tener dos pozos trabajando en forma simultánea en este caso QM2 con 29 l/s y QM1 con 34 l/s con un pozo de observación en HG1, obliga a definir un comportamiento de este campo de pozos si trabajan en forma continua, estos hallazgos son:
 - El nivel dinámico en QM1 a 46.24 m con un abatimiento de 27.74 m
 - El nivel dinámico en QM2 a 60.34 m con un abatimiento de 40.53 m
 - El nivel dinámico en HG1 a 30.38 m con un abatimiento de 5.03 mLos pozos QM1 y QM2 su abatimiento sobrepasa el techo del acuífero superior, pero se mantiene sobre el nivel de la bomba.
12. La recuperación del nivel estático es lenta después de 51 horas de observación, no se logra alcanzar el 100 % del nivel estático.

8. ANEXOS

Se proporciona un USB conteniendo los anexos en digital

9. BIBLIOGRAFIA

- Ambiente, S. d. (2002). *Balance Hidrico de Honduras*. Tegucigalpa: Gobierno Central.
- BID/SANAA. (2016). *Tegucigalpa y Comayagua, capital sostenible, segura y abierta al público*. Tegucigalpa, Honduras: BID.
- CATIE/SANAA. (2014). *Estudio de la Subcuenca de Río Guacerique con enfoque de cambio Climático*. Tegucigalpa: CATIE.
- Chow, V. t. (1993). *Applied Hydrological*. USA.
- Chow, V. T. (2000). *Hidrología Aplicada*. Universidad de Illinois: McGraw-Hill.
- Custodio/Llamas, E. (2001). *Hidrología Subterránea*. Madrid: Omega.
- DIAT/SANAA. (2003). *Consideraciones sobre las Extracciones de Agua Subterránea en los alrededores del Embalse Los Laureles*. Tegucigalpa: SANAA.
- DIAT/SANAA. (2008). *Necesidades de Agua para la ciudad Capital*. Tegucigalpa: SANAA.
- DIAT/SANAA, D. (2012). *Sitios de mayor Productividad de calidad de los pozos en la capital*. Tegucigalpa.
- ENOHSA, E. N. (2005). *Fundamentos de Hidrogeología*. Lima, Perú.
- Fetter, C. w. (2001). *Applied Hydrogeology*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- H. Robert Burger, A. F. (2006). *Introduction To Applied Geophysics*. New York: W.W. Norton.
- Iglesias/IGME, M. y. (2002). *Pozos y Acuíferos*. España: IGME.
- Johnson, E. E. (1975). *El agua subterránea y los pozos*. Saint Paul, Minnesota, USA.
- Llamas, E. (2001). *Hidrología Subterránea*. Madrid: Omega.
- ODA/SANAA/IGN. (1991). *Mapa Hidrogeologico*. Tegucigalpa: SANAA.
- Olsen, I. (2000). *El Riego y sus aplicaciones*.
- Ordoñez Alvarez, J. (2011). *Agua subterránea y los acuíferos*. Lima, Perú.
- Salamanca, U. d. (2018). <http://hidrologia.usal.es/temas/Eficiencia.pdf>.
- SANAA, P. S. (2000). *Proyecto de Suministro de Agua Subterránea para Tegucigalpa*. Tegucigalpa.
- Sanders, L. L. (1998). *Field Hydrogeology*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Screens, J. (1975). *El agua subterránea y los Pozos*. St. Paul , MN 55164: Johnson Screen.
- Silva, E. (2017). Geología de la Cuenca del Río Guacerique. *Geología de la cuenca del Guacerique*, (pág. 36). Tegucigalpa.
- SOGREAH, C. (2004). *Proyecto de Abastecimiento de Agua para Tegucigalpa*. Tegucigalpa.

Solutions/SANAA, E. (2005). *Informe de Construcción de las Estaciones productoras de Agua Subterránea en Cuenca media del río Guacerique*. Tegucigalpa.

Weist, S. N. (1971). *Hidrogeología*. Barcelona, España.