

**PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS UBICADOS EN ZONA ORIENTAL DE LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA Y ANÁLISIS CON USO DE SOFTWARE.**

**MARIO ANDRES BARRERA VASQUEZ
DIEGO ALEXANDER RUIZ SANDOVAL**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

**PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS UBICADOS EN ZONA ORIENTAL DE LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA Y ANÁLISIS CON USO DE SOFTWARE.**

**MARIO ANDRES BARRERA VASQUEZ
DIEGO ALEXANDER RUIZ SANDOVAL**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**DIRECTORA
SULLY GÓMEZ ISIDRO
INGENIERA CIVIL, MSN, PHD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Como primera medida, un gran sentimiento de gratitud a Dios, mi más grande patrocinador para superar cada obstáculo del camino y poder cumplir esta meta que EL puso en mi vida.

A mis Padres, Libardo y Carmenza, quienes son mis ángeles terrenales, agradezco su apoyo incondicional, su amor, su cariño, su respeto y cada valor inculcado desde mi niñez. Su dedicación, y su responsabilidad han sido un gran ejemplo para seguir.

A mis hermanos Cristhian y Daniel, quienes han sido un ejemplo en mi carrera profesional, agradezco su apoyo y su confianza en mi.

Sin embargo este triunfo es dedicado a una gran mujer, ella, quien cambió mi vida, mi forma de pensar, ella, quien me dio el más grande ejemplo de superación, grandeza, fuerza, FE y ACTITUD para salir adelante antes los problemas, para ser correcto en mis acciones, ella, quien es mi más grande inspiración para seguir luchando por mis metas, ella, a quien amo con toda mi alma, dedico este triunfo y todos los que vendrán. Alejandra Ruíz Sandoval mi hermanita, mi Reina hermosa, quien desde el cielo cuida de mi .

DIEGO ALEXANDER RUIZ SANDOVAL

AGRADECIMIENTOS

Ante todo primero agradecer a mi Dios, que por su gracia me permitió lograr mis metas,

A mis padres Mario y Esperanza, por su incondicional apoyo y amor, y porque son la fuerza que me impulsa cada día a mejorar y salir adelante como una persona íntegra en todos los aspectos con principios y valores,

A mis hermanas Diana y Lina que siempre han estado acompañándome siendo una fuente de apoyo en todo momento.

Y a todos mis compañeros y amigos, que han creído en mí en todo momento y de una u otra forma me han acompañado durante toda mi carrera.

Mario Andrés Barrera Vásquez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. TEORIAS ACUIFEROS Y PRUEBAS DE BOMBEO.....	21
1.1. TIPOS DE ACUIFEROS.....	21
1.1.1. Presión hidrostática	22
1.1.2. Permeabilidad	22
1.2. PROPIEDADES HIDRAULICAS	23
1.3. TIPOS DE PRUEBA DE BOMBEO	24
1.4. METODOS PARA EL CALCULO DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS	26
1.4.1. MÉTODO DE THEIS.....	26
1.4.2. MÉTODO DE JACOB	27
1.4.3. Métodos Para Acuíferos Bombeados Con Caudal De Descarga Variable.	28
1.4.4. Método De Recuperación De Niveles	30
1.5. POZO DE BOMBEO	31
1.6. PIEZOMETRO	31
2. PLANEACION Y DESARROLLO DE PRUEBAS DE BOMBEO.....	32
2.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCION SITIOS DE BOMBEO.....	32
2.1.1. Piezometros Parque La Flora	32
2.1.2. Piezometros Bajos De Pan De Azucar.....	35
2.2. EQUIPO UTILIZADO.....	39
2.2.1. Bomba Peristaltica	39
2.2.2. Carga Y Funcionamiento De Las Bombas Peristálticas.....	40
2.2.3. Sensor De Profundidad.....	41
2.3. SOFTWARE AQUIFER TEST PRO	44

2.4.	DESARROLLO DE PRUEBAS DE BOMBEO	48
2.4.1.	Arreglo De Sistemas De Bombas	48
2.4.1.1.	Diagrama de Bombas parque la Flora Piezómetro 2.	49
2.4.1.2.	Diagrama de Bomba parque la Flora Piezómetro 1.	50
2.4.1.3.	Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 2.	51
2.4.1.4.	Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 1.	52
2.4.2.	Pruebas Realizadas En El Parque La Flora	53
2.4.2.1.	Prueba 1. Pozo Superficial.....	53
2.4.2.2.	Prueba 2pozo Profundo	54
2.4.2.3.	Prueba Final Pozo Profundo	56
2.4.2.4.	Prueba Final Pozo Superficial.....	58
2.4.3.	Pruebas Realizadas En Bajos De Pan De Azucar	60
2.4.3.1.	PRUEBA1. Bombeo con dispositivo en serie y paralelo de bombas.	60
2.4.3.2.	Prueba 2: Prueba Final. Piezometro N°2 “Pozo Profundo”.	63
2.4.3.3.	Prueba 3: Prueba Final Piezometro N°1 “Pozo Superficial”	65
3.	ANALISIS DE RESULTADOS	68
3.1.	ANALISIS RESULTADOS PARQUE LA FLORA	68
3.1.1.	PIEZOMETRO N° 2 “POZO PROFUNDO”	68
	RESULTADOS METODOS GRAFICOS	71
3.1.2.	Piezometro N° 1 “Pozo Superficial”	73
3.2.	ANALISIS RESULTADOS BAJOS DE PAN DE AZUCAR	76
3.2.1.	Piezometro N° 2 “Pozo Profundo”	77
3.2.2.	Piezometro N° 1 “Pozo Superficial”	83
4.	CONCLUSIONES.....	88
5.	RECOMENDACIONES	91
6.	BIBLIOGRAFIA	92
7.	ANEXOS	94

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafico 1. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora Prueba1.	53
Grafico 2. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora Prueba1.	54
Grafico 3. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.	55
Grafico 4. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.	55
Grafico 5. Caudal Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.	56
Grafico 6. Prueba Final. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora.	57
Grafico 7. Prueba Final. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora	57
Grafico 8. Prueba Final. Caudal Pozo Profundo Parque la Flora	58
Grafico 9. Prueba Final. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora	59
Grafico 10. Prueba Final. Caudal Pozo Superficial Parque la Flora	59
Grafico 11. Prueba Final. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora	60
Grafico 12. Bombeo Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar Prueba1.	62
Grafico 13. Caudal Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar Prueba1	62
Grafico 14. Prueba Final. Bombeo Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.	64
Grafico 15. Prueba Final. Caudal Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.	64
Grafico 16. Prueba Final. Recuperación Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.	65
Nivel estático: 10,18 m	66
Grafico 17. Prueba Final. Bombeo Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.	66
Grafico 18. Prueba Final. Caudal Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.	67
Grafico 19. Prueba Final. Recuperación Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar	67
Grafico 20. Análisis. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora.	69
Grafico 21. Análisis. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora.	69
Grafico 22. Análisis. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora.	73
Grafico 23. Análisis. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora.	73

Grafico 24. Análisis. Recuperación Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.	77
Grafico 25. Análisis. Bombeo Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.	83
Grafico 26. Análisis. Recuperación Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cono de abatimiento.	21
Figura 2. Tipo de pruebas de Bombeo.	24
Figura 3. Localización Piezómetros Parque la Flora.	33
Figura 4. Esquema diseño piezómetros Parque la Flora.Fuente:(Pulido, Nieto 2010)	35
Figura 5. Localización Piezómetros Bajos de Pan de Azúcar.	36
Figura 6. Esquema diseño piezómetros Bajos de pan de Azúcar	38
Figura 7. Bombas Peristálticas.	39
Figura 8. Esquema baterías recargables.	40
Figura 9. Sensor de profundidad.	41
Figura 10. Diver.	42
Figura 11. BaroDiver.	43
Figura 12. Diagrama Diver y BaroDiver en un piezómetro.	43
Figura 13. Resultado Acuífer test Pro. Prueba de Bombeo Ejemplo 9.1.(Veléz, Otalvaro)	47
Figura 14. Diagrama de Bombas Parque la Flora Piezómetro 2	49
Figura 15. Diagrama de Bombas Parque la Flora Piezómetro 1	50
Figura 16. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 2	51
Figura 17. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 1	52
Grafico 20. Análisis. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora.	69
Grafico 21. Análisis. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora.	69
Figura 18. Resultados Acuífer test Pro. Piezómetro N°2 Parque la Flora. Prueba de Bombeo	70
Figura 19. Resultados Acuífer test Pro. Piezómetro N°2 Parque la Flora. Prueba de Recuperación.	71

Figura 20. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Parque la Flora. Prueba de Bombeo.	74
Figura 21. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Parque la Flora. Prueba de Recuperación.	75
Figura 22. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°2 Bajos de pan Azúcar. Prueba de Bombeo	78
Figura 23. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°2 Bajos de pan Azúcar. Prueba de Recuperación.	79
Figura 24. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Bombeo (Caballero, Navas. 2011).	81
Figura 25. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Recuperación (Caballero, Navas. 2011).	82
Figura 26. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Bombeo.	84
Figura 27. Resultados Aquifer test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Recuperación.	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ubicación piezómetros Parque la Flora.	33
Tabla 2. Columna estratigráfica Parque la Flora.	34
Tabla 3. Ubicación piezómetros Bajos de pan de Azúcar.	36
Tabla 4. Litología Bajos de pan de Azúcar.	37
Tabla 5. Características Bombas Peristálticas.	39
Tabla 6. Características Diver.	42
Tabla 7. Características BaroDiver.	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tabla Para La Toma De Datos En Esayo De Bombeo y Recuperacion	94
Anexob. Datos Obtenidos En Pruebas Preliminares Parque La Flora	96
Anexo C. Datos Prueba De Bombeo Parque La Flora	99
Anexo D. Datos Prueba De Bombeo Bajos De Pan De Azucar	108

RESUMEN

TITULO: PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS UBICADOS EN ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA Y ANALISIS CON USO DE SOFTWARE.*

AUTORES: Mario Andrés Barrera Vásquez
Diego Alexander Ruiz Sandoval.**

PALABRAS CLAVES: Piezómetro, Parámetros hidráulicos, Bomba Peristáltica, Sensor de profundidad, Pruebas de bombeo, Acuífer Test Pro.

DESCRIPCIÓN:

En la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga existen sistemas de aguas subterráneas las cuales son tema de estudio del presente proyecto, para lograr la determinación de los parámetros hidráulicos y el tipo de acuífero presente. Este estudio se realiza por medio de pruebas de bombeo no convencional en cuatro piezómetros los cuales dos se encuentran en el barrio Bajos de pan de azúcar y los dos restantes en el parque temático la flora.

El estudio se lleva a cabo con la utilización de bombas peristálticas sumergibles “1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4T” y “1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-24A +24-4T”, las cuales permiten la realización de un bombeo constante o escalonado, con un caudal variable decreciente para lograr el abatimiento de pozos o piezómetros y el sensor de profundidad, que permite la toma del nivel de agua en los sitios de bombeo.

Los parámetros hidráulicos objeto de estudio en los acuíferos pueden ser determinados por medio de la recuperación de niveles, el cual se realiza siguiente al terminar el bombeo, con la instalación del Diver y el BaroDiver los cuales por medio de compensación de presiones permiten determinar la columna de agua del pozo o piezómetro.

Luego de realizadas las pruebas se analizan los datos obtenidos por medio del software Acuífer test Pro, el cual es una herramienta computacional que determina los parámetros hidráulicos de cada acuífero, así permitiendo conocer el tipo de acuífero y por los métodos teóricos consultados en la bibliografía para el tipo de prueba realizada.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil, Msn, Phd

ABSTRACT

TITLE: PUMPING TEST ONWELLS LOCATED INEASTERN ZONE IN BUCARAMANGA CITY AND ANALYSIS WITH USE SOFTWARE.*

AUTHORS: Mario Andrés Barrera Vásquez
Diego Alexander Ruiz Sandoval.**

KEY WORDS: Piezometer, Peristaltic Pump, sensor depth, pumping tests, AquiferTest Pro, Hydraulic Parameters.

DESCRIPTION:

In the eastern city of Bucaramanga groundwater systems exist which are subject of study of this project, to achieve the determination of hydraulic parameters and aquifer type this. This is done through non-conventional pumping tests in four piezometers which two are in the neighborhood of bread Low-sugar and the remaining two at the theme park flora.

The study is carried out with the use of peristaltic pumps submersible "Submersible pump 1920.57.00 COMBI COMET-24-4T" and "Submersible pump 1920.57.00 COMBI COMET-24-24A +24-4 T", which allow the realization of a constant pumping or staggered, with a variable flow downward to achieve the lowering of wells or piezometers and the depth sensor, which allows collection of the water level in the pumping sites.

Hydraulic parameters under study in aquifers can be determined by recovery levels, which performs re following the end of the pump, the installation of the diver and BaroDiver which by means of pressure compensation for determining the column water from the well or piezometer.

After testing the test data is analyzed using the software Aquifer Test Pro, which is a computational tool which determines the hydraulic parameters of each aquifer, this allowing knowing the type of aquifer and theoretical methods in the literature consulted for the type of test performed.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil, Msn, Phd

INTRODUCCION

Los acuíferos son un recurso hídrico de gran importancia los cuales contienen más del 95% del agua dulce disponible del planeta, donde la utilización de este recurso para el consumo, presenta grandes ventajas sobre otras formas de extracción; entre las más importantes se ubica el bajo costo que tiene la realización de pozos frente a la captación de agua y el bajo nivel de contaminación a la que está sometida, comparada con el recurso hídrico superficial, siendo este último caso, gran objeto de estudio y debate en los últimos años.

En Colombia por lo menos 100 municipios se abastecen de esta fuente para suplir requerimientos ya que no cuentan con aguas superficiales o tienen diferencias de cota para la toma directa del río o el agua que los rodea está altamente contaminada, en un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia se infiere que el 99% de los recursos de agua dulce almacenados en Colombia, se hallan en el subsuelo.

En Bucaramanga la cantidad de agua Subterránea aún se desconoce, sin embargo las pocas investigaciones realizadas han logrado determinar que sólo en la zona del centro de la ciudad se han identificado al menos 50 pozos, varios de ellos con la capacidad de suministrar hasta un litro de agua por segundo, lo que por día equivaldría a abastecer de líquido por lo menos a 800 personas.

Los acuíferos de la zona cuentan con un flujo de agua subterránea la cual corre de este a oeste y va a drenar al Río de Oro con gradientes hidráulicos calculados para el acuífero superficial de Bucaramanga del 2% y para el acuífero profundo de Bucaramanga del 4%, (proyecto de grado Rodríguez, torres 2011), estos acuíferos

serán objeto de nuestro estudio, determinando así, la importancia que tiene el agua subterránea en nuestra ciudad.

Una herramienta muy útil para estudiar el comportamiento hidráulico de los acuíferos se hace por medio de Pruebas de bombeo, las cuales se llevan a cabo con un equipo apropiado de bombas y con duración no menor a 24 horas. Durante el presente proyecto se realizaron pruebas de bombeo en piezómetros contruidos, por lo tanto son pruebas no convencionales, las cuales se ajustan al diseño y equipo de los piezómetros. Por medio de análisis como métodos gráficos y uso de software, se conocen las características específicas de los acuíferos estudiados, contribuyendo de tal manera a obtener valores aproximados de los parámetros hidráulicos de los acuíferos identificados en la zona oriental de la Ciudad de Bucaramanga.

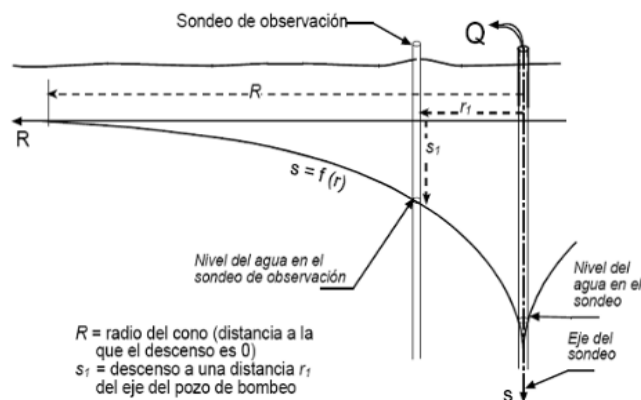
1. TEORIAS ACUIFEROS Y PRUEBAS DE BOMBEO

1.1. TIPOS DE ACUIFEROS

Un acuífero es una formación geológica, constituida por una o más capas de rocas susceptibles de almacenar y transmitir el agua a través de ellas en cantidades significativas, de modo que pueda extraerse mediante obras de captación. Los acuíferos presentan dimensiones muy variadas en superficie y espesor.

Cuando se bombea un caudal sea constante o variable de un acuífero, el nivel del agua que ocupaba un plano horizontal, después del inicio del bombeo, pasa a tener superficies cónicas en torno al pozo. La distancia existente entre el pozo de bombeo y la zona del acuífero, en la que la influencia puede considerarse nula, es llamada radio de influencia. El abatimiento de esa superficie con el tiempo depende de la permeabilidad del acuífero y de la cantidad de agua en él almacenada.¹

Figura 1. Cono de abatimiento.



Fuente: (<http://facingyconst.blogspot.com>)

¹ German Monsalve Sáenz, 2ª Edición, 1995.

Los acuíferos pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes condiciones:

1.1.1. Presión hidrostática

- Acuíferos libres: son aquellos que presentan una superficie libre de agua que está en contacto directo con la atmósfera, sometida por consiguiente a la presión atmosférica. Dicha superficie se denomina superficie freática.
- Acuíferos confinados: acuíferos en el cual el agua se encuentra sometida a una presión mayor que la atmosférica y son formaciones permeables que son limitadas por capas impermeables. En este caso la formación se encuentra completamente saturada. Aquí no existe una superficie libre del agua, pero si puede hablarse de una superficie imaginaria que coincide con el nivel hidrostático del agua en el acuífero.
- Acuíferos semi-confinados: son acuíferos que se encuentran completamente saturados de agua y están limitados ya sea por su base o por el techo, o por ambos de una capa o formación semipermeable (acuitardo). Esta situación permite que haya flujo entre acuíferos que se encuentren separados por el acuitardo, flujo que puede efectuarse en dirección de la diferencia de niveles piezómetros existentes entre los mismos.

1.1.2. Permeabilidad

- Acuíferos: formación geológica que almacenan agua y que a su vez permiten el movimiento de la misma, bajo la acción de las fuerzas de la gravedad, de tal forma que puede ser explotada en cantidades apreciables.
- Acuicludos: son formaciones que almacenan agua, a veces en proporciones altas, pero no la transmiten en cantidades apreciables.

- Acuitardo: son formaciones que almacenan el agua pero que solo permiten el flujo de la misma en forma lenta, en comparación con los acuíferos. Estas formaciones pueden tener una gran importancia cuando se estudia el movimiento del agua a nivel regional, ya que sobre áreas relativamente grandes pueden transmitir grandes cantidades de agua a pesar de la baja velocidad de flujo. Así pueden permitir el paso de agua de un acuífero a otro cuando estos se encuentran separados por una acuitardo. Este fenómeno reviste particular importancia cuando se estudian casos de contaminación de las aguas subterráneas.
- Acuifugos: son formaciones impermeables que no almacenan no transmiten el agua.

1.2. PROPIEDADES HIDRAULICAS

La capacidad de los acuíferos de almacenar y liberar el agua es determinada por los siguientes parámetros:

- I. Porosidad(n): mide el volumen relativo de los poros o vacíos en una formación geológica cualquiera. La parte más importante desde el punto de vista hidrogeológico es la porosidad eficaz (n_e) que mide la cantidad de agua que el acuífero puede liberar por acción de la gravedad, es decir el agua útil o realmente explotable.
- II. Permeabilidad (K): es la aptitud del medio para permitir el flujo del agua bajo el efecto de un gradiente hidráulico (diferencia de potencial hidrostático) por unidad de longitud.
- III. Transmisividad(T): si se considera un acuífero cuya zona saturada tiene una altura b , la Transmisividad se define como el volumen de agua por unidad de

tiempo(o caudal) que pasa a través de una sección vertical de ancho unitario y de una altura b, bajo el efecto de una unidad de gradiente hidráulico.

$$T = Kb$$

Es así que T tiene dimensiones $[L^2/T]$. Cuando se perfora un pozo en un acuífero, la Transmisividad es un parámetro que da una idea de la productividad del acuífero, es decir su capacidad del mismo para permitir la extracción del agua del pozo.

- IV. Coeficiente de almacenamiento (S): se define como el volumen de agua que es liberado por un prisma del acuífero de sección unitaria y de altura igual a la parte saturada del mismo cuando se produce un cambio unitario en el nivel piezómetro.

El coeficiente de almacenamiento es un numero adimensional y es mucho mayor en los acuíferos libres que en los acuíferos confinados, ya que para los primeros esta entre 0,02 y 0,3 y para los últimos entre 0,0001 y 0,001.²

1.3. TIPOS DE PRUEBA DE BOMBEO

Se dividen en:

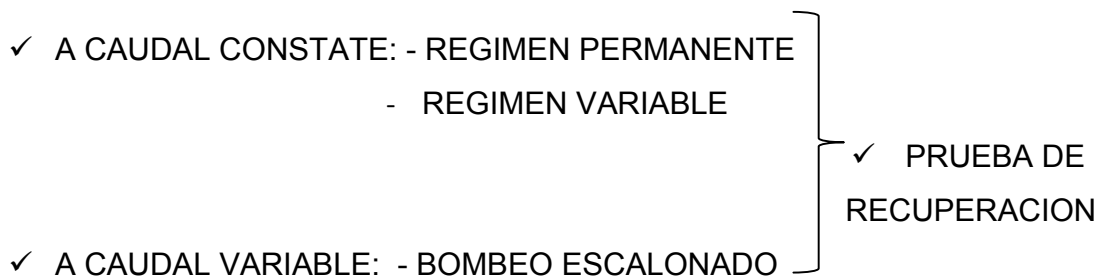


Figura 2. Tipo de pruebas de Bombeo.

² María V. Vélez Otalvaro, 1999.

Cuando se realiza el ensayo a caudal constante es preciso mantenerlo sin variación a lo largo de toda la prueba.

Se denomina régimen permanente aquel en el cual los niveles no varían con el tiempo, mientras que en el régimen variable si se produce esta variación.

Para la realización de las pruebas de bombeo se requiere un proceso u orden a seguir, para una correcta toma de datos, como es: antes de empezar el bombeo medir la profundidad del nivel del pozo de bombeo, y los de observación o piezómetros si los hubiera.

En la realización de un bombeo a caudal constante Q , los niveles descienden durante cierto tiempo. La interpretación de los resultados de la variación del nivel respecto al tiempo se está en un régimen variable. Si transcurrido un tiempo de bombeo los niveles se estabilizan o varían poco, interpretando los descensos totales habidos, con los niveles estabilizados en el pozo de bombeo o en los piezómetros de observación se estaría en un régimen permanente.

Cuando se para el bombeo, los niveles comienzan a ascender, tratando de alcanzar el nivel inicial en reposo. Si se interpretan estos niveles de ascenso respecto al tiempo después de la parada del bombeo, se denomina régimen variable de recuperación.

Para el caso de caudal variable, se realiza una prueba de modalidad de caudales escalonados. En esta se fija a voluntad o dependiendo del funcionamiento del tipo de bomba a usar distintos caudales, midiéndose la variación de nivel producida por cada uno de ellos. (VILLANUEVA, IGLESIAS 1984)

1.4. METODOS PARA EL CALCULO DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS

El cálculo de los parámetros hidráulicos; la Transmisividad y el coeficiente de almacenamiento, los acuíferos se dividen en régimen permanente y régimen variable. Durante el estudio de los sitios de bombeo se determinó con pruebas preliminares que se mencionan en el capítulo 4 del presente trabajo, el análisis para Acuíferos confinados y libres en régimen variable, por medio de un bombeo escalonado y prueba de recuperación de niveles.

I. ACUIFEROS CONFINADOS

a. Régimen variable

1.4.1. MÉTODO DE THEIS

Theis (1935) produjo un gran progreso al ser el primero que desarrolló una fórmula para régimen variable en la que toman parte el factor tiempo y el coeficiente de almacenamiento.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Donde $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ por lo tanto:

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

Dónde: $W(u)$ se llama función u del pozo o función del pozo de Theis.

Preparar la curva tipo de la función $W(u)$ vs $\frac{1}{u}$ en el papel doblemente logarítmico.

- Representar los valores de s y $\frac{r^2}{t}$ en otra hoja de papel doblemente logarítmico de la misma escala que la utilizada para la curva tipo.

- Colocar la representación de los datos reales sobre la curva tipo y manteniendo los ejes de coordenadas de ambas curvas paralelos, encontrar la posición en la que mejor se ajusten una a otra.
- Elegir el punto arbitrario A en la parte en que ambas hojas se solapan y determinar sus coordenadas W_{Co} , $\frac{1}{u}$, s y $\frac{t}{r^2}$. Para simplificar grandemente los cálculos se puede elegir el punto de coordenadas $W_{Co} = 1$, $\frac{1}{u} = 10$
- Sustituir los valores de W_{Co} , s y Q en la ecuación $T = \frac{Q}{4\pi s} W_{Co}$ y obtener T.
- Calcular $S = 4T \left(\frac{t}{r^2}\right) u$, sustituyendo los valores de T, $\frac{r^2}{t}$, u.

1.4.2. MÉTODO DE JACOB

El método de Jacob esta también basado en la fórmula de Theis. Aplicada para términos pequeños de $u < 0,01$. Los valores de Transmisividad T y coeficiente de almacenamiento S, se determinan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$

$$T = \frac{2,30Q}{4\pi \Delta s}$$

El método se desarrolla siguiendo el procedimiento:

- Representar, en papel semi-logarítmico, los valores de s en función del tiempo correspondientes a un piezómetro ($r = \text{constante}$) situando los valores del tiempo t en la escala logarítmica. A continuación trazar una línea recta que ajuste a los puntos marcados.
- Alargar la línea recta hasta que coste al eje del tiempo $s=0$ y leer el valor de t_0 .
- Determinar la pendiente de dicha recta, por ejemplo, midiendo el valor de la diferencia de descensos Δs por ciclo logarítmico de tiempo.
- Sustituir los valores de Q, Δs , en las ecuaciones y obtener T. conocidos los valores de T y t_0 calcular S.

II. ACUIFEROS LIBRES

b. Régimen variable

En un acuífero libre en el que no son aparentes los efectos de rendimiento retardado, el patrón del flujo hacia un pozo es el mismo que en un acuífero confinado. En consecuencia se pueden utilizar los métodos de Thiem y Jacob, siempre y cuando satisfagan los supuestos de cada método t las siguientes condiciones limitantes:

- Acuífero libre
- Flujo de agua hacia el pozo en régimen variable
- Se descarga el agua extraída del almacenamiento al mismo tiempo que se produce el descenso de la carga hidráulica, es decir, no hay efectos de rendimiento retardado.
- El diámetro del pozo es muy pequeño, es decir, se puede despreciar el almacenamiento del agua en él.

Se debe reemplazar en las ecuaciones el valor de s por el de $s' = s - s^2/2D$.

1.4.3. **Métodos Para Acuíferos Bombeados Con Caudal De Descarga Variable.**

1.4.3.1. **Caudal de descarga que decrece continuamente.**

- Método de Arron-Scott

Si la carga hidráulica en el pozo de bombeo disminuye, muchas bombas presentan un descenso del caudal de descarga; este descenso depende de la disminución de la carga hidráulica conforme aumenta el tiempo de bombeo. Generalmente, se puede expresar matemáticamente el descenso del caudal de descarga; corrientemente, el mayor descenso se produce poco después de comenzar el bombeo.

Aron y Scott(1965), propusieron un método simplificado aplicable a ensayos por bombeo en acuíferos confinados o libres, donde el mayor descenso del caudal de

descarga se produce poco después de comenzar el bombeo. Utilizando las siguientes formulas:

$$T = \frac{2,30}{4\pi\Delta\left(\frac{s_t}{Q_t}\right)}$$

Donde $\Delta\left(\frac{s_t}{Q_t}\right)$ es la diferencia de descenso específico del nivel de agua por ciclo logarítmico de tiempo y

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$

Donde t_0 es el punto donde la recta trazada por los puntos corta a una paralela

con el eje x cuyo valor de $\frac{s_t}{Q_t} = \overline{\frac{s_g}{Q_t}}$; la gráfica está hecha en papel semi-logarítmico. El valor de $\overline{\frac{s_g}{Q_t}}$ es la media de varios valores de $\frac{s_g}{Q_t}$ calculados por medio de la ecuación

$$\frac{s_g}{Q_t} = \frac{\left(\frac{Q_t}{Q_t}\right) - 1}{2,25\pi T}$$

Procedimiento:

- Representar para uno de los piezómetros en papel semi-logarítmico los valores de $\frac{s_t}{Q_t}$ en función de los de t, en la escala logarítmica. Ajusta una línea recta a los puntos obtenidos.
- Determinar la pendiente de la recta, $\Delta\left(\frac{s_t}{Q_t}\right)$; dicho valor indica el descenso específico del nivel de agua por ciclo logarítmico de tiempo.
- Reemplazamos y calculamos T.
- $\frac{s_g}{Q_t}$ lo calculamos reemplazando T y con varios valores de t y determinamos el valor medio $\overline{\frac{s_g}{Q_t}}$.
- Determinar el punto de corte de la línea recta con la paralela al eje x para el valor de $\frac{s_t}{Q_t} = \overline{\frac{s_g}{Q_t}}$. El valor de t para el punto de corte citado es t_0 .

- Calcular S.

1.4.4. Método De Recuperación De Niveles

Una vez terminado el bombeo el nivel del agua dejara de descender y comenzara a subir hasta su posición original; este periodo de ascenso es llamado recuperación del pozo. Se puede medir dicho ascenso del nivel de agua por medios del descenso residual s'' , es decir la diferencia entre el nivel del agua antes de comenzar el bombeo y el nivel actual, medida en un cierto momento t'' después de finalizado el bombeo.

Con los datos obtenidos durante el periodo de recuperación se puede calcular la Transmisividad, sirviendo de comprobación de los resultados obtenidos con los datos recogidos durante el bombeo. Además, tiene la ventaja de que durante este periodo el caudal de descarga Q es constante e igual al caudal medio extraído durante el bombeo. Esto significa que durante el periodo de recuperación no se producen diferencias en el descenso, debidas a variaciones en el caudal de descarga del bombeo.

Según Theis (1935) el descenso residual s'' durante el periodo de recuperación viene dado por

$$s'' = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \frac{4Tt}{(r^2 S)} - \ln \frac{4Tt''}{(r^2 S'')} \right]$$

Dónde:

- s'' = descenso residual en m
- r = distancia del pozo de observación al del bombeo en m; si se considera el pozo de bombeo mismo, $r=r_w$ = radio efectivo del pozo de bombeo.
- S'' = coeficiente de almacenamiento durante la recuperación, adimensional
- S= coeficiente de almacenamiento durante el bombeo, adimensional
- t= tiempo desde que comenzó el bombeo, en días.
- t'' = tiempo desde que termino el bombeo, en días

- Q = caudal de recarga = caudal de descarga en $m^3/día$.

Si S y S'' se constantes e iguales y si además $u = r^2 S / 4Tt''$ es suficientemente pequeño, la ecuación se puede escribir de la siguiente forma:

$$s = 2,30Q / 4\pi T \log_{10} t/t''$$

A escala semi-logarítmica se representan los valores de S'' en relación con los de t/t'' correspondientes a un piezómetro (t/t'' en la escala logarítmica), del gráfico se puede obtener el valor de $\Delta s''$, descenso residual por ciclo logarítmico de t/t'' ; se sustituye dicho valor en:

$$T = 2,30Q / 4\Delta s''$$

Observación: no se puede obtener con este método ningún valor de S .³

1.5. POZO DE BOMBEO

Perforación vertical, generalmente en forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo radial. (Vélez, Otalvaro 1999).

1.6. PIEZOMETRO

Pozo perforado para medir el efecto en el nivel del agua, al realizarse una extracción en el pozo de bombeo. Con esta finalidad se debe disponer de un cierto número de piezómetros en las cercanías del pozo de descarga. Los piezómetros son construidos con un tubo por el cual el agua asciende por su propia presión hidrostática. Cada piezómetro es diseñado dependiendo del tipo de acuífero y del sistema constructivo.

³ KRUSEMAN, G.P y DE RIDDER, N.A., (1975), *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE ENSAYOS POR BOMBEO*. Holanda.

2. PLANEACION Y DESARROLLO DE PRUEBAS DE BOMBEO

La ejecución de pruebas de bombeo requiere una correcta planeación para la obtención de los mejores resultados; la ubicación de los sitios de prueba, manejo y selección de equipos, duración de la prueba, caudales de bombeo, medición de niveles, aforos, fuente de energía para las bombas, etc., son requerimientos necesarios para la realización de pruebas de bombeo.

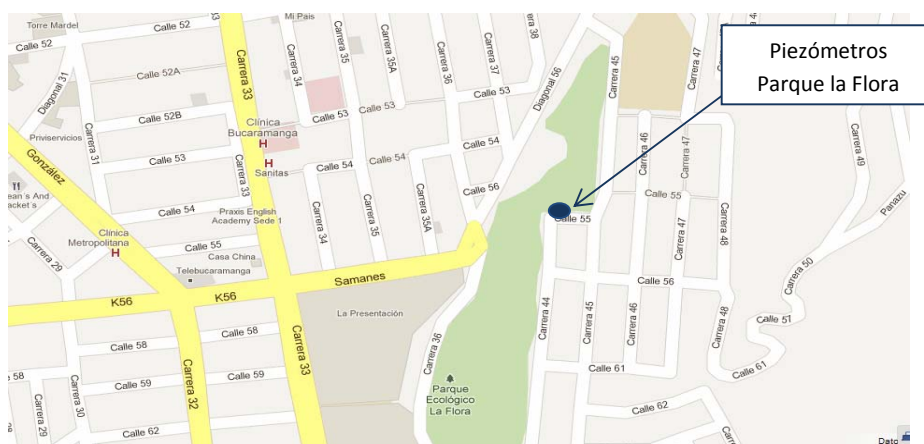
2.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCION SITIOS DE BOMBEO

En este proyecto Los sitios de bombeo están ubicados en la zona oriental del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, su ubicación exacta se encuentra en las planchas 120-II-B, 121-I-A y 119-IV-D del instituto Geográfico Agustín Codazzi.(Ver figuras 3 y 5.)

2.1.1. Piezometros Parque La Flora

Los piezómetros de estudio del parque la Flora se encuentran ubicados en la zona nororiental del parque, lindando con la intersección de la carrera 44 con la calle 55 en el barrio terrazas al oriente de la ciudad de Bucaramanga. Estos piezómetros se encuentran instrumentados y permiten estudiar las aguas subterráneas del acuífero superficial y/o profundo del depósito aluvial de la Meseta de Bucaramanga.

Figura 3. Localización Piezómetros Parque la Flora.



Fuente: (Google Maps)

Tabla 1. Ubicación piezómetros Parque la Flora.

Piezómetro	Coordenadas	Cota-GPS	Formación geológica
Parque la Flora N°1(superficial)	E=1107171.00	955.811	Aluvial(formación Bucaramanga)
	N=1278000.00		
Parque la Flora N°1(Profundo)	E=1107283.305	955.812	Aluvial(formación Bucaramanga)
	N=1278187.461		

(Gómez-Colegial 2003)

2.1.1.1. Diseño Piezómetros Parque La Flora

Estos piezómetros fueron construidos para estudiar el agua subterránea (Gómez, Colegial, 2003) en la parte oriental del abanico aluvial de Bucaramanga. Estos depósitos aluviales se encuentran sobre el basamento constituido por las siguientes rocas: rocas sedimentarias clásicas de edad jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al noroccidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta y formación Girón (Jg) la cual se ubica principalmente al occidente del Área Metropolitana de Bucaramanga, noroccidente de Piedecuesta y Norte de Floridablanca . En la tabla 2 se presentan

las características hidrogeológicas generales encontradas durante la perforación de los piezómetros.

ESPESOR (M)	PROFUNDIDAD (M) DE → HASTA	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
0.96	0-0.96	Arcilla gravosa, con cantos y bloques de arenisca silícea; húmeda.
9	0.96 – 10	Arcillas y limos gravosos, con cantos y bloques de areniscas. Nivel freático.
	10 - ?	Roca Ígnea, Cuarzomonzonita y Granito, con alto grado de meteorización y fracturamiento. Nivel saturado

Tabla 2. Columna estratigráfica Parque la Flora.(Gómez, Colegial 2003)

Diseño Geométrico Piezómetro No. 1.

Para el Piezómetro N°1 (*identificado como pozo superficial*), se realizó la perforación con un tamaño de 3", instalando un piezómetro el cual se revistió en tubería de PVC 2", el pozo tiene una profundidad de 23.93 metros ubicándose el nivel freático a los 2.79 metros, los filtros instalados se encuentran ubicados en toda la longitud del pozo con un espesor de 0.5" cada uno, utilizando como material de filtro gravilla N°2, con un peso específico de 1.53 Ton/m³.(Ver figura 4)

Diseño Geométrico Piezómetro No. 2

Para el piezómetro No. 2 (*identificado como pozo profundo*), se realizó la perforación con un tamaño de 3", instalando un piezómetro el cual se revistió en tubería de PVC 2", el pozo tiene una profundidad de 50.5 metros ubicándose el nivel freático a los 30.1 metros. Los filtros instalados se encuentran en los últimos 20.4 metros del pozo con un espesor de 0.5" cada uno, utilizando como material de filtro gravilla N°2, con un peso específico de 1.53 Ton/m³. (Ver figura 4)

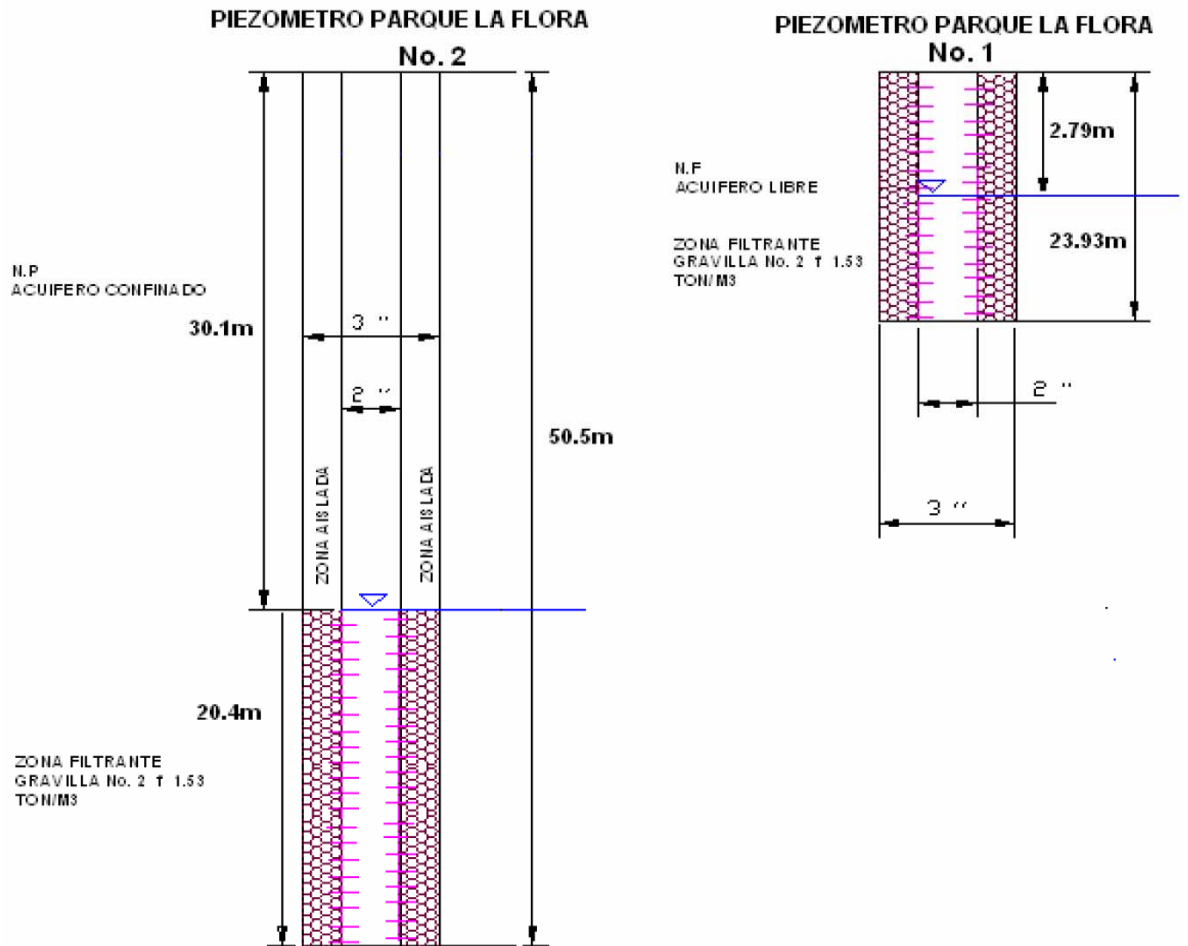


Figura 4. Esquema diseño piezómetros Parque la Flora.Fuente:(Pulido, Nieto 2010)

2.1.2. Piezómetros Bajos De Pan De Azucar

Los piezómetros de estudio del Barrio Bajos de Pan de Azúcar se encuentran ubicados en la carrera 56 con la calle 51 al oriente de la ciudad de Bucaramanga. Los piezómetros se diseñaron de manera que miden aguas subterráneas de un acuífero confinado (profundo) y de un acuífero libre o semiconfinado (superficial). (Gomez, Colegial.2003).(Ver Figura 5)

Tabla 3. Ubicación piezómetros Bajos de pan de Azúcar.

Piezómetro	Coordenadas	Cota-GPS	Formación geológica
Pan de azúcar N°1(superficial)	E=1104431.516	1039.096	Roca Ígnea
	N=1280788.283		
Pan de azúcar N°1(Profundo)	E=1105295.382	1039.324	Roca Ígnea
	N=1278366.072		

(Gómez-Colegial 2003)

Figura 5. Localización Piezómetros Bajos de Pan de Azúcar.



Fuente: (Google Maps)

2.1.2.1 Diseño Piezometros En Bajos De Pan De Azucar.

La litología encontrada en profundidad corresponde a un cuerpo ígneo donde el grado de meteorización y fracturamiento varían en profundidad donde se evidencian algunos cambios composicionales de cuarzo, granito a cuarzomonzonita y materiales feldespáticos, las divisiones que se realizan en la columna litológica no obedecen a cambios litológicos marcados sino al fracturamiento y meteorización en que se encuentra la roca, además de diques intrusivos. (Gómez, Colegial, 2003). En el siguiente cuadro se presenta en profundidad la descripción litológica general.

1.1 PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
12	Granito rosado meteorizado. Nivel freático a los 6.6 metros.
42.04	Roca meteorizada.
48	Granodiorita gris verdosa, fracturada y presencia de arcillas.
55.4	Granito a cuarzomonzonita anfibolica rosada, poco fracturada.
64.5	Granodiorita gris verdosa con buen fracturamiento .
69.15	Granito a cuarzomonzonita rosada, meteorizada.
72.5	Diorita gris verdosa, bajo grado de fracturamiento.

Tabla 4. Litología Bajos de pan de Azúcar. (Gómez, Colegial 2003)

Diseño Geométrico Piezómetro No. 1

Para el Piezómetro N°1 (*identificado como pozo superficial*), se realizó la perforación con un tamaño de 3", instalando un piezómetro el cual se revistió en tubería de PVC 2", el pozo tiene una profundidad de 20 metros ubicándose el nivel freático a los 10 metros, los filtros instalados se encuentran ubicados en toda la longitud del pozo con un espesor de 0.5" cada uno, utilizando como material de filtro gravilla N°2, con un peso específico de 1.53 Ton/m³. A los 50 cm se instaló un sello sanitario en concreto y tapa en hierro. (Gómez, Colegial, 2003.),

(Ver figura 12)

Diseño Geométrico Piezómetro No. 2

A una distancia de 2.5 metros del piezómetro No 1 hacia el Oriente se encuentra ubicado el Piezómetro No. 2 (*identificado como pozo profundo*) en el cual fue realizada la perforación con un tamaño de 3", instalando un piezómetro el cual se revistió en tubería de PVC 2". El pozo tiene una profundidad de 70 metros ubicándose el nivel freático a los 6.6 metros. Los filtros instalados se encuentran en los últimos 12 metros del pozo con un espesor de 0.5" cada uno, utilizando como material de filtro gravilla N°2, con un peso específico de 1.53 Ton/m³, sobre esta una transición de arena gruesa y arena fina y sobre esta un sello de

bentonita. A los 50 cm se instaló un sello sanitario en concreto y tapa en hierro. (Gómez, Colegial, 2003.) (Ver figura 6)

A continuación se observa un esquema de los diseños de los piezómetros perforados en el barrio Bajos de Pan de Azúcar.

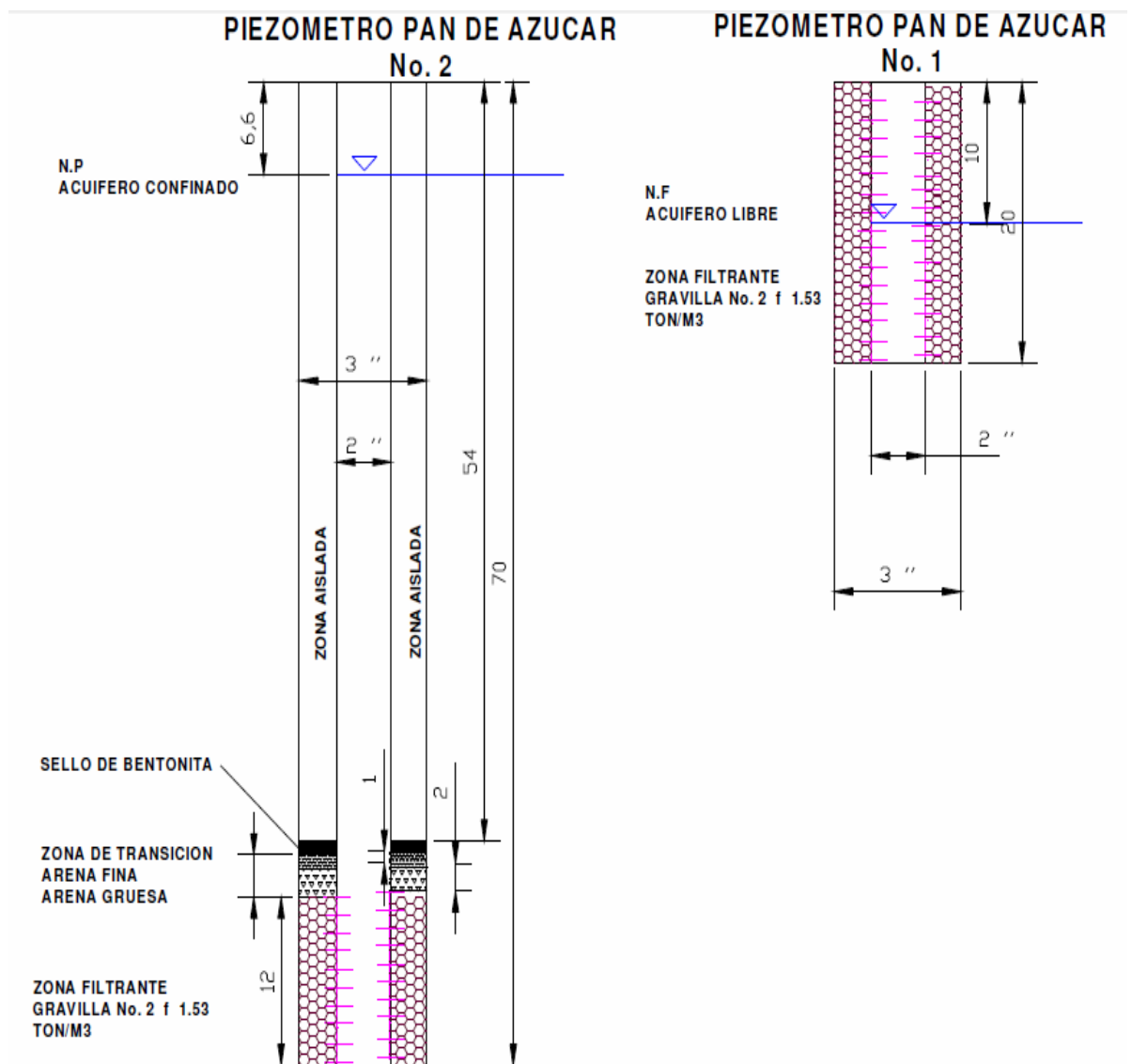


Figura 6. Esquema diseño piezómetros Bajos de pan de Azúcar (Gómez, Colegial 2003)

2.2. EQUIPO UTILIZADO.

A continuación se describen los equipos utilizados durante las pruebas de bombeo realizadas en este trabajo, que se adaptan a las condiciones de los piezómetros construidos.

2.2.1. Bomba Peristáltica

Los Piezómetros que se encuentran en los pozos de estudio tienen un Diámetro DE 2” para ello se necesita un equipo de bombeo que pueda ser introducido sin ningún problema a dichos piezómetros para el abatimiento y limpieza de los pozos. (Ver figura 7)

Figura 7. Bombas Peristálticas.



1920.57.00 Submersible pump
COMET-COMBI 24-4T

1920.57.00 Submersible pump COMET-
COMBI 24-24A +24-4T

PROFUNDIDAD MAXIMA DE ABATIMIENTO	36	m	PROFUNDIDAD MAXIMA DE ABATIMIENTO	60	m
ALTURA DE LA BOMBA	480	mm	ALTURA DE LA BOMBA	480	mm
DIAMETRO	20	mm	DIAMETRO	20	mm
PESO	5,3	Kg	PESO	11,8	Kg
AMPERAJE	11,5	A (Amperios)	AMPERAJE	20	A (Amperios)
VOLTAJE	24	V (Voltios)	VOLTAJE	24	V (Voltios)
LONGITUD DE LA MANGUERA	40	m	LONGITUD DE LA MANGUERA	33	m
LONGITUD DEL CABLE	40	m	LONGITUD DEL CABLE	66	m

Tabla 5. Características Bombas Peristálticas.Fuente: [:\(http://www.comet-pumpen.de\)](http://www.comet-pumpen.de)

2.2.2. Carga Y Funcionamiento De Las Bombas Peristálticas.

El funcionamiento de la Bomba Peristáltica depende un tipo de Baterías recargables de Gel Acido de 12 V y 12 A, los cuales se deben conectar en serie para obtener los 24 voltios que requiere cada Bomba Peristáltica. Para la bomba tipo “1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4T” se requiere un par de Baterías ya que su sistema cuenta con una sola bomba, por lo contrario en la bomba tipo “1930.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4A+24-T” se requieren dos pares de Baterías ya que su sistema cuenta con 2 bombas como se puede observar en la figura 8.



Figura 8. Esquema baterías recargables.

- La recarga de las baterías se debe hacer en serie, y durante un tiempo igual o superior a seis (6) horas (recomendado por el fabricante) con su respectivo cargador.
- Para cada Bomba Peristáltica el intervalo de uso recomendado es 5 minutos de bombeo del agua y 10 minutos para la refrigeración de esta.
- La capacidad del bombeo de agua es inversamente proporcional a la profundidad a la cual esté trabajando la bomba.

2.2.3. Sensor De Profundidad

Este equipo fue utilizado para hacer la medición de niveles en los piezómetros estudiados, consta de una cinta métrica con una longitud total de 100 m enrollada en su totalidad, al final de la cinta encontramos un electrodo, el cual al tener contacto con el agua, activa un sistema de alumbramiento que tiene el sensor al lado derecho y emite un sonido monofónico “ Bip” .Además el sensor cuenta con un sistema de freno en la parte izquierda del mismo para controlar la cinta en su desenrolle. (Ver Figura 9)



Figura 9. Sensor de profundidad.

2.2.4. Equipo Para Medición Continua De Niveles

2.2.4.1. DIVER

El Diver es un instrumento herméticamente sellado de Acero Inoxidable lo que lo hace insensible a la humedad, de Gran Precisión y de control automático para medir el agua subterránea y la temperatura con fecha y hora, además cuenta con una batería de larga duración.



Figura 10. Diver.

El DIVER usado en las pruebas de Bombeo es de tipo **DI241**, el cual tiene un Diámetro de 18 mm y una longitud de 88 mm, este dispositivo almacena hasta 48000 registros de marca de tiempo, presión y temperatura, también consta de:

CARACTERISTICAS	PRESIÓN	TEMPERATURA
Rango de medición en altura de Agua	10 mH2O	(-) 20 - 80 °c
Precisión	14cmH2O	(+/-) 0,1 °c
Resolución	0.2cm	0,01 °c

Tabla 6. Características Diver.

2.2.3.1 BARODIVER

EL BaroDiver es utilizado para medir las variaciones en la presión atmosférica los cuales serán compensados con el Diver para hallar la columna de agua. Esta compensación se realiza por medio del software LoggerDataManager.

Este equipo tiene que ser instalado por encima de la línea de flotación asegurando así, que no esté sumergido dentro del agua.



Figura 11. BaroDiver.

El BaroDiver usado en nuestras pruebas de Bombeo es de tipo **DI250** el cual tiene un Diámetro de 22mm y una longitud de 90mm, este dispositivo almacena hasta 24000 registros de marca de tiempo, también consta de:

CARACTERISTICAS	PRESIÓN	TEMPERATURA
Rango de medición en altura de Agua	9,5 - 11 mH2O	(-) 20 - 80 °c
Precisión	-	(+/-) 0,1 °c
Resolución	0.1 cm	0,01 °c

Tabla 7. Características BaroDiver.

✓ Diagrama de Diver y BaroDiver en un Piezómetro

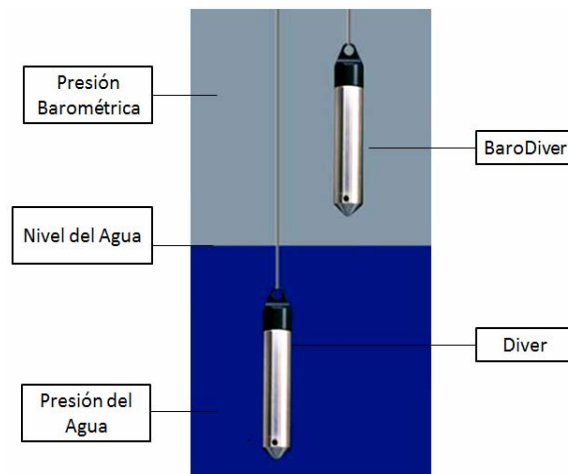


Figura 12. Diagrama Diver y BaroDiver en un piezómetro.

2.3. SOFTWARE AQUIFER TEST PRO

La prueba de bombeo consiste en tomar numerosas mediciones del nivel del agua, una vez se inicia el bombeo en el pozo, y se toman datos de niveles en diferentes tiempos, lo cual permite obtener una curva de abatimiento y así determinar las características del acuífero. Estas características se utilizan para predecir los efectos de reducción del bombeo, para determinar la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del acuífero y para determinar la cantidad de agua que es almacenada o liberada del mismo, sin embargo, la interpretación de las mediciones de campo es a menudo una tarea tediosa, que implica el manejo de grandes cantidades de datos a través del tiempo.

Aquifer Test Pro es un software creado para almacenar, analizar y reportar datos del bombeo que permite el análisis de prácticamente cualquier condición del acuífero. Las Capacidades analíticas que tiene el software se complementan con un conjunto de técnicas fáciles de usar de representación Gráfica y elaboración de Informe, desarrollado por Schlumberger Water Services.

Entre las Principales Características y Beneficios del Software tenemos:

- Gráficos de diagnóstico: Compara datos observados a curvas estándar en escalas logarítmicas y semi logarítmicas, para ayudar a determinar el tipo de acuífero antes de ejecutar el análisis.
- Estadísticas de Ajuste: Muestra las estadísticas de la mejor línea de ajuste exportando los resultados a formatos TXT O XLS
- Muestra automáticamente la familia de curvas para los métodos tradicionales(Hantush, Neuman) para ayudar en el ajuste de curvas.

AquiferTest Pro propone soluciones a las pruebas de bombeo en:

- Acuíferos Confinados Y no confinados.

- Los acuíferos de extensión infinita o Limitados
- Acuíferos Isotrópicos y Anisotrópicos
- Simples o Múltiples Pozos de Bombeo

Los Métodos de Análisis incluyen:

- Confinado: Theis, Cooper-Jacob
- No Confinado: Boulton, Neuman (mejor rendimiento), Theis-Jacob.

Las Gráficas del Acuífer Test Pro se caracterizan por:

- Un Ajuste de Gráfica Flexible (especifica intervalos máximos y mínimos, líneas de gradientes y escala logarítmica)
- Parámetros de diálogo flotante para el ajuste de T, S y los valores de K para los múltiples pozos
- Mostrar valores de los parámetros calculados para todos los pozos simultáneamente

✓ **Para el manejo del Software se desarrollaron pruebas de bombeo ya definidas, buscando entender: el funcionamiento, manejo adecuado de los datos de entrada y el proceso de análisis que se realiza para la determinación de los parámetros hidráulicos.**

A continuación se presenta el Ejemplo 9.1 del libro Hidráulica de Aguas Subterráneas (Vélez Ojalvo, 1999)

Sea el caso de un pozo completo en el que se bombea constantemente un caudal de 31,5 l/s. los abatimientos (curva de abatimiento) se registran en la siguiente tabla y fueron medidos en un pozo de observación situado a 53,4 m del pozo de bombeo.

t en minutos	s en metros
0	0
2	0,37
3	0,58
4	0,75
5	0,89
6	1,02
7	1,11
8	1,25
10	1,4
14	1,68
18	1,87
24	2,14
30	2,37
40	2,59
50	2,75
60	2,9
80	3,06
120	3,14
180	3,2
240	3,25
360	3,3

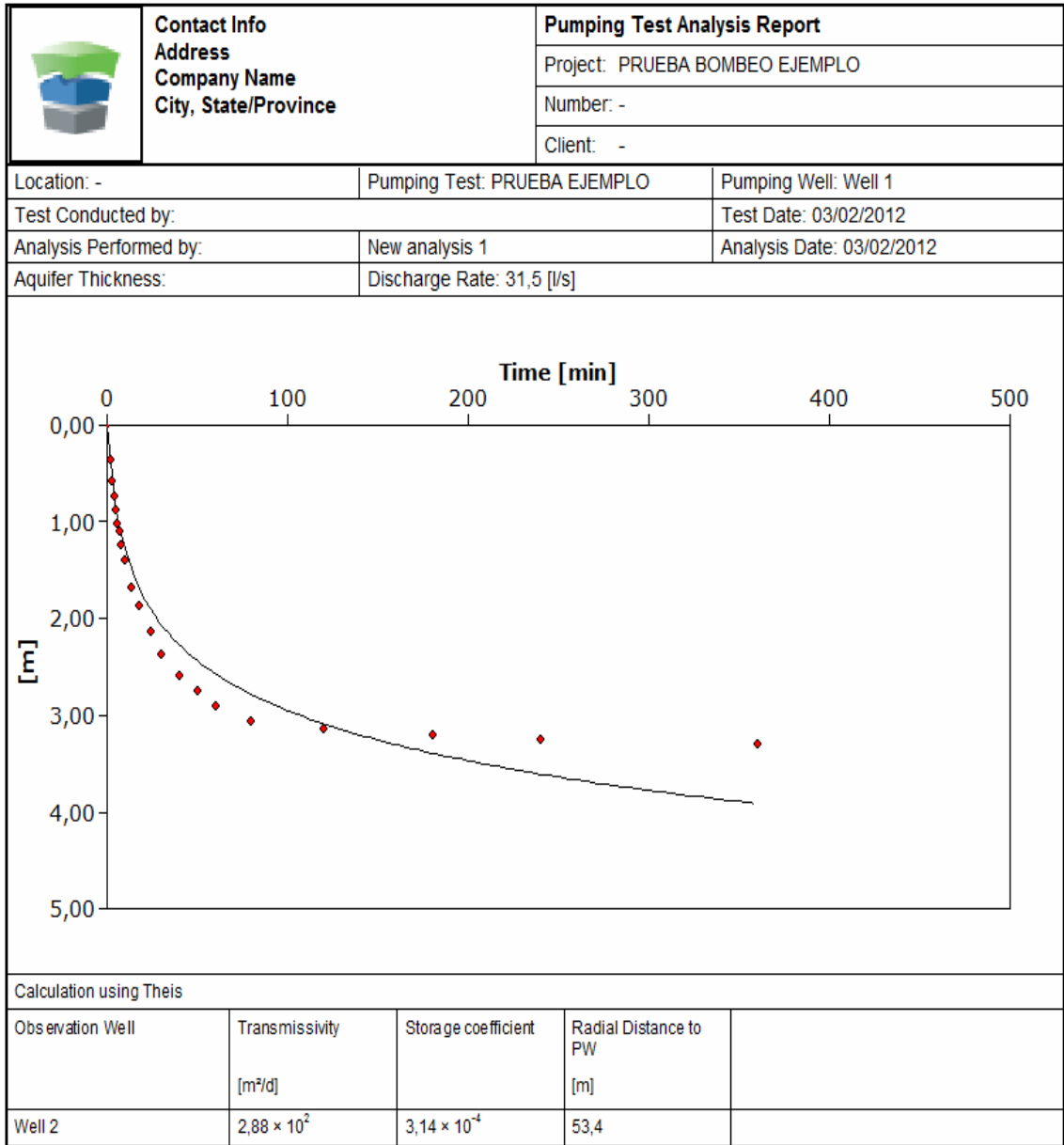


Figura 13. Resultado Acuífero test Pro. Prueba de Bombeo Ejemplo 9.1.(Veléz, Otalvaro)

El análisis permitió encontrar una Transmisividad de $288 \text{ m}^2/\text{día}$ y un coeficiente de almacenamiento de $3,14 \times 10^{-4}$, similares a los encontrados en el análisis realizado en el ejemplo por medio del método gráfico de superposición.

Lográndose el objetivo de conocer el funcionamiento y características del Software Aquifer Test pro.

2.4. DESARROLLO DE PRUEBAS DE BOMBEO

Un ensayo de bombeo consiste en la extracción de agua de un sistema de agua subterránea y con el objetivo de poder determinar las propiedades hidráulicas del acuífero donde se encuentra.

La ejecución de una prueba de bombeo se requiere una correcta planeación y organización, para obtener la información necesaria en el estudio hidráulico del acuífero. Por lo tanto se debe contar con; disponibilidad de tiempo, el equipo necesario para la toma de datos, y estudios preliminares que nos den parámetros del comportamiento del pozo frente al equipo utilizado.

Para las pruebas realizadas en los acuíferos de estudio, se realizaron varias pruebas preliminares para identificar el funcionamiento de las bombas, controlar y definir la forma de extracción de agua y la metodología a seguir para la toma de datos necesarios. Con estas pruebas se pudo especificar la duración, los medios a utilizar en el bombeo, y concretar el tipo de bombeo el cual se realizó de forma escalonada, con caudal decreciente.

2.4.1. Arreglo De Sistemas De Bombas

Para el desarrollo de las pruebas de bombeo se programó la utilización de un sistema de bombas peristálticas, con el fin de obtener la mayor eficiencia de cada bomba, ajustándose al diseño y características de cada piezómetro.

A continuación se presenta el esquema del sistema montado en cada piezómetro:

2.4.1.1. Diagrama de Bombas parque la Flora Piezómetro 2.

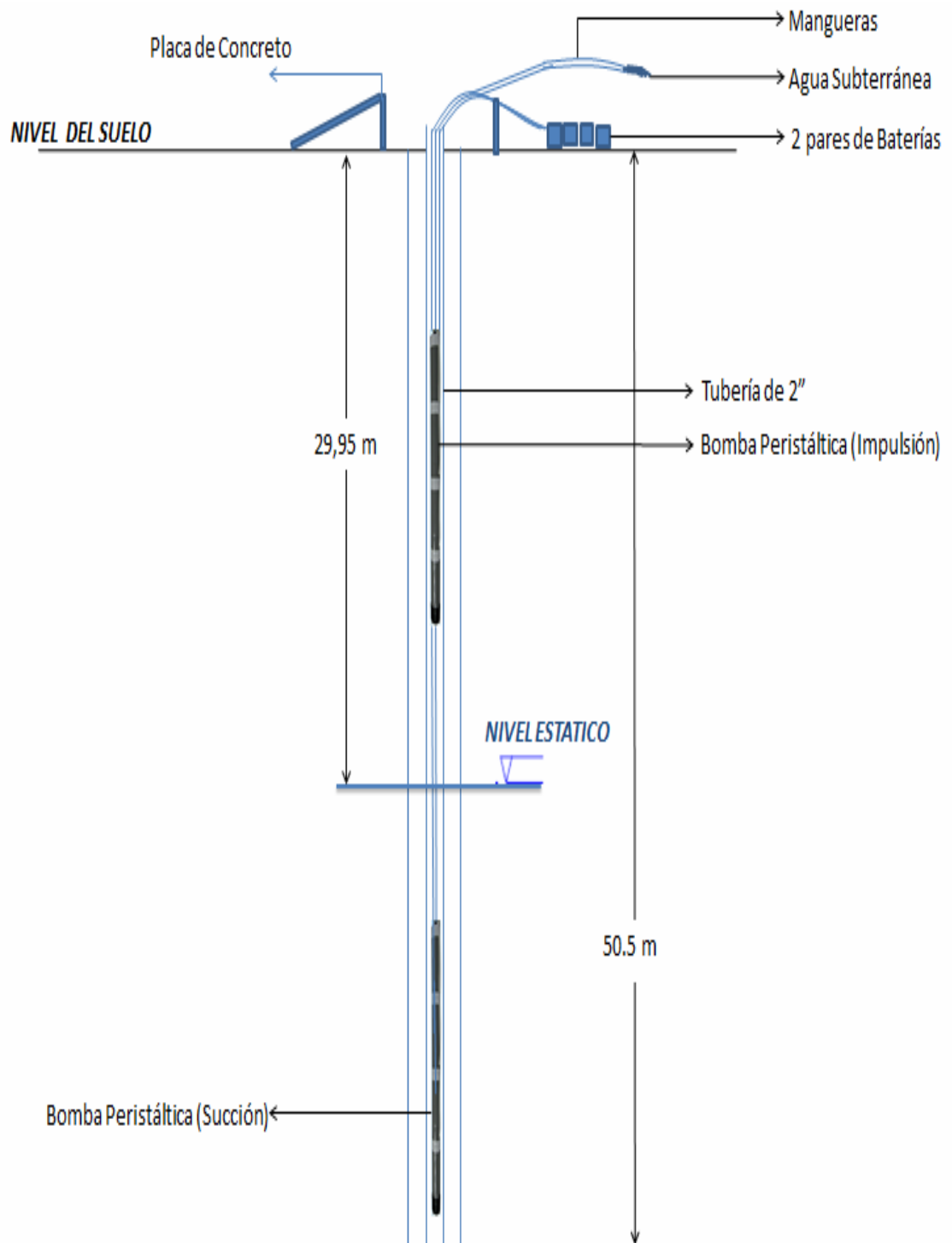


Figura 14. Diagrama de Bombas Parque la Flora Piezómetro 2

2.4.1.2. Diagrama de Bomba parque la Flora Piezómetro 1.

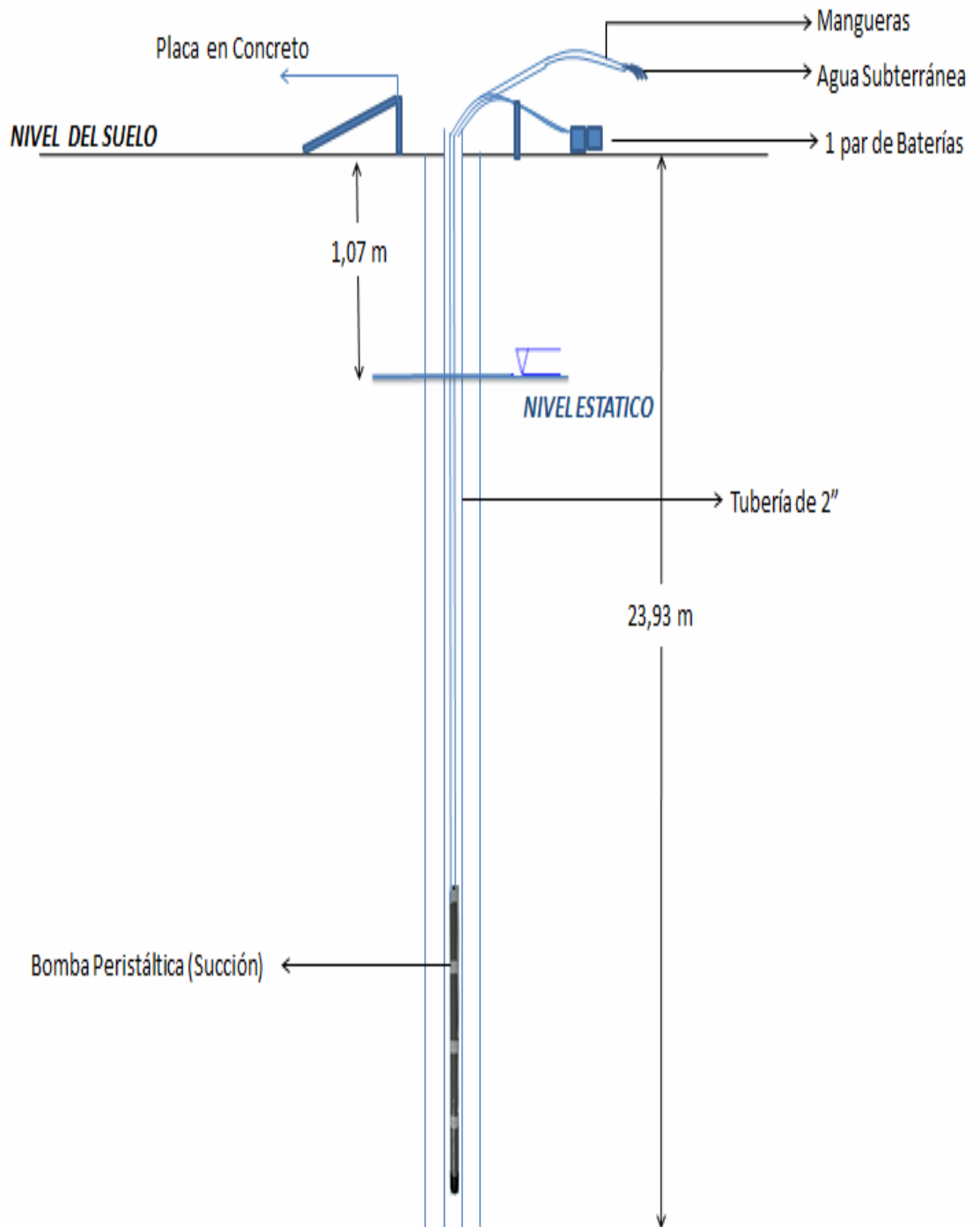


Figura 15. Diagrama de Bombas Parque la Flora Piezómetro 1

2.4.1.3. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 2.

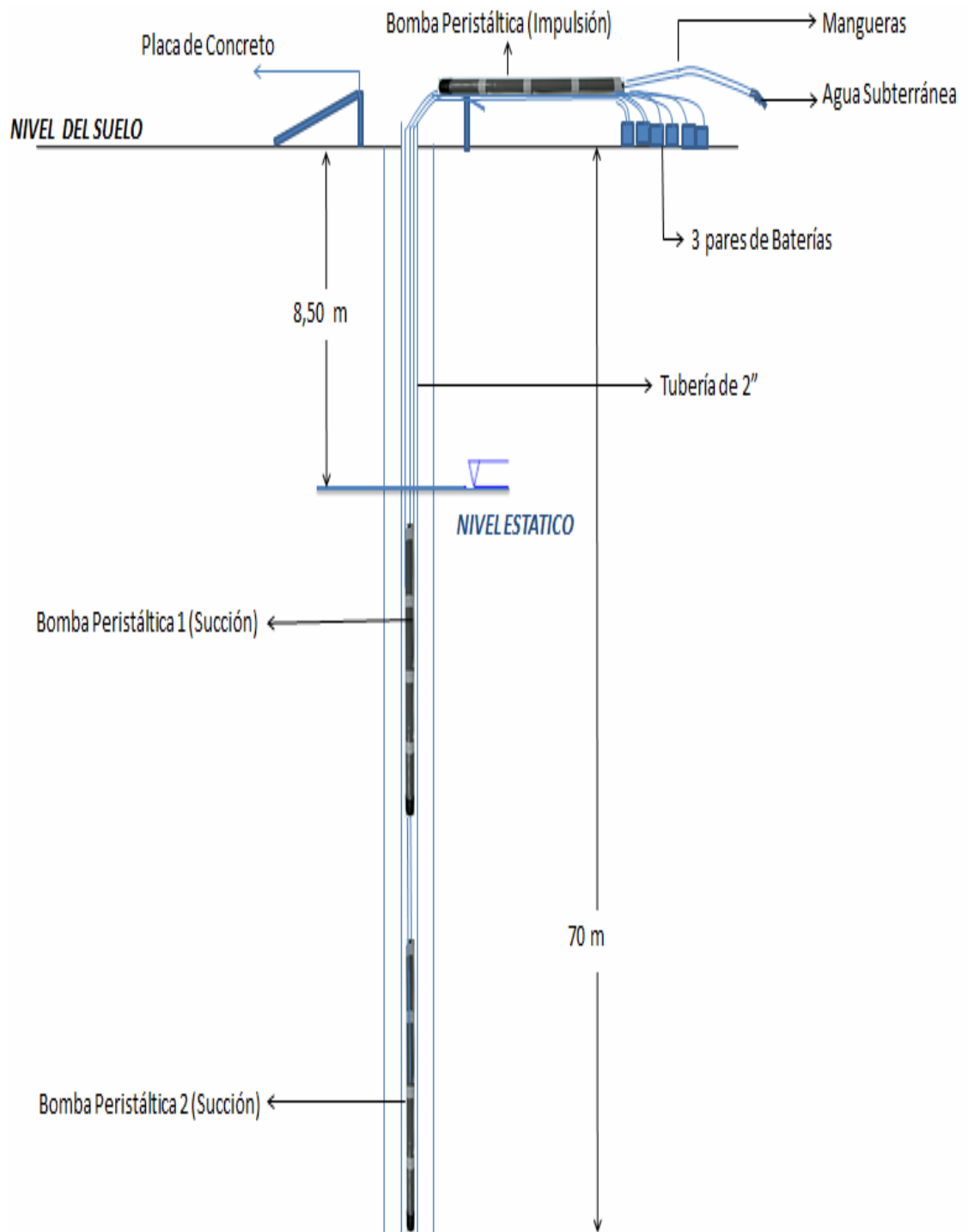


Figura 16. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 2

2.4.1.4. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 1.

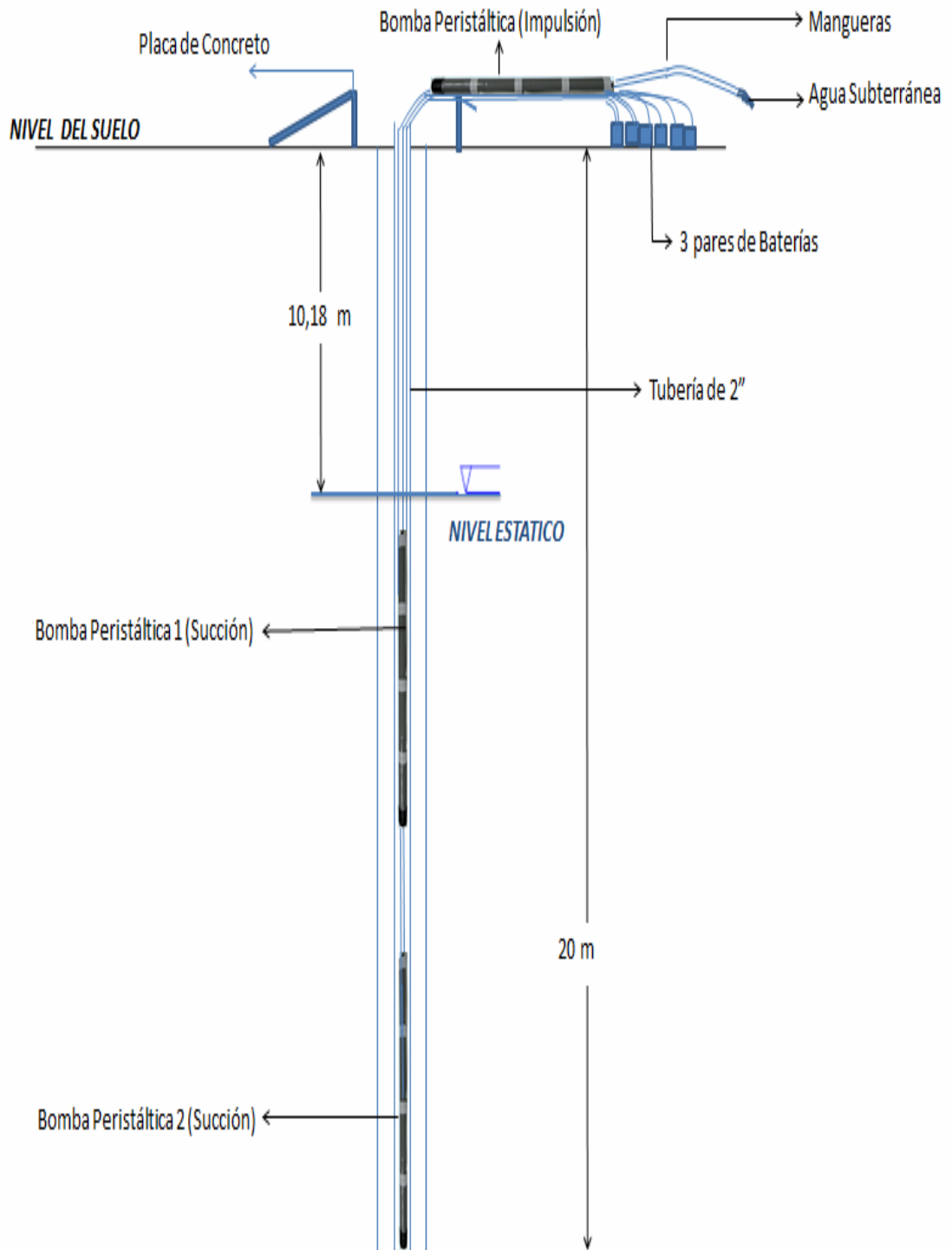


Figura 17. Diagrama de Bombas Bajos de Pan de Azúcar Piezómetro 1

2.4.2. Pruebas Realizadas En El Parque La Flora

El parque la Flora fue el primer escenario donde se llevaron a cabo las pruebas preliminares de los ensayos de Bombeo, estas pruebas se realizaron con el fin de conocer el funcionamiento del equipo, hacer una limpieza a los piezómetros, y obtener los parámetros del comportamiento en los pozos que serían objeto de nuestro estudio.

2.4.2.1. Prueba 1. Pozo Superficial

El día 1 de Junio del 2011 se llevó a cabo la prueba preliminar, con el fin de determinar el nivel freático estático del pozo profundo y del pozo superficial, el tiempo de funcionamiento de las baterías y el tipo de Bombas que serían usadas en los ensayos de Bombeo.

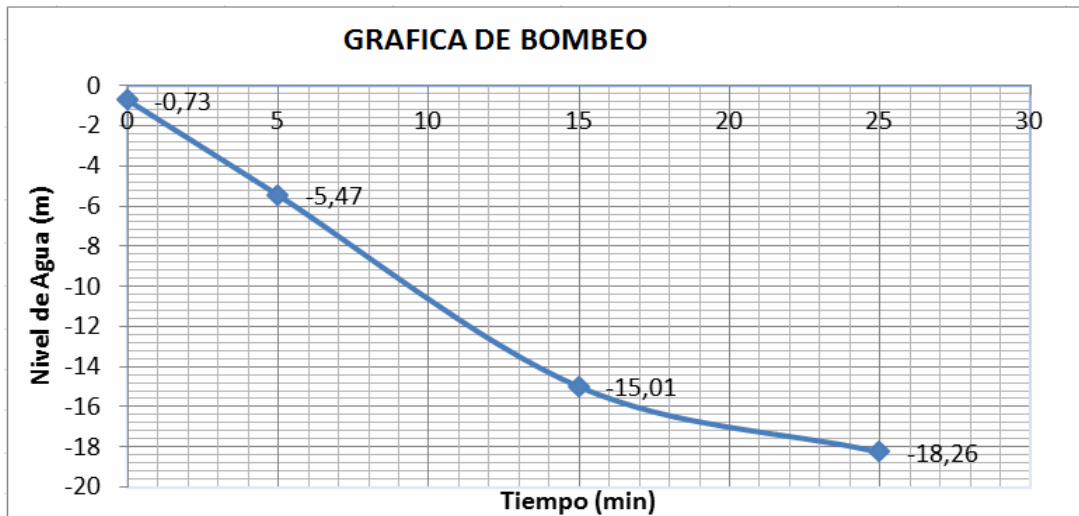


Gráfico 1. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora Prueba1.

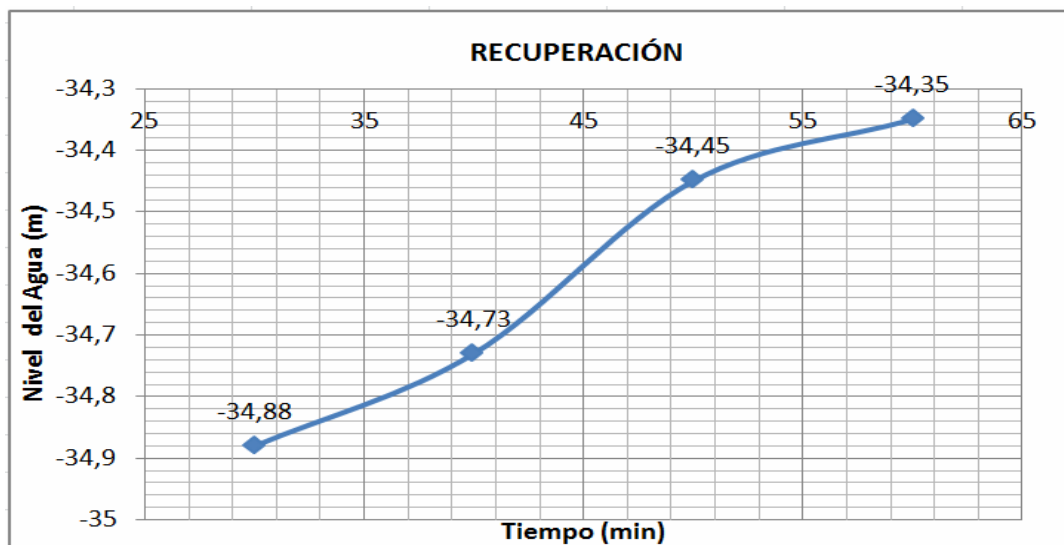


Grafico 2. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora Prueba1.

En este pozo el Nivel freático se midió a tan solo 0,73 m de la superficie, por tanto la bomba peristáltica tuvo un mejor rendimiento y así una extracción de agua significativa, la prueba tuvo una duración de 25 minutos, empezando a las 9:40 am y finalizando a las 10:05 am en la cual se trabajó con un par de baterías empleadas para el sistema. La prueba finalizó ya que al llegar a los 18,26 m de Bombeo, la Bomba peristáltica empezó a extraer lodo del pozo, razón por la cual se detuvo la misma para evitar daños en los filtros de la Bomba.

2.4.2.2. Prueba 2 pozo Profundo

Esta prueba se llevó a cabo el 8 de Septiembre del 2011, la cual tuvo una duración de 47,57 minutos. El sistema de bombeo usado fue escalonado, (5 minutos de bombeo y 10 minutos de descanso para las Bombas), se usaron dos (2) pares de baterías ya que se trabajó con la bomba "1930.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-A+24-T"

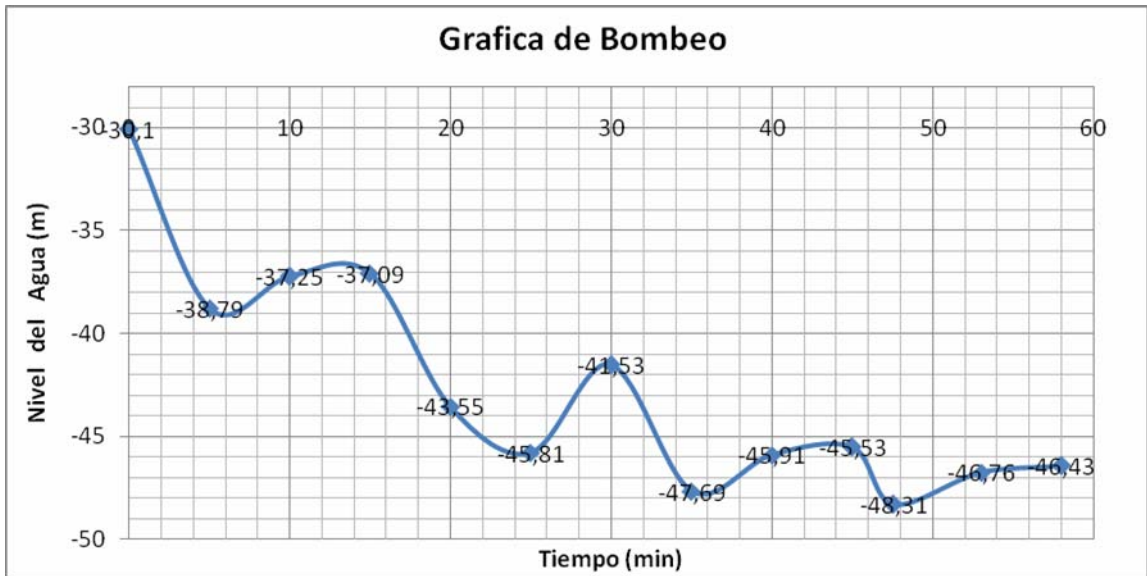


Grafico 3. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.



Grafico 4. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.

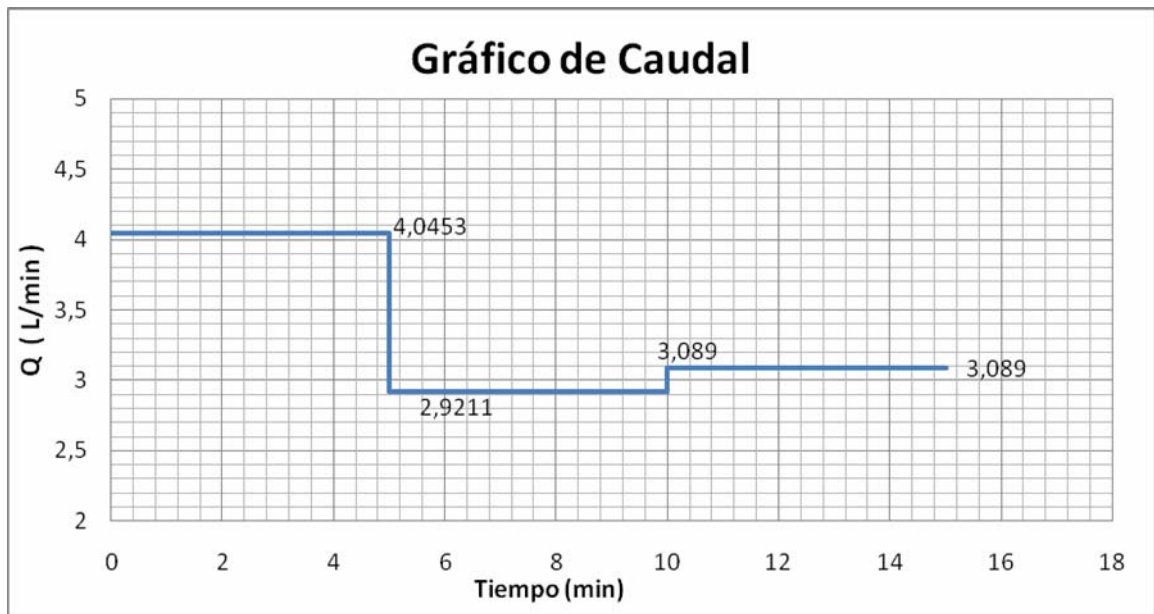


Gráfico 5. Caudal Pozo Profundo Parque la Flora Prueba 2.

Se realizó el aforo correspondiente para determinar los posibles caudales, el pozo se logró abatir hasta una profundidad de 48,31 m durante 48 minutos. Los datos tomados en la recuperación del pozo, posterior a la prueba de bombeo, se realizaron manualmente durante un periodo de 5 horas.

2.4.2.3. Prueba Final Pozo Profundo

La prueba final en el pozo profundo del parque la flora, se llevó a cabo el 21 de Septiembre del 2011, la cual tuvo una duración de 50 minutos. El sistema de Bombeo usado fue tipo escalonado (5 minutos de Bombeo y 10 minutos de descanso para las bombas) donde se usaron dos (2) pares de baterías, ya que se utilizó la bomba "1930.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-A+24-T".

Los abatimientos medidos y niveles de recuperación registrados se encuentran tabulados en el anexo C.



Grafico 6. Prueba Final. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora.



Grafico 7. Prueba Final. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora



Grafico 8. Prueba Final. Caudal Pozo Profundo Parque la Flora

2.4.2.4. Prueba Final Pozo Superficial

La prueba final en el pozo superficial del parque la flora, se llevó a cabo el 29 de Septiembre del 2011, la cual tuvo una duración de 1 hora con 20 minutos. El sistema de Bombeo usado fue tipo escalonado (5 minutos de Bombeo y 10 minutos de descanso para las bombas) donde se usó un (1) par de baterías, ya que se utilizó la bomba "1930.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-T". Los abatimientos medidos y niveles de recuperación registrados se encuentran tabulados en el anexo C.



Grafico 9. Prueba Final. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora

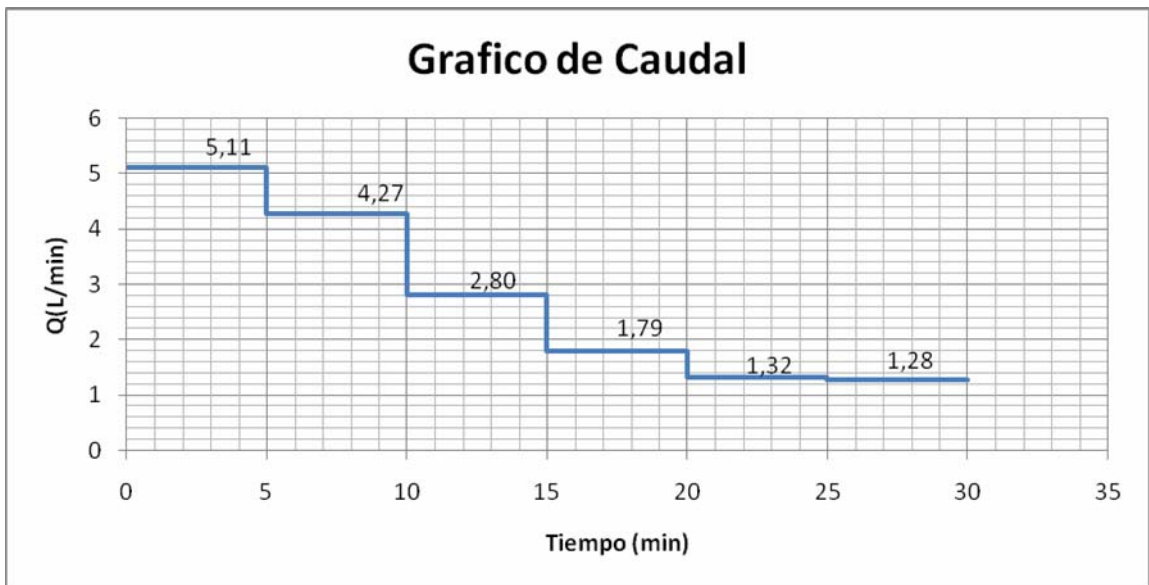


Grafico 10. Prueba Final. Caudal Pozo Superficial Parque la Flora



Gráfico 11. Prueba Final. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora

2.4.3. Pruebas Realizadas En Bajos De Pan De Azucar

Bajo la experiencia ya adquirida frente al manejo de las bombas peristálticas en las pruebas anteriores de los piezómetros del Parque la Flora, se realizó una prueba preliminar para determinar el tipo de prueba de bombeo para cada piezómetro en Bajos de Pan de Azúcar.

2.4.3.1. PRUEBA1. Bombeo con dispositivo en serie y paralelo de bombas.

El día 14 de octubre de 2011 se realizó una prueba de bombeo en el piezómetro N° 2 Pozo Profundo Bajos de Pan de Azúcar, basados en el análisis de estudios anteriores hechos en el pozo y buscando el mayor aprovechamiento de la capacidad de la bomba se planteó ensayar:

1. El sistema de bomba en serie utilizado en el parque la flora, más la adición de una bomba peristáltica que trabajara en conjunto, observar el comportamiento en el descenso del nivel de agua y su recuperación para determinar si es adecuado su uso en este pozo para la correcta obtención de datos.

2. El mismo sistema de bombas pero alternando su funcionamiento, así buscando un mayor abatimiento sin permitir un periodo de recarga entre bombeo.

NIVEL ESTÁTICO		8,71 m						
HORA Y FECHA DE INICIO		9:15 am, 14 de octubre 2011						
LOCALIDAD		Bajos de Pan de azúcar, Pozo profundo						
VOLUMEN		2 litros						
BOMBEO					AFORO			
TIEMPO [min]		Nivel del agua[m]		Recuperación		t ₁	t ₂	t ₃
10		9,99		8,79		11.16	12.74	12.27
20	25	9,91	9,86	8,80		10.75	12.28	13.84
35	40	9,84	9,85	8,80		12.33	12.89	13.44
50	55	9,80	9,84	8,79		13.60	13.89	14.23
PRUEBA 1.2								
5		9,49		NUEVA				
15		9,20		CONTEMPORANEA				
25		9,45		NUEVA				
35		9,18		CONTEMPORANEA				
45		9,48		NUEVA				

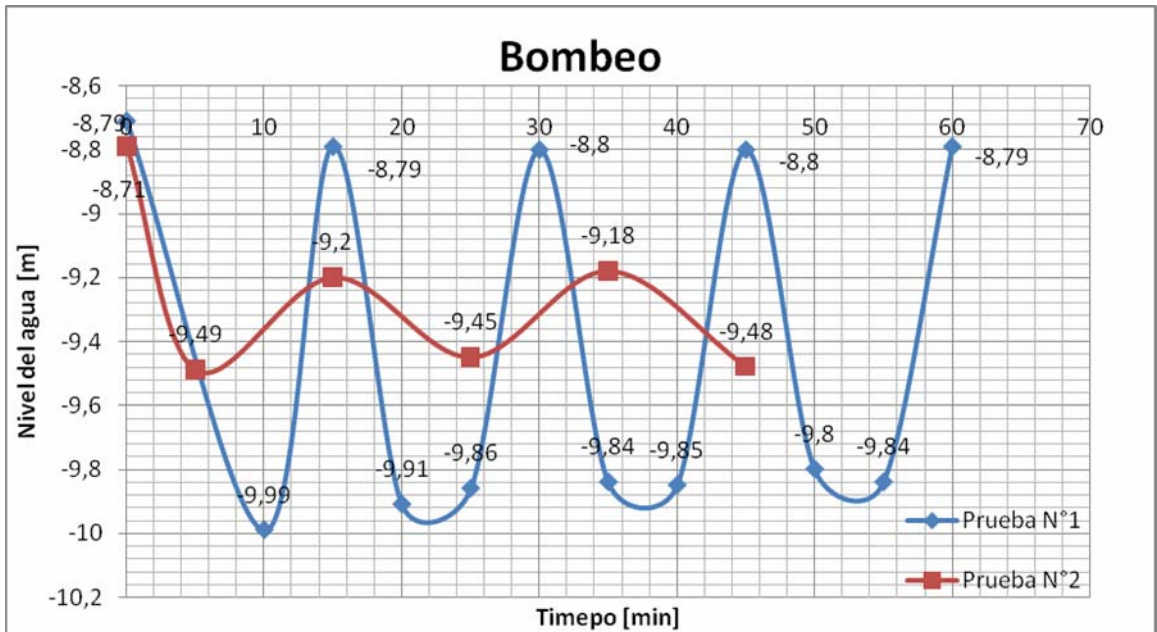


Grafico 12. Bombeo Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar Prueba1.

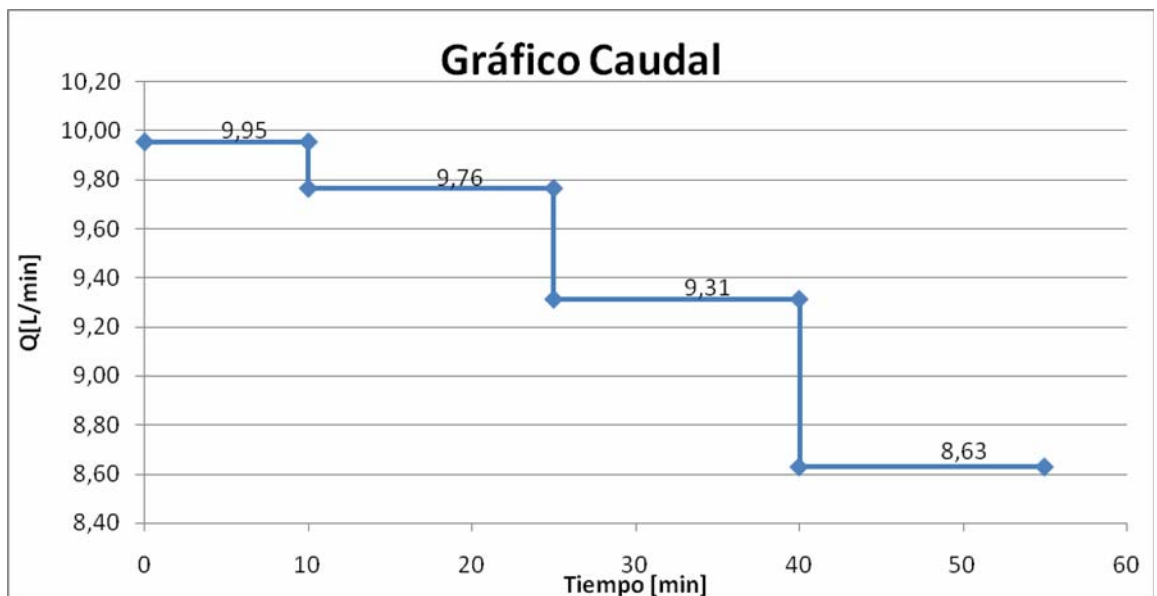


Grafico 13. Caudal Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar Prueba1

En la prueba N°1 se observa una duración de 55 minutos, donde el nivel del agua en cada intervalo desciende un rango de igual nivel, produciendo en el periodo de 5 minutos de descanso de las bombas, una recuperación rápida del

nivel abatido. El caudal extraído es significativo dado el funcionamiento simultáneo de tres bombas.

En la prueba N°2 se observa un menor descenso de nivel, comparado con el descenso de la prueba N°1, consecuencia de alternar el funcionamiento de las bombas, este con el fin de plantear una prueba de bombeo de mayor duración y aprovechamiento de la carga de las baterías disponibles para la prueba. Por la alternación de las bombas el descenso del nivel del agua se esperaba sin recuperación, pero se presenta una leve recarga dado que la bomba contemporánea presenta un desgaste por el uso.

2.4.3.2. Prueba 2: Prueba Final. Piezometro N°2 “Pozo Profundo”.

EL día 21 de octubre de 2011 se realizó el bombeo para adquirir los datos necesarios en la evaluación de la capacidad de producción del pozo, con base en la experiencia dada por las pruebas preliminares. La prueba inicia a las 7:20 am del día 21 de octubre de 2011 terminando a las 9:30 am del mismo día, esta prueba no es de larga duración ya que depende de la capacidad de carga de las baterías utilizadas. La prueba de recuperación se llevó acabo con la utilización del equipo de medición automático, Diver y se inicia el día 21 de octubre a las 9:30 AM y termina el día 24 de octubre a las 2:20 PM, con una toma de datos cada 3 minutos.

Datos obtenidos durante la prueba:

Nivel estático: 8,50 m, Nivel dinámico: 9,13 m a los 100 min, Caudal promedio:
5.04 L/min

Los abatimientos medidos y niveles de recuperación registrados se encuentran tabulados en el anexo E.



Grafico 14. Prueba Final. Bombeo Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.

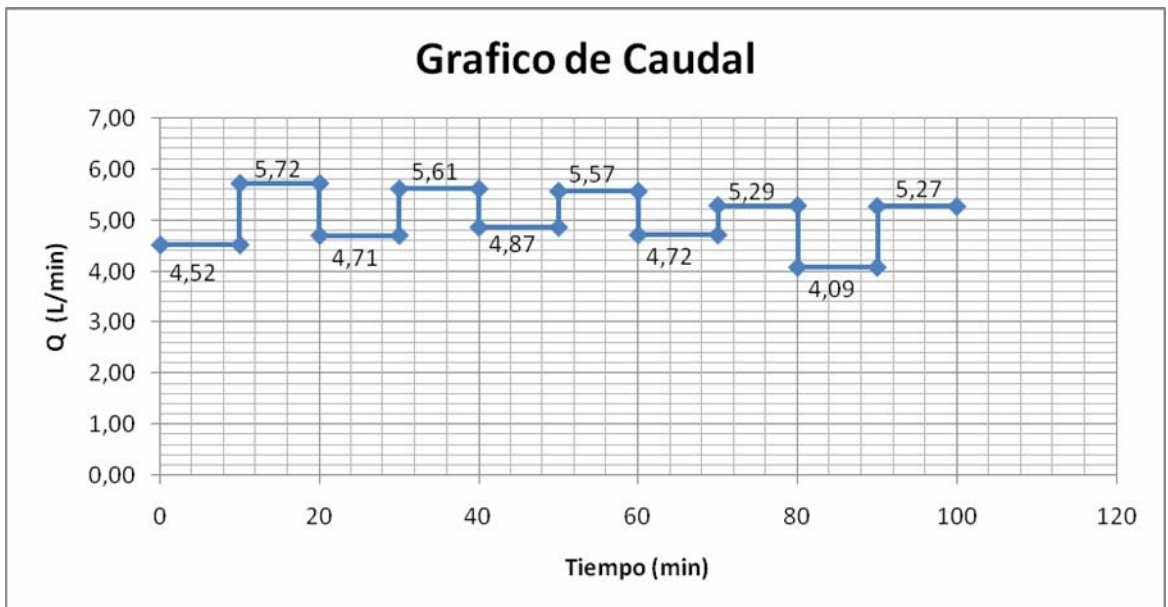


Grafico 15. Prueba Final. Caudal Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.



Gráfico 16. Prueba Final. Recuperación Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.

2.4.3.3. Prueba 3: Prueba Final Piezometro N°1 “Pozo Superficial”

Luego del análisis sobre las pruebas preliminares realizadas y la prueba final en el piezómetro N°2, para la prueba a realizar en este piezómetro, se concluye que se buscara el mayor descenso posible y para lograrlo con el equipo utilizado, se requiere la utilización de las bombas de forma simultáneas como la prueba preliminar N°1, por lo tanto se realiza una prueba en forma escalonada.

El día 25 de Octubre de 2011 se realizó la prueba definitiva para la obtención de los datos requeridos para el análisis de los parámetros hidráulicos que representan el flujo de agua correspondiente a este acuífero. La prueba de bombeo se inicia a las 7:35 AM del día 25 de octubre de 2011, y es terminada a las 9:46 am del mismo día. La prueba de recuperación se realiza con la instalación de los equipos de medición automática, Diver y Barodiver, iniciándose en la

culminación de la prueba de bombeo a las 9:46 AM y terminada el día 27 de octubre del 2011, con un intervalo de toma de datos cada 3 minutos.

Datos obtenidos durante la prueba:

Nivel estático: 10,18 m

Nivel dinámico: 10,56 m a los 90 min

Caudal promedio: 7.02 L/min

Los abatimientos medidos y niveles de recuperación registrados se encuentran tabulados en el anexo B.

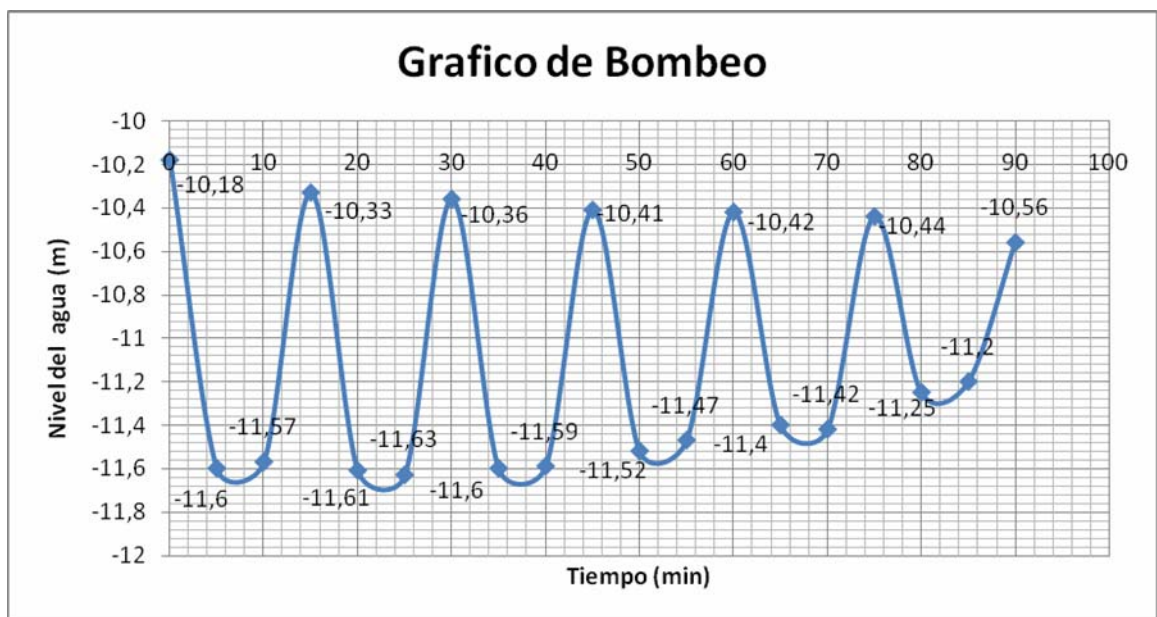


Gráfico 17. Prueba Final. Bombeo Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.

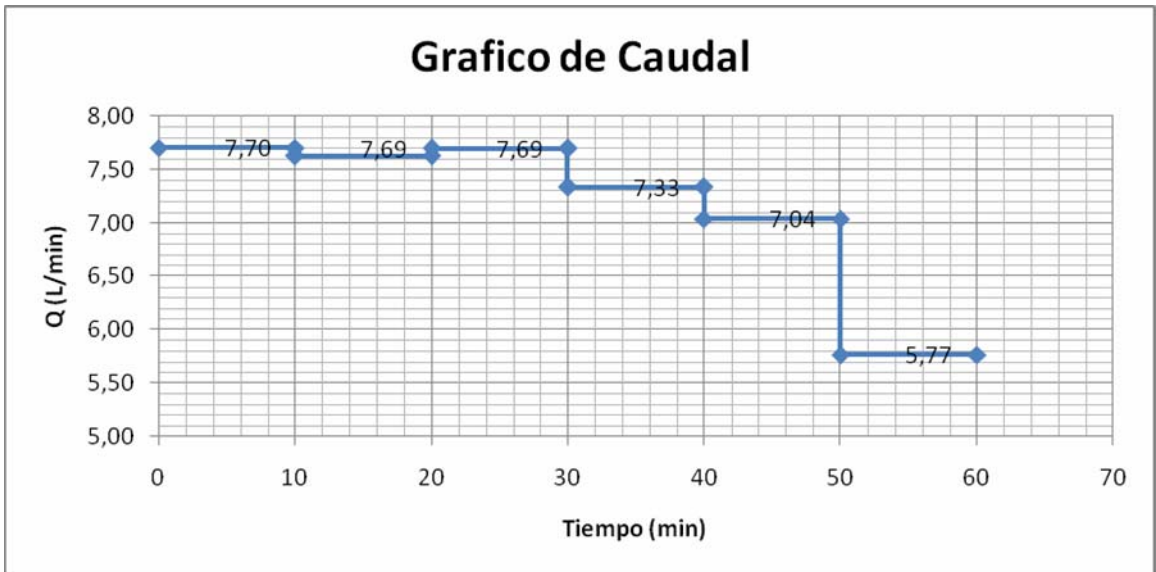


Grafico 18. Prueba Final. Caudal Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.

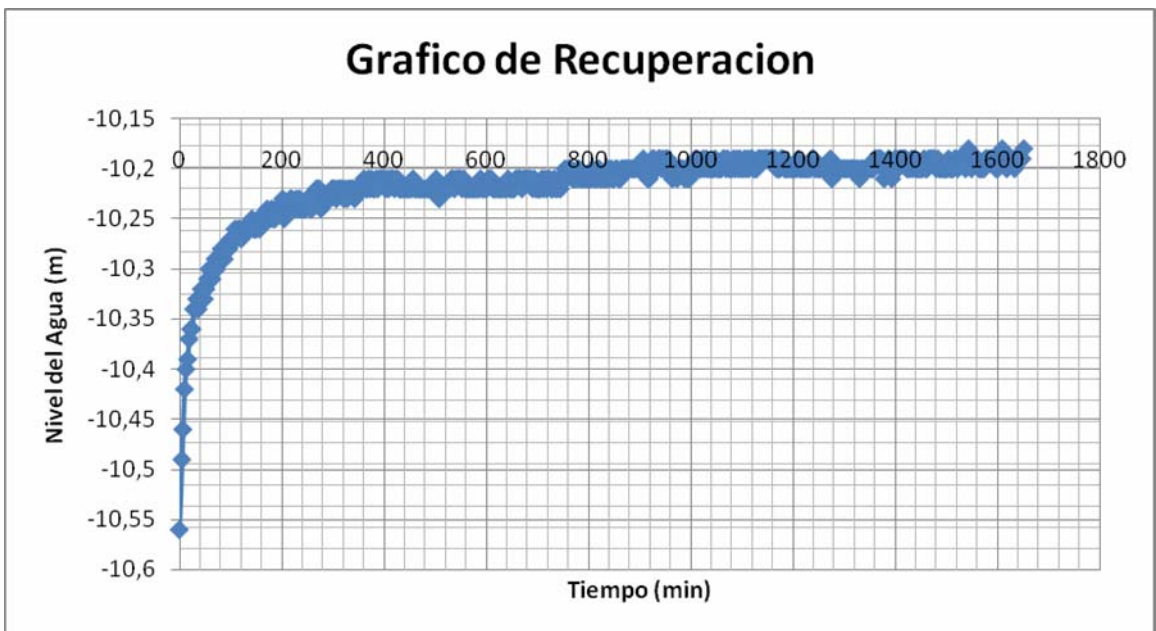


Grafico 19. Prueba Final. Recuperación Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de las pruebas de bombeo realizadas y mencionadas en el capítulo anterior, se realizó una comparación mediante los métodos expuestos en el capítulo uno correspondiente al tipo de prueba realizada y los datos obtenidos mediante el software Aquifer Test Pro. Para el desarrollo por los métodos numéricos se utilizó un medio computacional para seguir el correcto procedimiento y un fácil manejo en la obtención de los parámetros hidráulicos.

El análisis por medio del software se realiza en las pruebas de bombeo con los datos de caudal y descenso de nivel medidos durante la prueba, y da como resultado un gráfico de tendencia frente al método elegido de análisis y el valor de las Transmisividades correspondientes a cada acuífero, y un valor del coeficiente de almacenamiento el cual es una idealización para definir el tipo de acuífero, esto debido al método de prueba usado en los piezómetros no permite encontrar un coeficiente de almacenamiento específico para cada acuífero.

3.1. ANALISIS RESULTADOS PARQUE LA FLORA

3.1.1. PIEZOMETRO N° 2 “POZO PROFUNDO”

Para las pruebas de bombeo el análisis fue hecho por el método de Arron-Scott y las pruebas de recuperación fueron analizadas por el método de recuperación de niveles. A continuación se presentan los gráficos obtenidos:

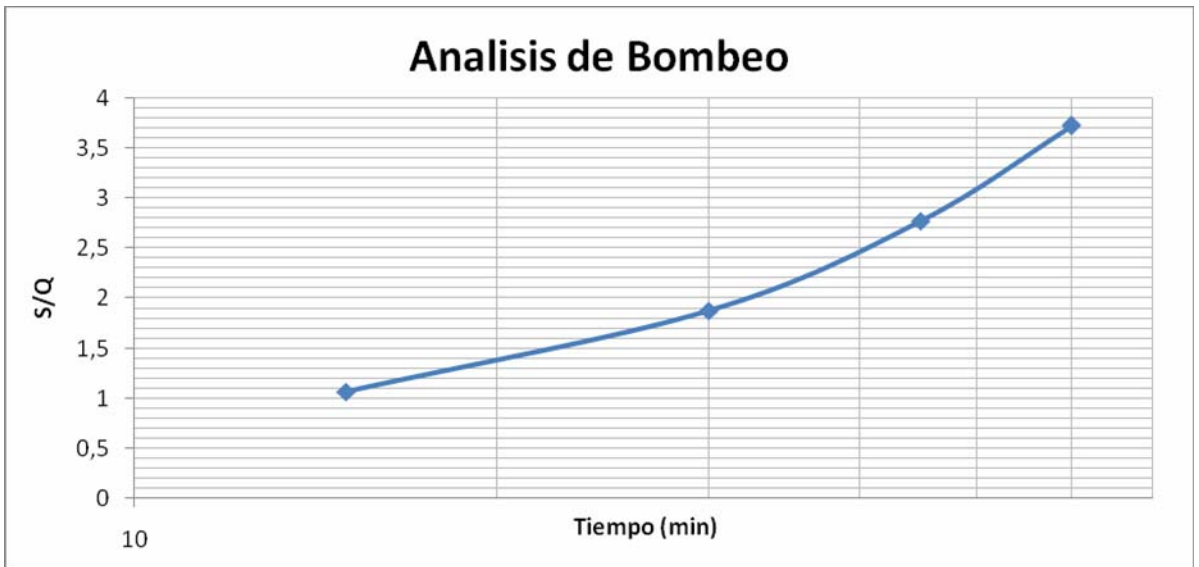


Grafico 20. Análisis. Bombeo Pozo Profundo Parque la Flora.

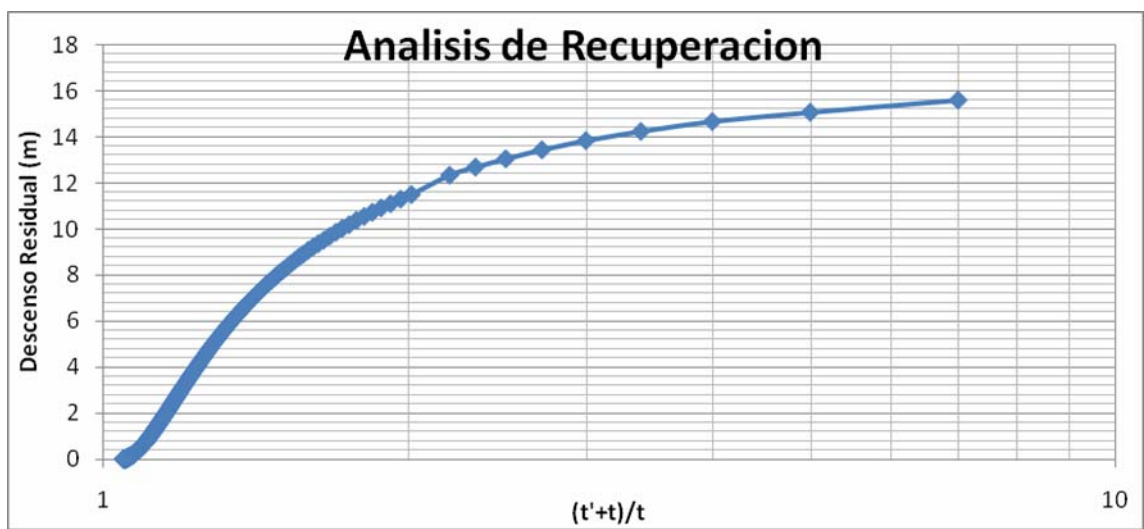


Grafico 21. Análisis. Recuperación Pozo Profundo Parque la Flora.

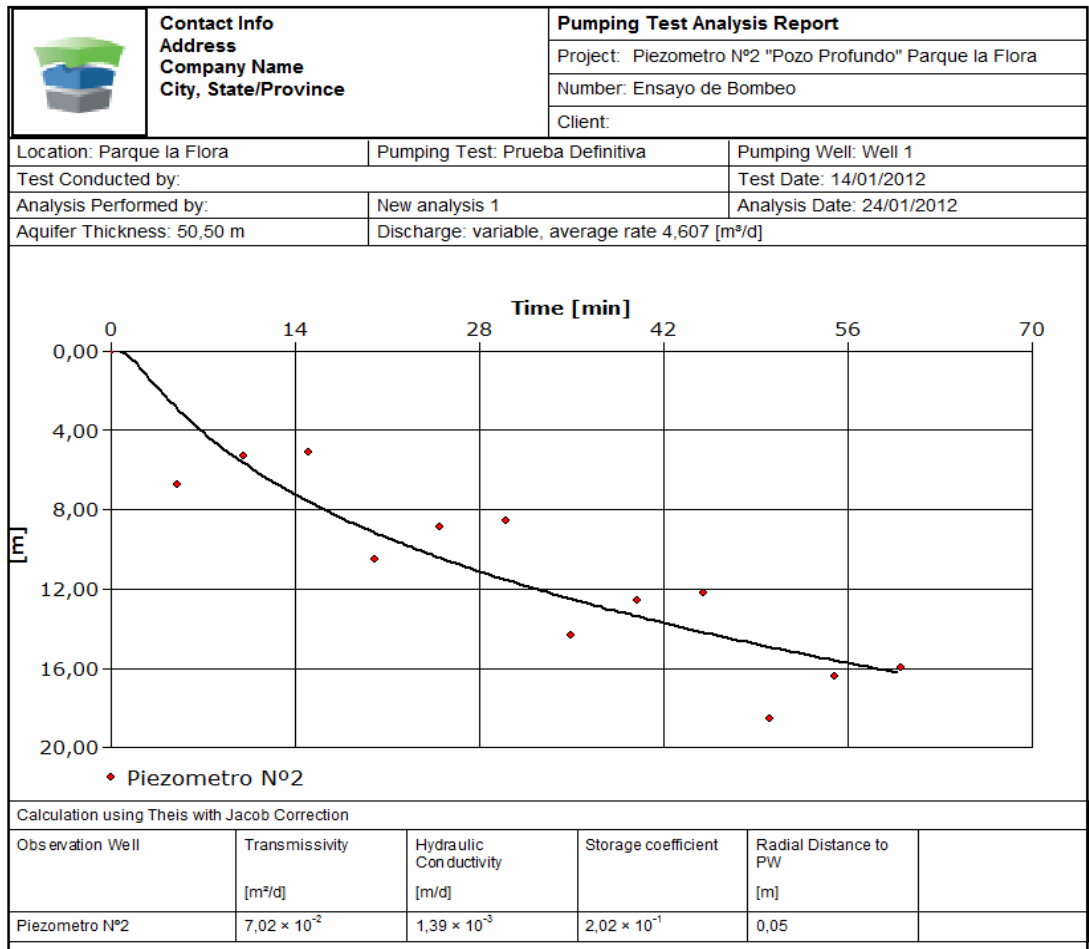


Figura 18. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°2 Parque la Flora. Prueba de Bombeo

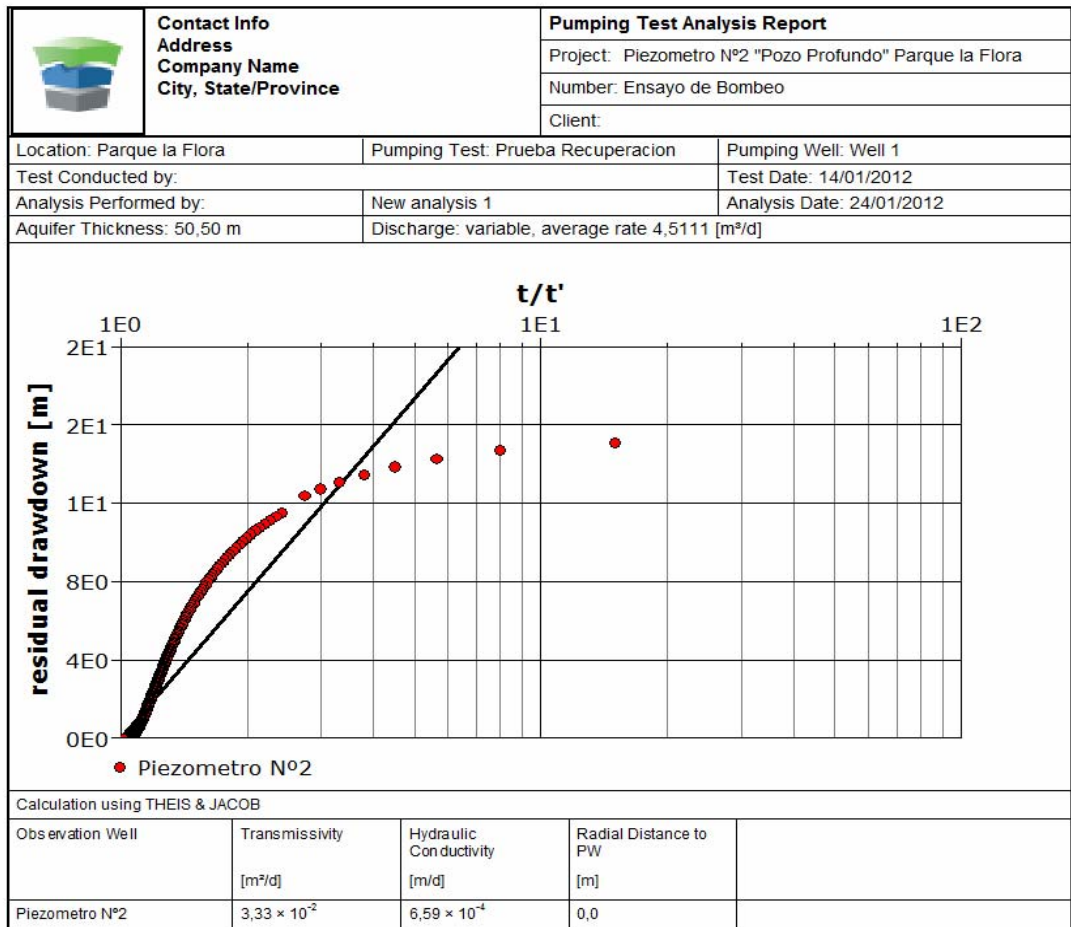


Figura 19. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°2 Parque la Flora. Prueba de Recuperación.

RESULTADOS METODOS GRAFICOS

BOMBEO		RECUPERACION	
S1	1,06	S1	0,09
S2	3,72	S2	15,6
Transmisividad	0,069 m²/día	Transmisividad	0,0532 m²/día

- El desarrollo de la prueba de bombeo realizada en el piezómetro N°1 del parque la flora se realiza con un tipo de bombeo escalonado, logrando un abatimiento del piezómetro llegando al límite de su perforación.
- La prueba de recuperación se realizó con el equipo de medición automático, teniendo en cuenta las condiciones para su correcta utilización, los primeros metros de recuperación se hicieron de forma manual hasta alcanzar una columna de agua para la instalación del Diver el cual se programa para una toma de datos cada 3 min, arrojando un comportamiento satisfactorio para el análisis de los parámetros hidráulicos.
- El análisis por medio del software Aquifer test Pro se realiza en los datos obtenidos durante el bombeo, con el caudal y los niveles medidos. El programa ajusta los datos a una curva dependiendo del tipo de prueba realizado y determina el método que mejor se ajusta a las condiciones del pozo arrojando así los parámetros hidráulicos. El análisis de recuperación utiliza el método de recuperación de niveles de Theis, ajustando los parámetros dados durante la prueba a la curva característica y así dando el parámetro hidráulico del acuífero.

3.1.2. Piezometro N° 1 “Pozo Superficial”

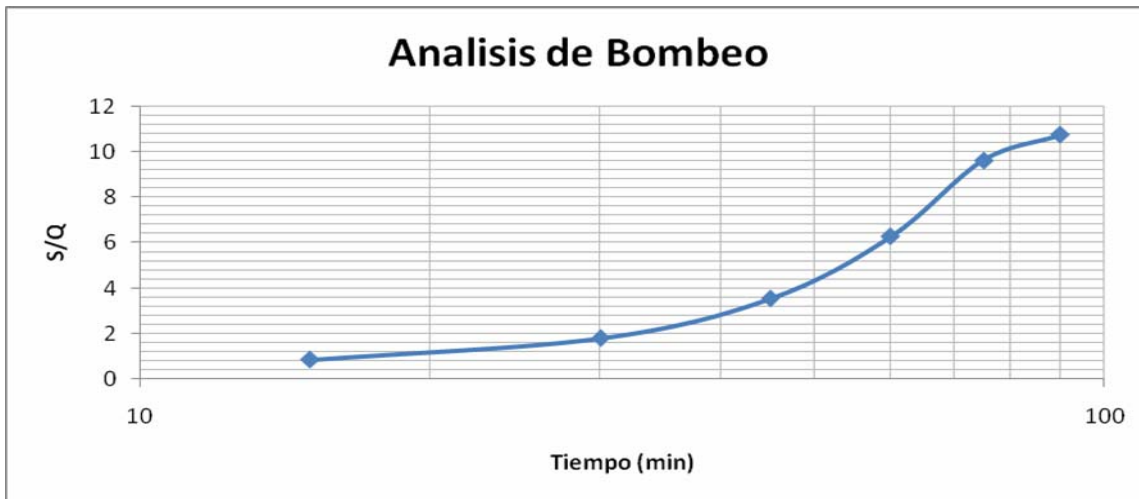


Grafico 22. Análisis. Bombeo Pozo Superficial Parque la Flora.

RESULTADOS METODOS GRAFICOS

BOMBEO			RECUPERACION		
S1	9,62		S1	0,05	
S2	0,854		S2	18,68	
Transmisividad=	0,021	m ² /día	Transmisividad=	0,038	m ² /día

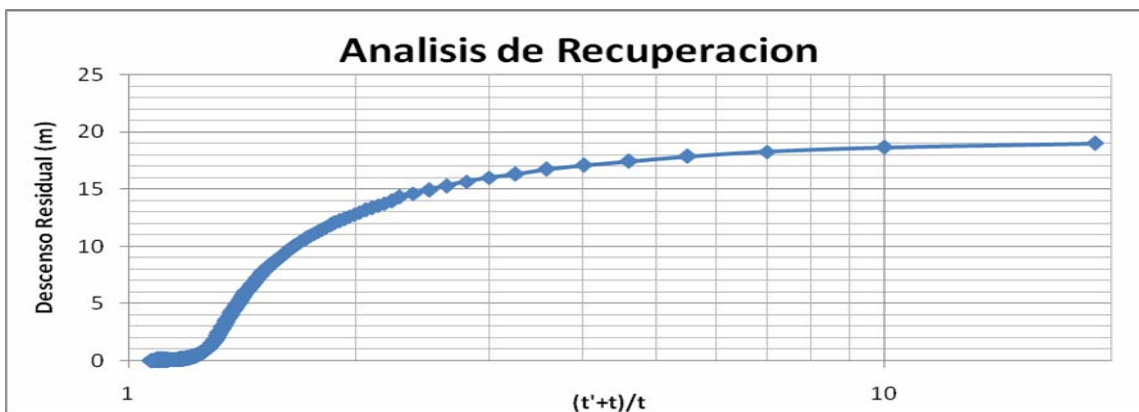


Grafico 23. Análisis. Recuperación Pozo Superficial Parque la Flora.

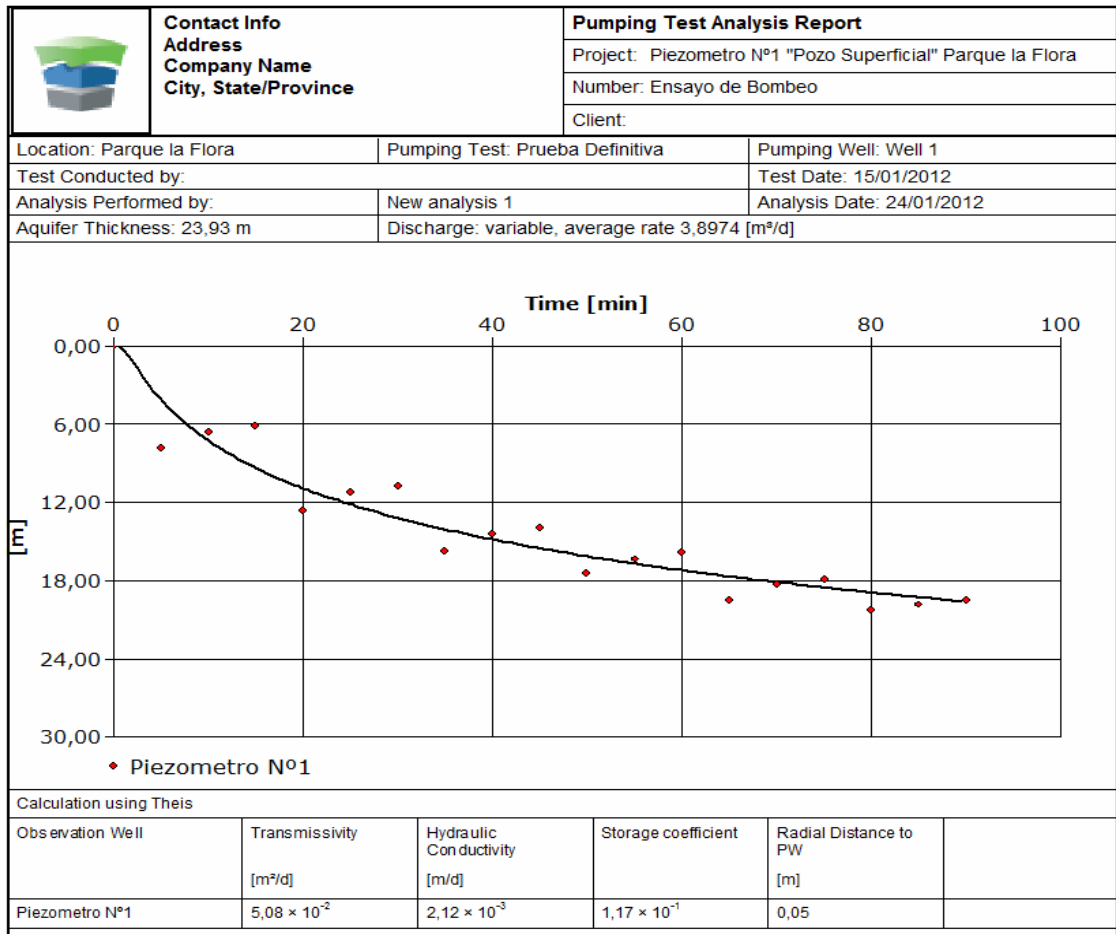


Figura 20. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°1 Parque la Flora. Prueba de Bombeo.

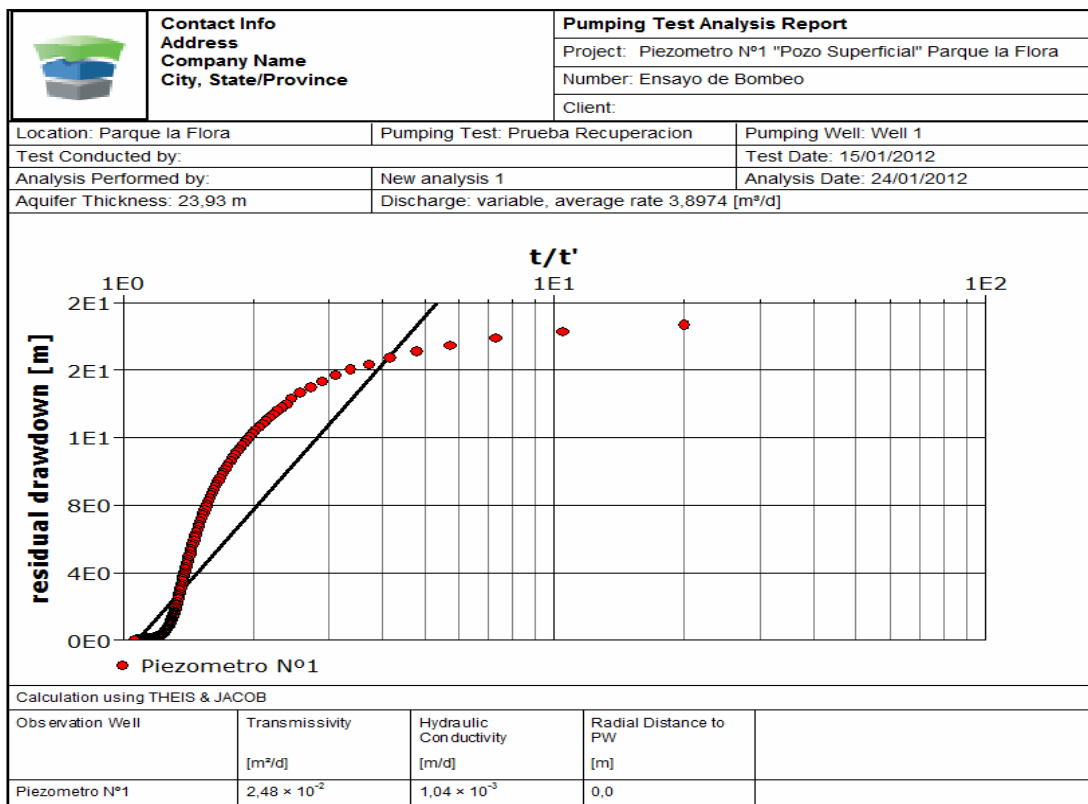


Figura 21. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°1 Parque la Flora. Prueba de Recuperación.

- La prueba de bombeo y de recuperación se realiza de igual forma como se desarrolló en el piezómetro N°2, dado como resultado un buen abatimiento del piezómetro permitiendo llegar al límite de la perforación, lo cual da satisfacción para la determinación de los parámetros hidráulicos.
- Durante la prueba de bombeo observamos tres comportamientos diferentes en el descenso del nivel de agua, como se observa en la escala logarítmica, esto debido a la variación en el descenso de agua en cada intervalo de bombeo junto con el alta diferencia del caudal extraído debido a la pérdida de carga en las baterías.

- El análisis mostrado por el software nos muestra una tendencia o ajuste al método de Theis, dándonos un parámetro de Transmisividad que se ajusta al encontrado por medio del método de recuperación de niveles.
- la prueba de recuperación muestra un comportamiento similar al determinado en la prueba de bombeo, lo cual nos permite concluir que el procedimiento fue acertado, esto reflejándose en la similitud de los parámetros encontrados por el método gráfico en bombeo y recuperación, frente al análisis dado por el programa Aquifer Test pro en cada prueba respectivamente.

3.2. ANALISIS RESULTADOS BAJOS DE PAN DE AZUCAR

En el análisis de las pruebas realizadas en los piezómetros de bajos de pan de azúcar se utilizó el método de Arron-Scott para la prueba de bombeo en el piezómetro N°2 y el método de recuperación para ambos piezómetros, dado que en el piezómetro N°1 el bombeo no fue del tipo escalonado y el caudal fue variable, para lo cual no se tiene método adecuado para su análisis. A continuación se presentan los gráficos obtenidos para cada piezómetro.

3.2.1. Piezometro N° 2 “Pozo Profundo”

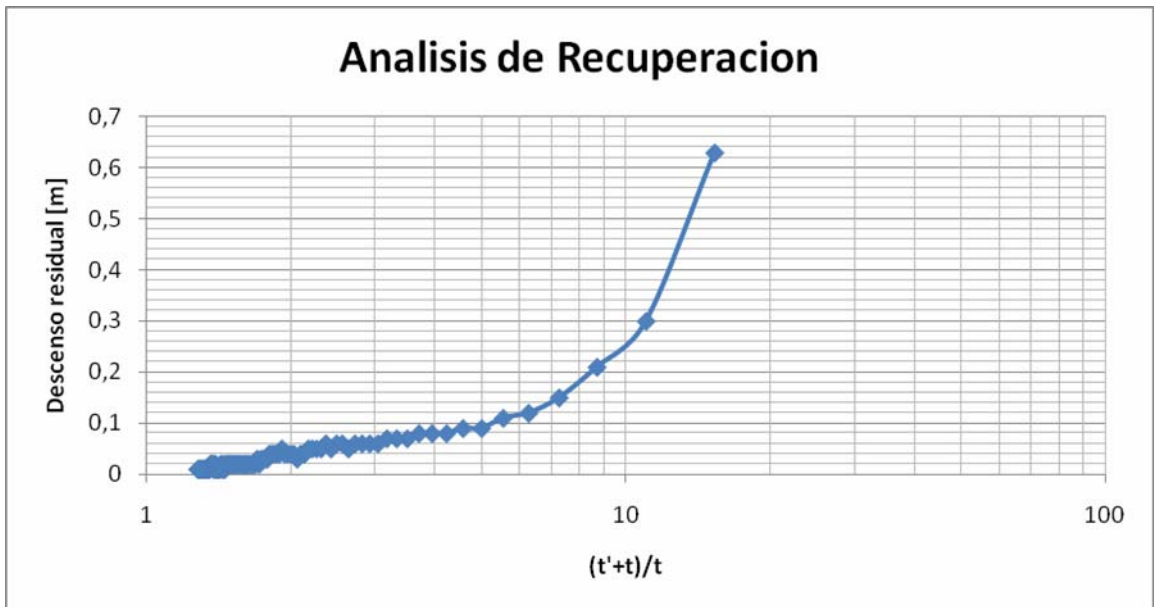


Gráfico 24. Análisis. Recuperación Pozo Profundo Bajos de pan de Azúcar.

RESULTADOS METODO GRAFICO

RECUPERACION

S2	0,01	
S1	0,185	
Transmisividad=	7,43	m ² /día

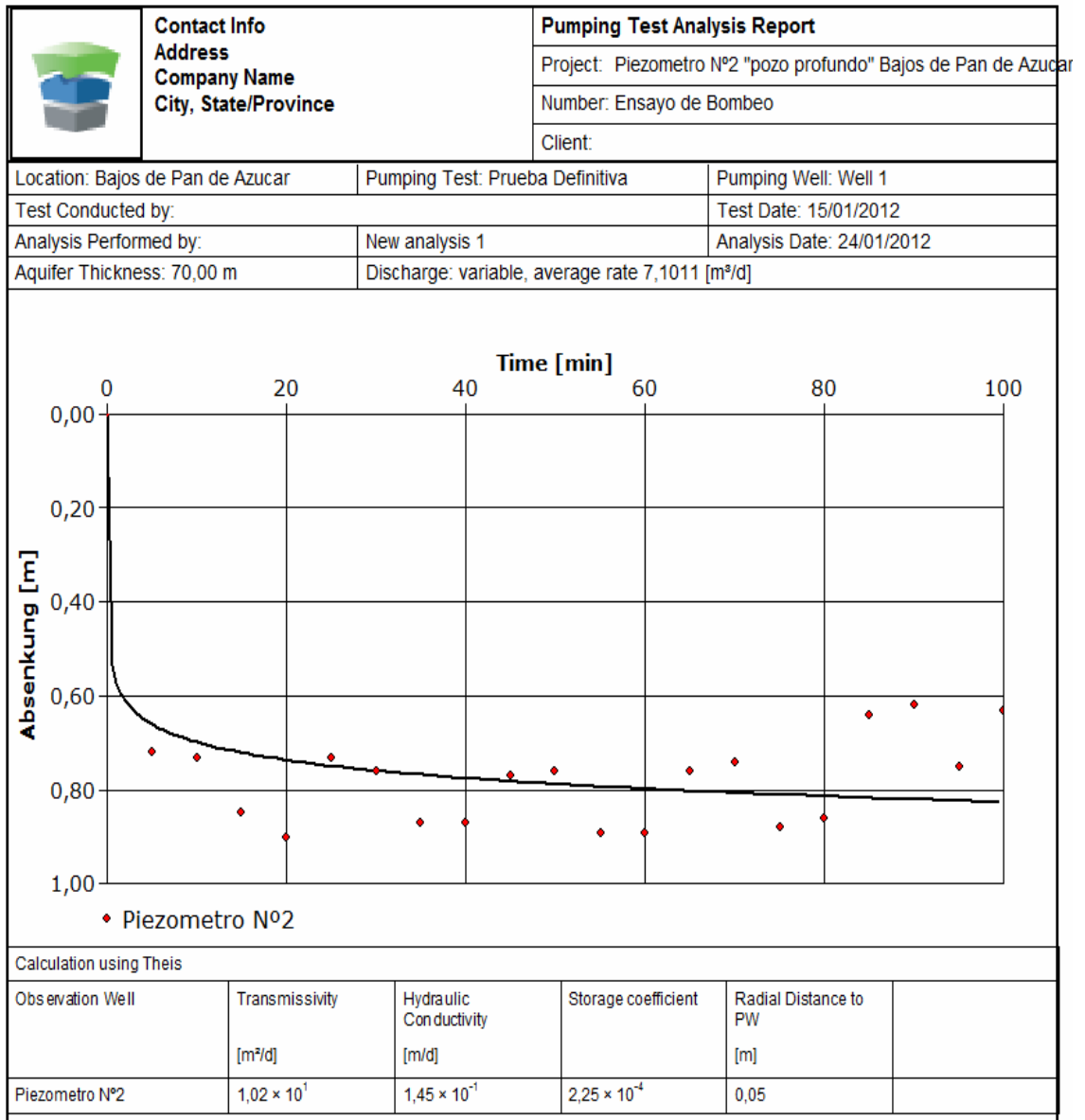


Figura 22. Resultados Acuífer test Pro. Piezómetro N°2 Bajos de pan Azúcar. Prueba de Bombeo

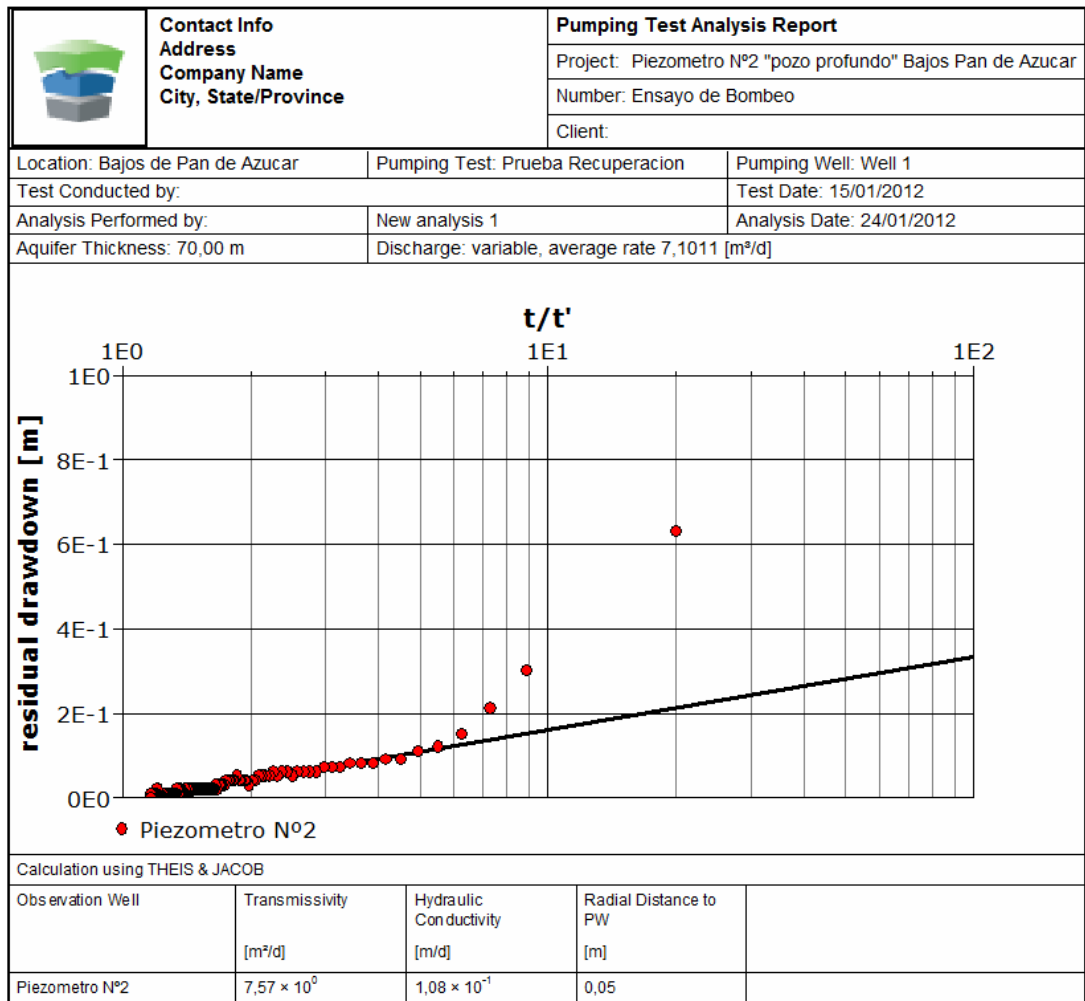


Figura 23. Resultados Acuífer test Pro. Piezómetro N°2 Bajos de pan Azúcar. Prueba de Recuperación.

- La prueba realizada con el dispositivo de bombas en serie y altermando con la bomba contemporanea (ver figura 16), se obtiene una variacion en el caudal, reflejandose en la fluctuacion del nivel del agua, debido a que el caudal extraido por cada bomba no es equivalente, como consecuencia este comportamiento con los metodos de estudio analisados no se puede determinar nignun parametro hidraulico, para lo cual el software Acuífer Test Pro, es de gran utilidad ya que sin importar el tipo de prueba, hace una correlacion y ajusta los datos a un metodo de analisis permitiendo obtener los parametros del acuífero.

- Luego la prueba de recuperacion se realiza con la utilizacion de el equipo de medicion automatico, arrojando una serie de datos que permiten el analisis del ascenso del nivel, el cual con el analisis en la escala logaritmica se observa dos comportamientos, uno apreciado apenas se presenta la interrupcion de bombeo y el otro la tendencia en su recuperacion para alcanzar su nivel estatico.
 - El procedimiento de prueba realizado y debido a la limitacion de el equipo usado no se logra un abatimiento considerable para asi poder obtener datos que nos lleven a una apreciacion mas relativa del comportamiento del acuífero.
- ✓ **ANALISIS POR AQUIFER TEST PRO PRUEBA DE BOMBEO REGISTRADA PROYECTO DE GRADO:PRUEBAS DE BOMBEO EN POZO PROFUNDO Y POZOS DE OBSERVACION EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.(Navas, Caballero, 2011)**

Esta prueba fue realizada el día 17 de marzo del 2011 por Navas y Caballero, con el sistema de dos bombas peristalticas alternando su funcionamiento, para no permitir la recuperacion del nivel durante el bombeo. Se registro un nivel estatico de 8,75 m y se logro un abatimiento de 0,7m durante un bombeo de 150 min.La prueba de recuperacion se realizo con lecturas de nivel en forma manual durante 420 min.

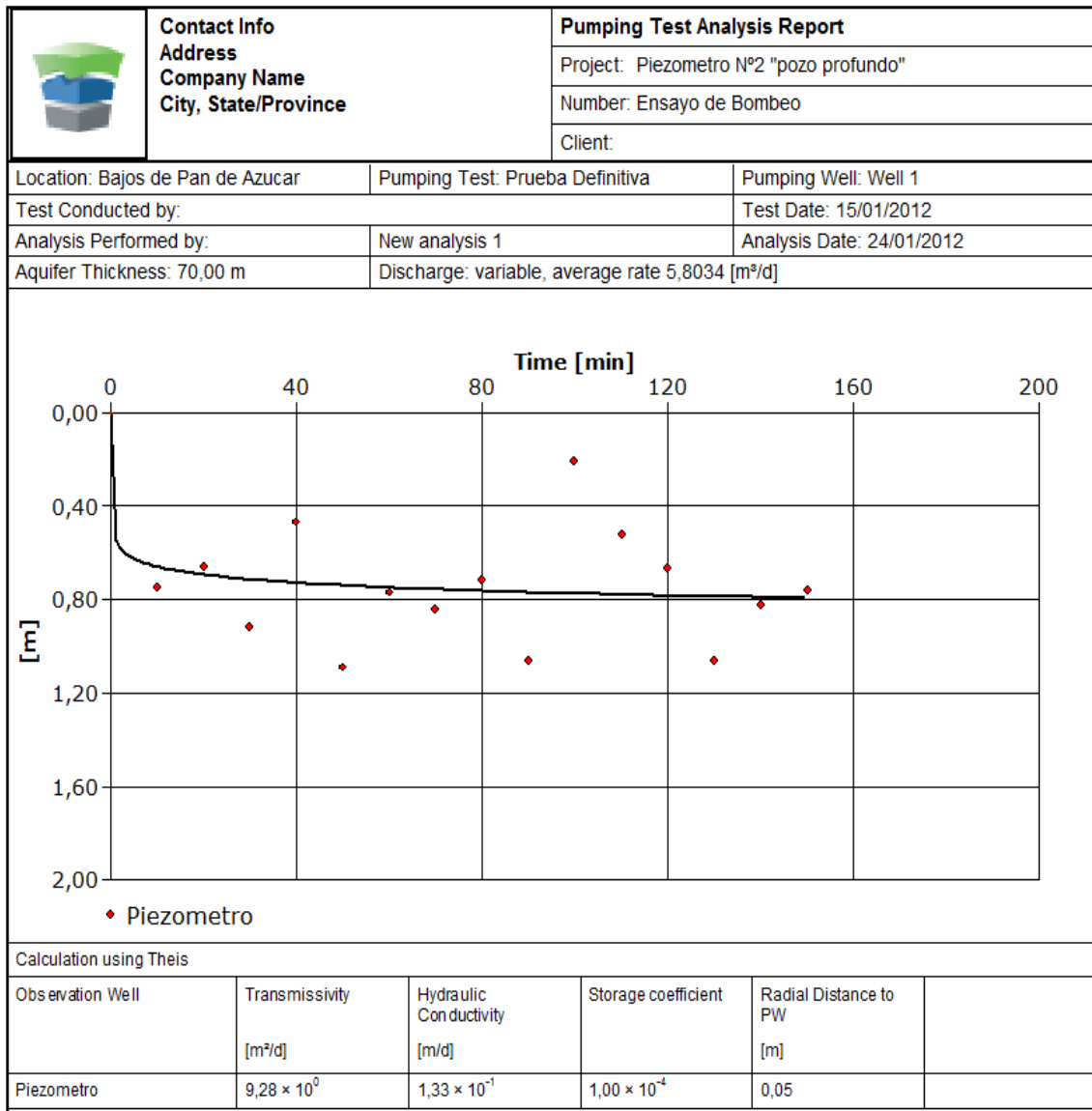


Figura 24. Resultados Acuífer test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Bombeo (Caballero, Navas. 2011).

Luego del análisis realizado por medio del software Acuífer Test pro, se obtiene una transmisividad para la prueba de bombeo del orden de 9,28 m²/día, la cual en el anterior proyecto no pudo ser determinada por medios gráficos, debido al tipo de prueba utilizado. Comparando este resultado con el arrojado por las pruebas

realizadas en el presente proyecto, se aprecia una similitud en los parametros de transmisividad que se encuentran en el orden de 9 y 10 m²/día.

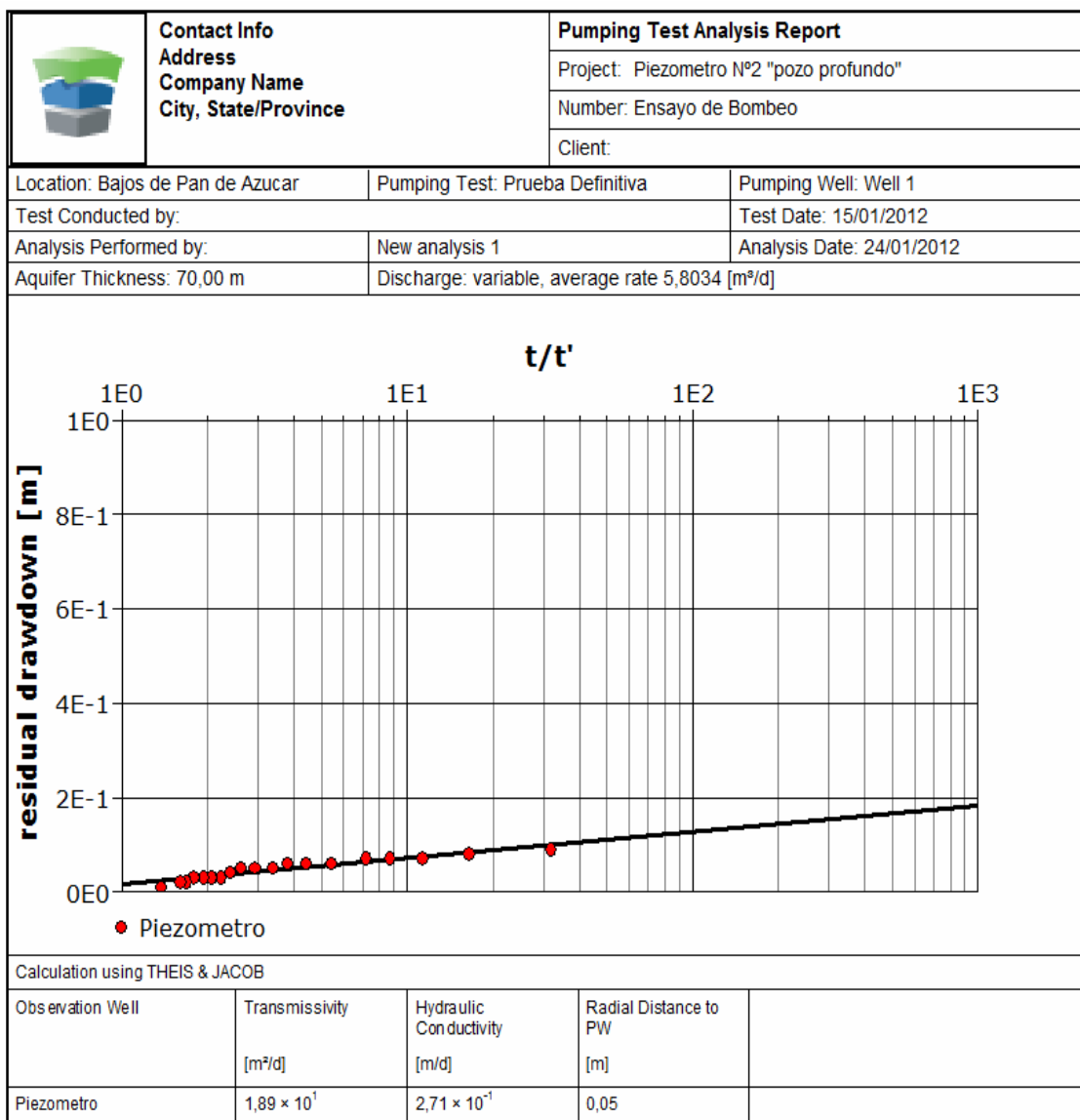


Figura 25. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Recuperación (Caballero, Navas. 2011).

El análisis de la prueba de recuperación por medio del software Acuífero Test pro nos permite obtener una Transmisividad de 18,9 m²/día, lo cual difiere de los parametros encontrados por el análisis de recuperación realizado en el presente

proyecto, que da como transmisividad un valor de 9 m²/día, junto a los encontrados en las pruebas de bombeo. Permitiendo inferir que para un periodo corto de bombeo, con abatimientos bajos se requiere una mayor precisión en la toma de los niveles, buscando así una mejor tendencia para el análisis.

3.2.2. Piezometro N° 1 “Pozo Superficial”

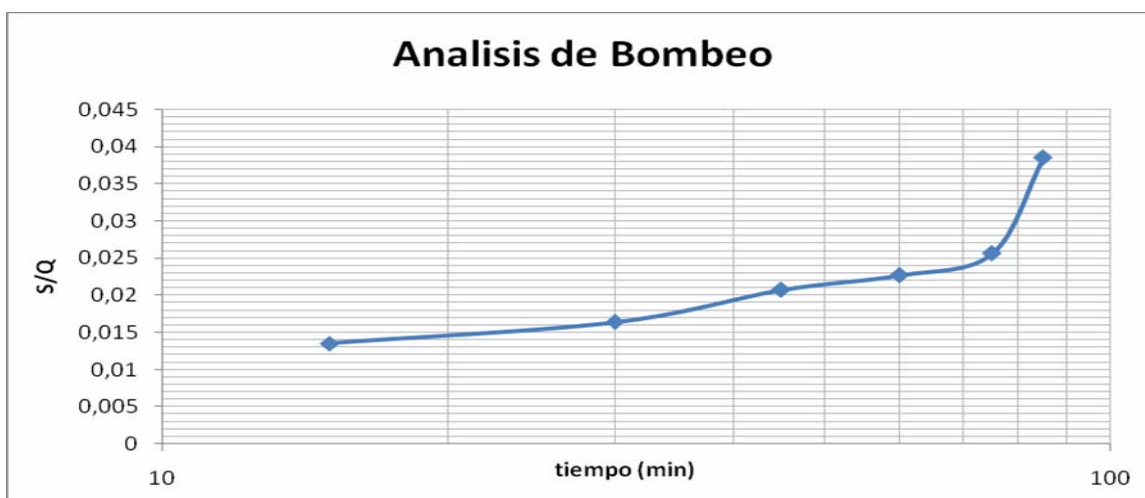


Gráfico 25. Análisis. Bombeo Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.

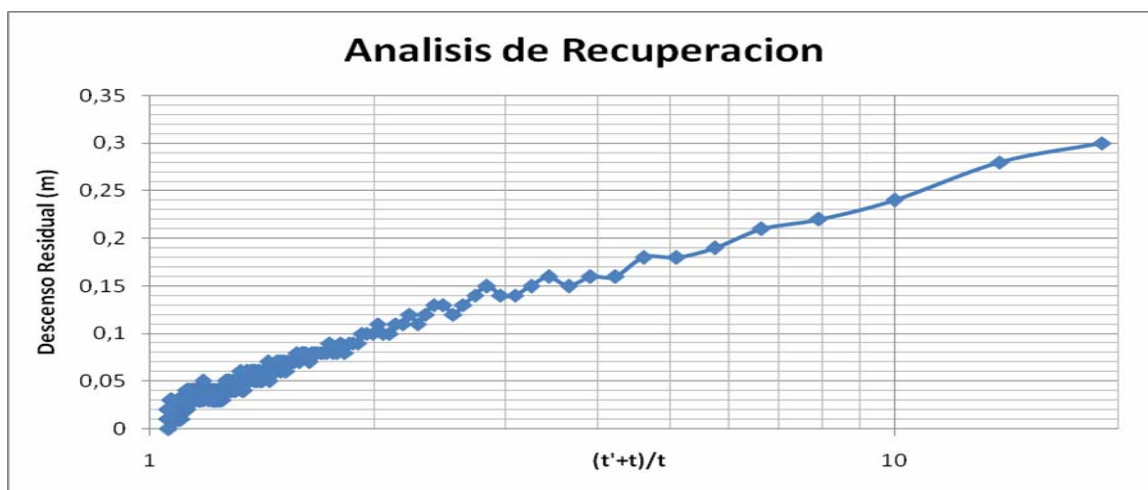


Gráfico 26. Análisis. Recuperación Pozo Superficial Bajos de pan de Azúcar.

RESULTADOS METODO GRAFICO

BOMBEO			RECUPERACION		
S1	0,0135		S1	0,01	
S2	0,0385		S2	0,24	
Transmisividad	7,32	m ² /día	Transmisividad	8,24	m ² /día

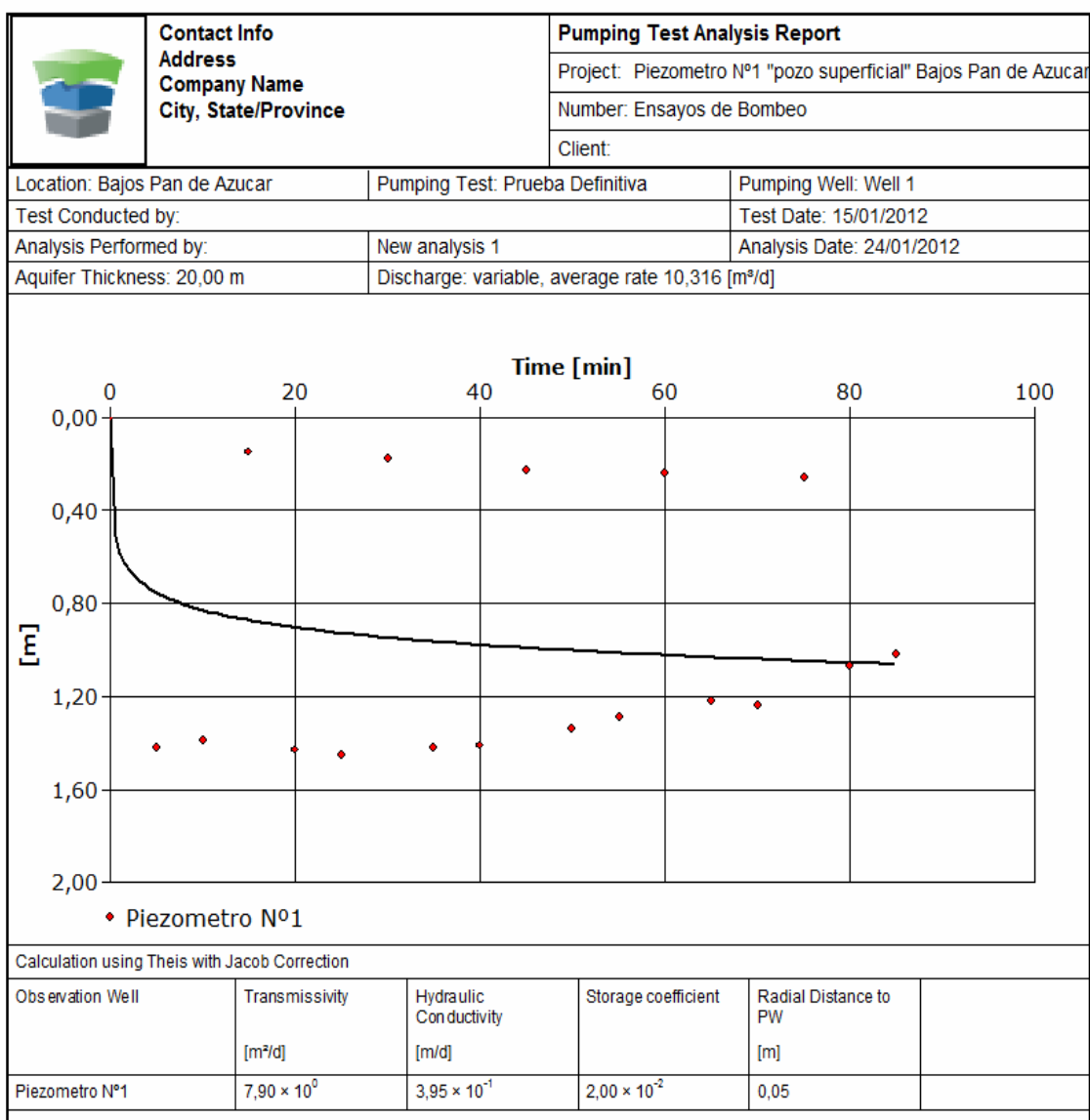


Figura 26. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Bombeo.

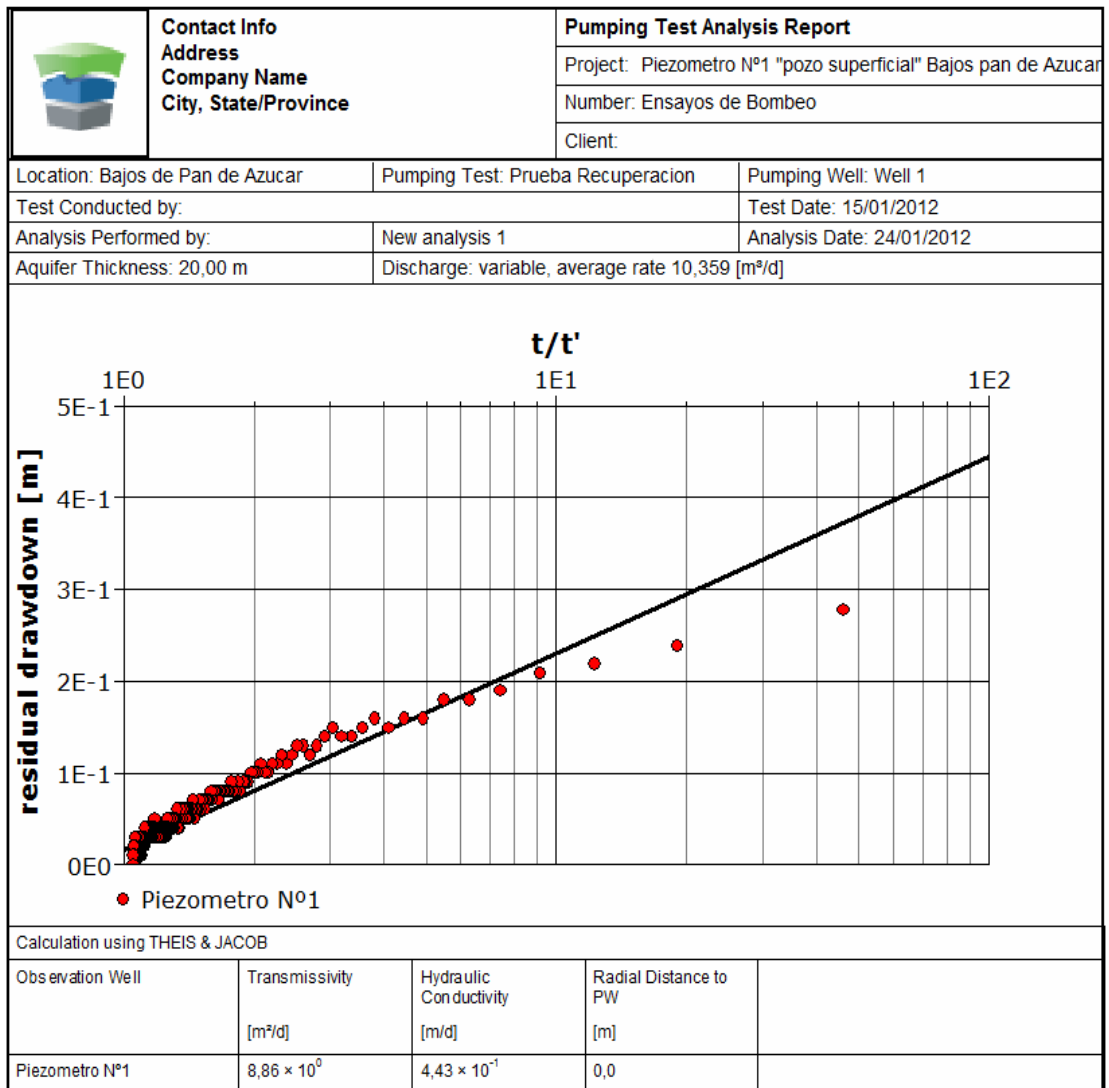


Figura 27. Resultados Acuífero test Pro. Piezómetro N°1 Bajos de pan de Azúcar. Prueba de Recuperación.

- El análisis de bombeo realizado en el piezómetro n°1, presenta una fluctuación considerable en el nivel abatido, puesto que el nivel se recupera rápidamente casi hasta su nivel inicial, durante el periodo de descanso de las bombas peristálticas, por consiguiente la confiabilidad en los resultados hallados es mínima.

- El desarrollo de la prueba de se lleva acabo buscando el mayor descenso posible con el equipo utilizado, se utiliza de forma simultanea los dispositivos de bombas utilizados en la prueba del piezómetro N°1(ver figura 17), logrando la extracción de un caudal apreciable. La utilización del sistema simultáneamente permite que el nivel del pozo se recupere durante el descanso de las bombas.
- El análisis de recuperación se lleva acabo con el equipo de medición automático, permitiendo así lograr una correcta toma de datos y fijar la tendencia que tiene el acuífero en su recuperación del nivel estático. Durante el análisis de los datos se observa una variación en el ascenso del nivel de agua lo cual nos permite analizar el efecto de recarga instantánea que se da al momento de parar el bombeo y posteriormente el efecto de regresar a su nivel estático.

✓ Resumen Transmisividades determinadas en el análisis.

RESUMEN TRASMISIVIDAD							
ANALISIS PARQUE LA FLORA							
Formación aluvial de	PIEZOMETRO		BOMBEO		RECUPERACION		CAUDAL[L/min]
			Grafico	Aquifer Test	Grafico	Aquifer Test	
Bucaramanga	PROFUNDO	T=[m2/día]	0,069	0,070	0,053	0,033	3,20
	SUPERFICIAL	T=[m2/día]	0,021	0,051	0,038	0,025	2,76
ANALISIS BAJOS PAN DE AZUCAR							
Rocas ígneas meteorizadas y facturadas.	PROFUNDO	T=[m2/día]	–	10,2	7,43	7,6	5,04
	SUPERFICIAL	T=[m2/día]	7,32	7,90-12,5*	8,24	8,86	7,19

* El rango encontrado en el piezómetro superficial de Bajos de pan de Azúcar se debe,ala variación posible dentro de los valores registrados en el bombeo del

coeficiente de almacenamiento teórico con los cuales se busca determinar el tipo de acuífero libre o confinado al cual pertenece el piezómetro analizado.

4. CONCLUSIONES

- Este proyecto permitió la obtención de los parámetros hidráulicos de acuíferos en la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga, localizados en Bajos de Pan de Azúcar donde se encuentran acuíferos en cuerpo ígneo meteorizado y fracturado, y en el Parque la Flora donde se encuentran acuíferos en la formación aluvial de Bucaramanga, que son medidos en piezómetros construidos e instrumentados automáticamente. Estos parámetros hidráulicos se lograron determinar, mediante los resultados de la planeación de Pruebas de bombeo escalonado y constante con flujo variable descendiente, y la realización de pruebas de recuperación de niveles, las cuales se llevaron a cabo con la utilización de bombas peristálticas de diámetro menor a 2", debido a que la tubería de recubrimiento del piezómetro es de 2".
- Las pruebas de bombeo escalonadas realizadas en los piezómetros ubicados en el parque la Flora tuvieron una duración de 60 minutos en el piezómetro N°1 y de 90 minutos en el piezómetro N°2, lográndose un abatimiento total de 15,96 m y 19,49 m respectivamente, llegándose al límite de la perforación en cada piezómetro. El piezómetro N°2 se empleó un sistema de bombas peristálticas en serie para lograr abatir el nivel inicial que se encontraba a los 30 metros, logrando descender hasta un nivel de casi 50 metros. Para el piezómetro N°2 de Bajos de pan de azúcar se logró un abatimiento de 75 cm con duración de bombeo constante de 100 minutos, el piezómetro N° 1 registro un abatimiento de 1,02 con una duración de bombeo escalonado de 85 min, realizándose para cada uno la respectiva prueba de recuperación. Los abatimientos en este caso son bajos con el tipo de bomba utilizada. Se recomienda utilizar en esta formación bombas mayor capacidad y con una fuente eléctrica continua, lo cual obligaría a la construcción de pozos de mayor diámetro.

- El estudio de los parámetros hidráulicos para los acuíferos ubicados en el parque la flora (acuíferos en formación aluvial de Bucaramanga) permitieron obtener Transmisividades del orden de 0,07 y 0,03 m²/día para el piezómetro N°2 y del orden de 0,05 y 0,025 m²/día para el piezómetro N°1.

En los piezómetros de Bajos de pan de Azúcar (acuíferos en rocas ígneas meteorizadas y fracturadas) se obtuvieron Transmisividades entre 7,5 y 10 m²/día para el piezómetro N°2 y del orden de 8,0 y 12,5 m²/día para el piezómetro N°1. Estos valores son aproximados y podrían reflejar los órdenes de magnitud relativos de los parámetros hidráulicos propios de estos acuíferos. Esto significa que los acuíferos más prometedores son los que están localizados en las rocas meteorizadas y fracturadas de la parte oriental de Bucaramanga.
- A partir del análisis realizado con el software Aquifer test pro, además de permitir encontrar la Transmisividad, se infiere el tipo de acuífero presente en cada zona de estudio, considerando los valores inferidos de coeficientes de almacenamiento: para El parque la Flora los piezómetros estudiados corresponden a acuíferos libres, en Bajos de Pan de Azúcar el piezómetro N°2 corresponde a un acuífero Confinado y el Piezómetro N°1. Debido a las condiciones presentadas en el bombeo no se puede determinar el coeficiente de almacenamiento, ni el tipo de acuífero al cual corresponde, (para esto se requiere un pozo de bombeo y un pozo de observación). El análisis realizado se basa en los coeficientes de almacenamiento que se encuentran entre los rangos teóricos de 0.02 y 0.3 para acuíferos libres y de 0.0001 y 0.001 para acuíferos confinados.
- Los Análisis de Resultados se obtuvieron por métodos gráficos y por medio del programa Aquifer Test pro. En el análisis gráfico, se utilizó el método de Arron-Scott para los ensayos de Bombeo y el método de Recuperación de

Niveles para los datos Obtenidos en la Recuperación gracias a los equipos como el Diver y el BaroDiver usados en las pruebas. Estos resultados fueron comparados con los obtenidos en el Programa Aquifer Test pro, quien determina el método que mejor se ajusta a las condiciones del pozo para obtener un parámetro Hidráulico. Los dos métodos fueron comparados para comprobar la veracidad de los resultados, ya que la Transmisividad calculada por los dos análisis presenta una similitud considerable.

5. RECOMENDACIONES

- Para futuras pruebas de bombeo en los piezómetros del parque la flora, se recomienda la utilización de un equipo de bombas más especializado, que permita el control del caudal extraído, buscando lograr mayor duración en la prueba y una mejor caracterización del comportamiento del acuífero.
- Los piezómetros ubicados en bajos de pan de azúcar, poseen una alta recuperación en el nivel abatido, lo cual es necesario la implementación de bombas con mayor capacidad de extracción y así lograr abatimientos considerables, buscando resultados más beneficiosos en la caracterización de los acuíferos allí encontrados.
- Se aconseja la construcción de pozos de bombeo en los sitios de estudio, permitiendo la realización de pruebas de bombeo más especializadas, que conlleven al mejoramiento de los estudios y conocimientos generados en este proyecto de grado.

6. BIBLIOGRAFIA

CABALLERO CACERES, SERGIO ANDRES & GOMEZ NAVAS, EDGAR. (2011), PRUEBAS DE BOMBEO EN POZO PROFUNDO Y POZOS DE OBSERVACION EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de ingenierías físico mecánicas, Escuela de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

GÓMEZ ISIDRO, SULLY & COLEGIAL, JUAN DIEGO. (2003), INTERACCION ENTRE SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS PARA EL ESTUDIO DEL FENOMENO DE RECARGA EN EL MACIZO DE SANTANDER E IDENTIFICACION DE ACUIFEROS: Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS, OBSERVATORIO COLOMBIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA OCyT, Bucaramanga, Colombia.

KRUSEMAN, G.P. y DE RIDDER N.A. Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. 2 ed. International institute for land reclamation and improvement wageningen. Holanda.(1975)

PULIDO RAMOS, MIGUEL ANGEL & NIETO CARDENAS, MANUEL ALEJANDRO. (2010), OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES Y PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN PIEZOMETROS DE LA ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de ingenierías físico mecánicas, Escuela de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

VELEZ OTALVARO, MARIA VICTORIA. (1999), hidráulica de aguas subterráneas: Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín, Colombia.

VILLANUEVA MARTINEZ, MANUEL & IGLESIAS LOPEZ, ALFREDO. (1984), pozos y acuíferos: Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo, Técnicos de la división de aguas subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España, España.

7. ANEXOS

ANEXO A. TABLA PARA LA TOMA DE DATOS EN ESAYO DE BOMBEO Y RECUPERACION

Responsable(s)								
Nivel Estático								
Localidad								
Hora y Fecha de Inicio								
Hoja N°								
Observaciones								
BOMBEO				AFORO (s)				
Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)		Abatimiento (m)	t1	t2	t3	t4	t5
	5 min	10 min						

Tabla para la toma de datos en ensayo de Bombeo.

Responsable(s)	
Localidad	
Hora y Fecha de Inicio	
Hoja N°	
Observaciones	

RECUPERACION	
T₂ (min)	Nivel de Agua (m)

Tabla para la toma de datos en ensayo de Recuperación.

ANEXOB. DATOS OBTENIDOS EN PRUEBAS PRELIMINARES PARQUE LA FLORA

• **PRUEBA 1**

POZO SUPERFICIAL

Responsables		Mario Barrera y Diego Ruíz		
Nivel Estático		0,73m		
Localidad		Pozo superficial la Flora		
Hora y Fecha de Inicio		01 de Junio 2011 9:05 am		
Hoja Nº		1		
BOMBEO			AFORO (s)	
Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	t1	t2
5	5,47	4,74		
15	15,01	9,54		
25	18,26	3,25		

POZO PROFUNDO

Responsables		Mario Barrera y Diego Ruíz		
Nivel Estático		30,19m		
Localidad		Pozo profundo la Flora		
Hora y Fecha de Inicio		01 de Junio 2011 9:25 am		
Hoja Nº		1		
BOMBEO			AFORO (s)	
Tiempo	Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	t1	t2
5	32,62	2,43		
15	34,6	1,98		
25	37,23	2,63		

- PRUEBA 2

Nivel Estático		30,1		m		
Localidad		Pozo Profundo la Flora				
Hora y Fecha de Inicio		8 de Septiembre 2011 - 7:40 am				
BOMBEO				AFORO (s)		
Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)			t1	t2	t3
		5 minutos	10 minutos			
5	38,79	37,25	37,09	24,9	28,3	35,79
20	43,55	45,81	41,53	37,1	38,45	47,69
35	47,69	45,91	45,53	36,3	38,63	41,61
47,57	48,31	46,76	46,43			

RECUPERACION	
T ₀ (min)	Nivel de Agua (m)
5	46,11
10	45,66
15	45,26
20	44,84
25	44,43
30	44,04
35	43,66
40	43,29
45	42,83
50	42,57
55	42,24
60	41,92
65	41,59
70	41,29

75	40,99
80	40,7
85	40,42
90	40,15
95	39,88
100	39,61
105	39,38
110	39,14
115	38,91
120	38,67
125	38,44
130	38,22
135	38,02
140	37,82
145	37,75
150	37,61
155	37,5

160	37,41
165	37,25
170	37,06
175	36,89
180	36,72
185	36,54
190	36,38
195	36,23
200	36,07
205	35,92
210	35,76
215	35,64
220	35,5
225	35,36
230	35,24
235	35,1
240	34,99
245	34,86
250	34,75
255	34,63
260	35,453
265	34,42
270	34,32
275	34,22
290	1,14
295	1,11

ANEXO C. DATOS PRUEBA DE BOMBEO PARQUE LA FLORA

- **POZO PROFUNDO**

Responsables	Mario Barrera y Diego Ruíz					
Nivel Estático	29,95	m				
Localidad	Pozo profundo la Flora					
Hora y Fecha de Inicio	01 de Septiembre 2011 9:05 am					
Hoja Nº	1					
BOMBEO				AFORO (s)		
Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)	Recuperación después del Bombeo		t1	t2	t3
		5min	10min			
5	36,69	35,22	35,05	34,62	34,66	34,06
20	40,44	38,81	38,52	35,28	36,34	39,32
35	44,28	42,51	42,53	35,11	36,88	43,56
50	48,52	46,36	45,91	32,67	35,95	35,62

- **Recuperación**

PROFUNDIDAD DAVER		4900	cm
Date/time	Carga hidrostática [cm]	Temperatura [°C]	NIVEL AGUA
21/09/2011 10:47	-	-	45,55
21/09/2011 10:52	-	-	45,02
21/09/2011 10:57	-	-	44,62
21/09/2011 11:02	-	-	44,19
21/09/2011 11:07	-	-	43,79
21/09/2011 11:12	-	-	43,39
21/09/2011 11:17	-	-	43
21/09/2011 11:22	-	-	42,64
21/09/2011 11:27	-	-	42,29
21/09/2011 11:32	755	25,23	41,45
21/09/2011 11:36	775	25,19	41,25
21/09/2011 11:39	795	25,17	41,05
21/09/2011 11:42	813	25,17	40,87
21/09/2011 11:45	832	25,17	40,68
21/09/2011 11:48	850	25,16	40,5
21/09/2011 11:51	867	25,16	40,33
21/09/2011 11:54	886	25,16	40,14
21/09/2011 11:57	902	25,16	39,98
21/09/2011 12:00	919	25,15	39,81
21/09/2011 12:03	936	25,15	39,64
21/09/2011 12:06	953	25,14	39,47
21/09/2011 12:09	968	25,14	39,32
21/09/2011 12:12	983	25,14	39,17
21/09/2011 12:15	998	25,14	39,02

21/09/2011 12:18	1014	25,14	38,86
21/09/2011 12:21	1027	25,14	38,73
21/09/2011 12:24	1043	25,14	38,57
21/09/2011 12:27	1057	25,13	38,43
21/09/2011 12:30	1072	25,13	38,28
21/09/2011 12:33	1085	25,13	38,15
21/09/2011 12:36	1097	25,13	38,03
21/09/2011 12:39	1111	25,13	37,89
21/09/2011 12:42	1125	25,13	37,75
21/09/2011 12:45	1137	25,13	37,63
21/09/2011 12:48	1149	25,12	37,51
21/09/2011 12:51	1162	25,12	37,38
21/09/2011 12:54	1174	25,12	37,26
21/09/2011 12:57	1185	25,12	37,15
21/09/2011 13:00	1197	25,12	37,03
21/09/2011 13:03	1209	25,12	36,91
21/09/2011 13:06	1220	25,12	36,8
21/09/2011 13:42	1340	25,11	35,6
21/09/2011 14:00	1391	25,11	35,09
21/09/2011 14:03	1399	25,11	35,01
21/09/2011 14:06	1407	25,11	34,93
21/09/2011 14:09	1415	25,11	34,85
21/09/2011 14:12	1422	25,11	34,78
21/09/2011 14:15	1430	25,11	34,7
21/09/2011 14:27	1460	25,11	34,4
21/09/2011 14:30	1466	25,1	34,34
21/09/2011 15:00	1530	25,1	33,7
21/09/2011 15:03	1535	25,1	33,65
21/09/2011 15:06	1540	25,1	33,6

21/09/2011 15:48	1610	25,1	32,9
21/09/2011 16:09	1640	25,1	32,6
21/09/2011 16:33	1670	25,1	32,3
21/09/2011 17:00	1700	25,09	32
21/09/2011 17:33	1730	25,09	31,7
21/09/2011 17:57	1750	25,09	31,5
21/09/2011 18:12	1760	25,09	31,4
21/09/2011 18:42	1780	25,1	31,2
21/09/2011 19:18	1800	25,1	31
21/09/2011 19:21	1802	25,1	30,98
21/09/2011 19:24	1803	25,1	30,97
21/09/2011 19:27	1805	25,1	30,95
21/09/2011 20:15	1825	25,1	30,75
21/09/2011 21:00	1840	25,1	30,6
21/09/2011 21:33	1849	25,1	30,51
21/09/2011 22:18	1860	25,1	30,4
21/09/2011 23:06	1870	25,1	30,3
22/09/2011 00:18	1880	25,1	30,2
22/09/2011 01:54	1890	25,09	30,1
22/09/2011 03:03	1895	25,09	30,05
22/09/2011 04:30	1900	25,09	30
22/09/2011 05:39	1900	25,09	30
22/09/2011 05:45	1901	25,09	29,99
22/09/2011 06:03	1903	25,1	29,97
22/09/2011 06:36	1902	25,09	29,98
22/09/2011 06:45	1904	25,09	29,96
22/09/2011 07:06	1903	25,09	29,97
22/09/2011 07:42	1904	25,09	29,96
22/09/2011 07:45	1905	25,1	29,95

• **POZO SUPERFICIAL**

Responsables	Mario Barrera y Diego Ruíz						
Nivel Estático	1,07	m					
Localidad	Pozo superficial la Flora						
Hora y Fecha de Inicio	29 de Septiembre 2011 8:00 am						
Hoja N°	1						
BOMBEO				AFORO (s)			
Tiempo (min)	Nivel de Agua (m)		Recuperación después del Bombeo		t1	t2	t3
			5min	10min			
5	8,95		7,7	7,22	22,82	22,9	24,75
20	13,65		12,31	11,88	25,51	28,72	30,08
35	16,83		15,5	15,02	40,7	44,7	45,97
50	18,49		17,42	16,96	53,51	59,01	88
65	20,59		19,38	18,99	39,7	142	
80	25,35		20,9	20,56	80	95	105

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática [cm]	Temperatura [°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 09:32			20,09
29/09/2011 09:37			19,75
29/09/2011 09:42			19,33
29/09/2011 09:47			18,93
29/09/2011 09:52			18,52

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática [cm]	Temperatura [°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 09:57			18,17
29/09/2011 10:02			17,8
29/09/2011 10:07			17,39
29/09/2011 10:12			17,09
29/09/2011 10:17			16,74
29/09/2011 10:22			16,37

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 10:27			16,02
29/09/2011 10:32			15,7
29/09/2011 10:37			15,39
29/09/2011 10:39	488	24,2	15,02
29/09/2011 10:42	507	24,49	14,83
29/09/2011 10:45	526	24,57	14,64
29/09/2011 10:48	546	24,61	14,44
29/09/2011 10:51	566	24,63	14,24
29/09/2011 10:54	585	24,64	14,05
29/09/2011 10:57	603	24,64	13,87
29/09/2011 11:00	622	24,65	13,68
29/09/2011 11:03	641	24,65	13,49
29/09/2011 11:06	659	24,65	13,31
29/09/2011 11:09	678	24,66	13,12
29/09/2011 11:12	696	24,66	12,94
29/09/2011 11:15	715	24,66	12,75
29/09/2011 11:18	732	24,66	12,58
29/09/2011 11:21	751	24,66	12,39
29/09/2011 11:24	768	24,66	12,22
29/09/2011 11:27	786	24,66	12,04
29/09/2011 11:30	805	24,66	11,85
29/09/2011 11:33	821	24,67	11,69
29/09/2011 11:36	838	24,67	11,52
29/09/2011 11:39	856	24,67	11,34

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 11:42	873	24,68	11,17
29/09/2011 11:45	891	24,68	10,99
29/09/2011 11:48	908	24,68	10,82
29/09/2011 11:51	925	24,68	10,65
29/09/2011 11:54	942	24,68	10,48
29/09/2011 11:57	960	24,68	10,3
29/09/2011 12:00	976	24,68	10,14
29/09/2011 12:03	993	24,68	9,97
29/09/2011 12:06	1010	24,68	9,8
29/09/2011 12:09	1028	24,68	9,62
29/09/2011 12:12	1045	24,68	9,45
29/09/2011 12:15	1061	24,68	9,29
29/09/2011 12:18	1079	24,68	9,11
29/09/2011 12:21	1096	24,68	8,94
29/09/2011 12:24	1113	24,68	8,77
29/09/2011 12:27	1130	24,68	8,6
29/09/2011 12:30	1146	24,68	8,44
29/09/2011 12:33	1163	24,68	8,27
29/09/2011 12:36	1180	24,68	8,1
29/09/2011 12:39	1197	24,68	7,93
29/09/2011 12:42	1214	24,68	7,76
29/09/2011 12:45	1230	24,68	7,6
29/09/2011 12:48	1246	24,68	7,44
29/09/2011 12:51	1262	24,68	7,28

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 12:54	1278	24,68	7,12
29/09/2011 12:57	1294	24,69	6,96
29/09/2011 13:00	1311	24,69	6,79
29/09/2011 13:03	1328	24,69	6,62
29/09/2011 13:06	1343	24,69	6,47
29/09/2011 13:09	1359	24,69	6,31
29/09/2011 13:12	1375	24,68	6,15
29/09/2011 13:15	1390	24,68	6
29/09/2011 13:18	1406	24,68	5,84
29/09/2011 13:21	1422	24,69	5,68
29/09/2011 13:24	1436	24,69	5,54
29/09/2011 13:27	1451	24,69	5,39
29/09/2011 13:30	1466	24,69	5,24
29/09/2011 13:33	1480	24,69	5,1
29/09/2011 13:36	1495	24,69	4,95
29/09/2011 13:39	1507	24,69	4,83
29/09/2011 13:42	1520	24,69	4,7
29/09/2011 13:45	1536	24,69	4,54
29/09/2011 13:48	1549	24,69	4,41
29/09/2011 13:51	1563	24,69	4,27
29/09/2011 13:54	1577	24,69	4,13
29/09/2011 13:57	1592	24,69	3,98
29/09/2011 14:00	1605	24,69	3,85
29/09/2011 14:03	1618	24,69	3,72

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 14:06	1631	24,69	3,59
29/09/2011 14:09	1644	24,69	3,46
29/09/2011 14:12	1656	24,69	3,34
29/09/2011 14:15	1669	24,69	3,21
29/09/2011 14:18	1680	24,69	3,1
29/09/2011 14:21	1690	24,69	3
29/09/2011 14:24	1702	24,69	2,88
29/09/2011 14:27	1711	24,69	2,79
29/09/2011 14:30	1719	24,69	2,71
29/09/2011 14:33	1726	24,69	2,64
29/09/2011 14:36	1734	24,69	2,56
29/09/2011 14:39	1742	24,68	2,48
29/09/2011 14:42	1748	24,68	2,42
29/09/2011 14:45	1754	24,68	2,36
29/09/2011 14:48	1760	24,68	2,3
29/09/2011 14:51	1767	24,68	2,23
29/09/2011 14:54	1772	24,69	2,18
29/09/2011 14:57	1777	24,68	2,13
29/09/2011 15:00	1782	24,68	2,08
29/09/2011 15:03	1787	24,68	2,03
29/09/2011 15:06	1791	24,68	1,99
29/09/2011 15:09	1795	24,68	1,95
29/09/2011 15:12	1799	24,68	1,91
29/09/2011 15:15	1802	24,68	1,88

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 15:18	1806	24,68	1,84
29/09/2011 15:21	1810	24,68	1,8
29/09/2011 15:24	1812	24,68	1,78
29/09/2011 15:27	1815	24,68	1,75
29/09/2011 15:30	1818	24,68	1,72
29/09/2011 15:33	1821	24,68	1,69
29/09/2011 15:36	1824	24,68	1,66
29/09/2011 15:39	1825	24,68	1,65
29/09/2011 15:42	1827	24,68	1,63
29/09/2011 15:45	1830	24,68	1,6
29/09/2011 15:48	1832	24,68	1,58
29/09/2011 15:51	1834	24,68	1,56
29/09/2011 15:54	1835	24,68	1,55
29/09/2011 15:57	1838	24,68	1,52
29/09/2011 16:00	1839	24,68	1,51
29/09/2011 16:03	1841	24,68	1,49
29/09/2011 16:06	1843	24,68	1,47
29/09/2011 16:09	1843	24,68	1,47
29/09/2011 16:12	1845	24,68	1,45
29/09/2011 16:15	1846	24,68	1,44
29/09/2011 16:18	1847	24,68	1,43
29/09/2011 16:21	1848	24,68	1,42
29/09/2011 16:24	1849	24,68	1,41
29/09/2011 16:27	1850	24,68	1,4

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 16:30	1852	24,68	1,38
29/09/2011 16:33	1852	24,68	1,38
29/09/2011 16:36	1853	24,69	1,37
29/09/2011 16:39	1853	24,68	1,37
29/09/2011 16:42	1854	24,68	1,36
29/09/2011 16:45	1856	24,68	1,34
29/09/2011 16:48	1857	24,68	1,33
29/09/2011 16:51	1857	24,69	1,33
29/09/2011 16:54	1858	24,68	1,32
29/09/2011 16:57	1859	24,68	1,31
29/09/2011 18:15	1870	24,68	1,2
29/09/2011 18:18	1870	24,68	1,2
29/09/2011 18:21	1870	24,68	1,2
29/09/2011 18:24	1870	24,68	1,2
29/09/2011 18:27	1871	24,68	1,19
29/09/2011 18:30	1870	24,68	1,2
29/09/2011 18:33	1871	24,68	1,19
29/09/2011 18:36	1872	24,68	1,18
29/09/2011 18:39	1872	24,68	1,18
29/09/2011 18:42	1872	24,68	1,18
29/09/2011 18:45	1872	24,68	1,18
29/09/2011 18:48	1873	24,68	1,17
29/09/2011 18:51	1872	24,68	1,18
29/09/2011 18:54	1872	24,68	1,18

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
29/09/2011 18:57	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:00	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:03	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:06	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:09	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:12	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:15	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:18	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:21	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:24	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:27	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:30	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:33	1872	24,68	1,18
29/09/2011 19:36	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:39	1873	24,68	1,17
29/09/2011 19:42	1874	24,68	1,16
29/09/2011 19:45	1874	24,68	1,16
29/09/2011 20:03	1873	24,68	1,17
29/09/2011 20:15	1873	24,68	1,17
29/09/2011 23:48	1877	24,68	1,13
29/09/2011 23:51	1877	24,68	1,13
29/09/2011 23:54	1878	24,68	1,12
29/09/2011 23:57	1877	24,68	1,13
30/09/2011 00:06	1879	24,68	1,11

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
30/09/2011 01:15	1878	24,68	1,12
30/09/2011 01:48	1880	24,68	1,1
30/09/2011 02:30	1879	24,68	1,11
30/09/2011 02:36	1881	24,69	1,09
30/09/2011 02:45	1881	24,68	1,09
30/09/2011 03:09	1881	24,68	1,09
30/09/2011 04:12	1880	24,68	1,1
30/09/2011 04:27	1881	24,68	1,09
30/09/2011 04:30	1881	24,68	1,09
30/09/2011 04:33	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:36	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:39	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:42	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:45	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:48	1882	24,68	1,08
30/09/2011 04:51	1881	24,68	1,09
30/09/2011 04:54	1881	24,68	1,09
30/09/2011 04:57	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:00	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:03	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:06	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:09	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:12	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:15	1882	24,68	1,08

Recuperación PROFUNDIDAD DAVER			1990 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	NIVEL AGUA
30/09/2011 05:18	1881	24,68	1,09
30/09/2011 05:21	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:24	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:27	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:30	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:33	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:36	1882	24,68	1,08
30/09/2011 05:39	1882	24,68	1,08
30/09/2011 06:03	1883	24,68	1,07
30/09/2011 09:15	1882	24,68	1,08
30/09/2011 09:21	1883	24,68	1,07

ANEXO D. DATOS PRUEBA DE BOMBEO BAJOS DE PAN DE AZÚCAR

- POZO SUPERFICIAL

Responsables		Mario Barrera y Diego Ruíz					
Nivel Estático		10,18	m				
Localidad		Pozo profundo Bajos de pan de Azúcar					
Hora y Fecha de Inicio		25 de Octubre 2011 7:35 am					
Hoja Nº		1					
TIEMPO min	NIVEL AGUA BOMBEO		Recuperación	AFOROS (s)			
	5 min	10 min	a los 5 min	t1	t2	t3	t4
10	11,6	11,57	10,33	15,9	14,84	15,72	15,85
25	11,61	11,63	10,36	15,49	15,64	15,77	16,05
40	11,6	11,59	10,41	15,51	15,43	15,63	15,81
55	11,52	11,47	10,42	15,77	16,13	16,63	16,91
70	11,4	11,42	10,44	16,76	17,95	15,44	18,04
85	11,25	11,2	10,5	19,18	20,64	21	22,42

PROFUNDIDAD DIVER			1761 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	Nivel de Agua m
25/10/2011 09:45	2	25.54	10,48
25/10/2011 09:48	715	24.37	10,46
25/10/2011 09:51	719	23.09	10,42
25/10/2011 09:54	721	22.92	10,4
25/10/2011 09:57	722	22.87	10,39
25/10/2011 10:00	724	22.86	10,37
25/10/2011 10:03	725	22.86	10,36
25/10/2011 10:06	725	22.86	10,36
25/10/2011 10:09	727	22.85	10,34
25/10/2011 10:12	727	22.86	10,34
25/10/2011 10:15	728	22.86	10,33
25/10/2011 10:18	727	22.85	10,34
25/10/2011 10:21	728	22.86	10,33
25/10/2011 10:24	729	22.85	10,32
25/10/2011 10:27	729	22.86	10,32
25/10/2011 10:30	728	22.86	10,33
25/10/2011 10:33	729	22.86	10,32
25/10/2011 10:36	730	22.85	10,31
25/10/2011 10:39	731	22.85	10,3
25/10/2011 10:42	730	22.86	10,31
25/10/2011 10:45	730	22.85	10,31
25/10/2011 10:48	731	22.85	10,3
25/10/2011 10:51	732	22.85	10,29
25/10/2011 10:54	731	22.86	10,3

PROFUNDIDAD DIVER			1761 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	Nivel de Agua m
25/10/2011 10:57	732	22.86	10,29
25/10/2011 11:00	732	22.86	10,29
25/10/2011 11:03	733	22.86	10,28
25/10/2011 11:06	733	22.86	10,28
25/10/2011 11:09	732	22.86	10,29
25/10/2011 11:12	733	22.86	10,28
25/10/2011 11:15	733	22.86	10,28
25/10/2011 11:18	733	22.86	10,28
25/10/2011 11:21	734	22.86	10,27
25/10/2011 11:24	734	22.86	10,27
25/10/2011 11:27	734	22.86	10,27
25/10/2011 11:30	735	22.86	10,26
25/10/2011 11:33	734	22.86	10,27
25/10/2011 11:42	734	22.86	10,27
25/10/2011 12:03	736	22.86	10,25
25/10/2011 12:15	736	22.86	10,25
25/10/2011 12:18	735	22.86	10,26
25/10/2011 12:33	737	22.86	10,24
25/10/2011 13:03	738	22.86	10,23
25/10/2011 13:06	736	22.86	10,25
25/10/2011 14:09	739	22.86	10,22
25/10/2011 14:18	737	22.86	10,24
25/10/2011 15:24	738	22.86	10,23
25/10/2011 15:42	740	22.86	10,21

PROFUNDIDAD DIVER			1761 cm
Date/time	Carga hidrostática[cm]	Temperatura[°C]	Nivel de Agua m
25/10/2011 18:09	738	22.86	10,23
25/10/2011 22:06	739	22.86	10,22
25/10/2011 22:15	741	22.86	10,2
26/10/2011 00:48	742	22.85	10,19
26/10/2011 08:54	740	22.84	10,21
26/10/2011 11:24	743	22.84	10,18
26/10/2011 12:30	743	22.84	10,18
26/10/2011 12:54	741	22.84	10,2
26/10/2011 13:09	742	22.84	10,19
26/10/2011 13:12	743	22.84	10,18

- **POZO PROFUNDO**

Responsables	Mario Barrera y Diego Ruíz					
Nivel Estático	8,50	m				
Localidad	Pozo profundo Bajos de pan de Azúcar					
Hora y Fecha de Inicio	21 de Octubre 2011 7:20 am					
Hoja N°	1					
	NIVEL DE AGUA (m)		AFORO (s)			
TIEMPO (min)	5 min	10 min	t1	t2	t3	t4
10	9,22	9,23	25,85	26,28	26,83	27,12
20	9,35	9,4	20,68	20,88	21,04	21,31
30	9,23	9,26	24,95	25,19	25,86	25,96
40	9,37	9,37	20,88	21,08	21,6	21,96
50	9,27	9,26	23,74	24,88	24,9	25,13
60	9,39	9,39	20,34	21,25	22,34	22,31
70	9,26	9,24	24,95	25,1	25,76	25,9
80	9,38	9,36	22,04	22,32	22,98	23,43
90	9,14	9,12	27,26	28,6	31,01	30,57
100	9,25	9,13	21,93	22,15	23,11	23,88

PROFUNDIDAD DAVER			1315cm	PROFUNDIDAD DAVER			1315cm
Date/time	Carga hidrostática[c m]	Temperatura[° C]	Nivel de Agua m	Date/time	Carga hidrostática[c m]	Temperatura[° C]	Nivel de Agua m
21/10/2011 09:33	444	23.65	8,71	21/10/2011 10:54	462	22.83	8,53
21/10/2011 09:36	450	23.54	8,65	21/10/2011 10:57	461	22.81	8,54
21/10/2011 09:39	453	23.52	8,62	21/10/2011 11:00	461	22.8	8,54
21/10/2011 09:42	454	23.46	8,61	21/10/2011 11:03	461	22.79	8,54
21/10/2011 09:45	456	23.4	8,59	21/10/2011 11:06	461	22.76	8,54
21/10/2011 09:48	456	23.36	8,59	21/10/2011 11:09	460	22.77	8,55
21/10/2011 09:51	457	23.3	8,58	21/10/2011 11:12	461	22.77	8,54
21/10/2011 09:54	457	23.27	8,58	21/10/2011 11:15	461	22.76	8,54
21/10/2011 09:57	457	23.23	8,58	21/10/2011 11:18	461	22.75	8,54
21/10/2011 10:00	458	23.2	8,57	21/10/2011 11:21	461	22.74	8,54
21/10/2011 10:03	458	23.17	8,57	21/10/2011 11:24	461	22.73	8,54
21/10/2011 10:06	458	23.13	8,57	21/10/2011 11:27	462	22.72	8,53
21/10/2011 10:09	459	23.09	8,56	21/10/2011 11:30	462	22.72	8,53
21/10/2011 10:12	459	23.07	8,56	21/10/2011 11:33	462	22.72	8,53
21/10/2011 10:15	459	23.04	8,56	21/10/2011 11:36	462	22.71	8,53
21/10/2011 10:18	459	23.01	8,56	21/10/2011 11:39	463	22.69	8,52
21/10/2011 10:21	460	23	8,55	21/10/2011 11:42	462	22.69	8,53
21/10/2011 10:24	459	22.97	8,56	21/10/2011 11:45	463	22.7	8,52
21/10/2011 10:27	459	22.97	8,56	21/10/2011 11:48	463	22.69	8,52
21/10/2011 10:30	460	22.95	8,55	21/10/2011 13:15	464	22.6	8,51
21/10/2011 10:33	459	22.92	8,56	21/10/2011 13:18	464	22.61	8,51
21/10/2011 10:36	460	22.9	8,55	21/10/2011 13:21	464	22.6	8,51
21/10/2011 10:39	460	22.89	8,55	21/10/2011 13:24	464	22.6	8,51
21/10/2011 10:42	460	22.88	8,55	21/10/2011 14:21	464	22.58	8,51
21/10/2011 10:45	460	22.86	8,55	21/10/2011 14:24	464	22.59	8,51
21/10/2011 10:48	461	22.85	8,54	21/10/2011 14:27	464	22.58	8,51
21/10/2011 10:51	461	22.83	8,54	21/10/2011 14:30	464	22.57	8,51

PROFUNDIDAD DAVER			1315cm	PROFUNDIDAD DAVER			1315cm
Date/time	Carga hidrostática[c m]	Temperatura[° C]	Nivel de Agua m	Date/time	Carga hidrostática[c m]	Temperatura[° C]	Nivel de Agua m
21/10/2011 14:33	464	22.58	8,51	21/10/2011 14:57	464	22.54	8,51
21/10/2011 14:36	464	22.58	8,51	21/10/2011 15:00	464	22.55	8,51
21/10/2011 14:39	464	22.58	8,51	21/10/2011 15:03	464	22.57	8,51
21/10/2011 14:42	464	22.56	8,51	21/10/2011 15:06	464	22.58	8,51
21/10/2011 14:45	464	22.55	8,51	21/10/2011 15:09	464	22.58	8,51
21/10/2011 14:48	464	22.56	8,51	21/10/2011 15:12	464	22.58	8,51
21/10/2011 14:51	464	22.57	8,51	21/10/2011 15:15	464	22.57	8,51
21/10/2011 14:54	464	22.56	8,51	21/10/2011 15:18	465	22.56	8,5