



SYSCOL CONSULTORES S.A.S

Servicios Locales, Soluciones Globales.

SUB CAPITULO 1.6
HIDRAULICA DE POZOS

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
1. OBJETIVOS	7
1.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.2. OBJETIVO ESPECIFICO	7
2. CRITEROS DE SELECCIÓN PRUEBAS DE BOMBEO	8
2.1. GENERALIDADES	8
2.2. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO .	8
2.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL PUNTO DE PERFORACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN CACHO	10
3. ÁREA PROPUESTA PARA LA PERFORACIÓN.	12
3.1.1. Ubicación del punto de perforación dentro del área ubicada en el SEV 24.	14
4. HIDRAULICA DE POZOS	15
4.1. METODOLOGIA UTILIZADA PRUEBAS DE BOMBEO	15
4.1.1. Procedimiento en campo	16
4.2. ANALISIS DE VARIABLES	16
4.2.1. Características hidráulicas	16
5. PRUEBAS DE BOMBEO	20
5.1. PRUEBA DE BOMBEO POZO SANTA LUCIA EPOCA DE LLUVIA 2017.	20
5.1.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante	21
5.1.2. CURVAS DE INTERPRETACIÓN.....	22
5.2. PRUEBA DE BOMBEO POZO SANTA LUCIA EPOCA DE ESTIAJE 2017.	25
5.2.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante	26
5.2.2. CURVAS DE INTERPRETACIÓN.....	27
5.2.3. RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA SANTA LUCIA.	30
5.3. PRUEBA DE BOMBEO POZO FINCA SANTA RITA EPOCA DE LLUVIA 2017.	30
5.3.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante	31
5.3.2. Curvas De Interpretación	33

5.4.	POZO PROFUNDO FINCA SANTA RITA EPOCA DE ESTIAJE.	36
5.4.1.	Datos de la Prueba a Caudal Constante	37
5.4.2.	Curvas De Interpretación	38
5.4.3.	RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA SANTA RITA.	41
5.5.	PRUEBA DE BOMBEO POZO UNIQUE COLLETION S.A.S EPOCA DE LLUVIA 2017.	41
5.5.1.	Datos de la prueba a caudal constante.	42
5.5.2.	Curvas de interpretación.	43
5.6.	PRUEBA DE BOMBEO POZO UNIQUE COLLETION S.A.S EPOCA DE ESTIAJE 2017.	46
5.6.1.	Datos de la prueba a caudal constante.	47
5.6.2.	Curvas de interpretación.	49
5.6.3.	RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA UNIQUE COLLETION S.A.	51
5.7.	PRUEBA DE BOMBEO POZO CUCHARO EPOCA DE LLUVIA	52
5.7.1.	Datos de la prueba a caudal constante.	53
5.7.2.	Curvas De Interpretación	54
5.8.	PRUEBA DE BOMBEO POZO PROFUNDO PREDIO EL CUCHARO EPOCA DE ESTIAJE 2017	57
5.8.1.	Datos de la prueba a caudal constante.	58
5.8.2.	Curvas De Interpretación	59
5.8.3.	RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO PREDIO EL CUCHARO. ...	62
5.9.	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL ESCALONADO EN EL POZO VEREDA LAS FLORES EPOCA DE LLUVIA-2017.....	62
5.9.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POZO.....	63
5.9.2.	DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL ESCALONADO EPOCA DE LLUVIA-2017.....	64
5.9.3.	ANÁLISIS DE LOS DATOS MEDIDOS Y DE LOS RESULTADOS.	66
5.9.4.	CAPACIDAD ESPECÍFICA.....	67
5.9.5.	ANALISIS DE DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO CON EL CAUDAL DE 0,11 L/s.	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFIA	72



TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Pozos distribuidos sobre los Depósitos Aluviales, la Formación Regadera y la Formación Labor y Tierna.....	10
Imagen 2. Localización SEV 24 mapa geológico.....	12
Imagen 3. Interpretación de resultados del SEV_24.....	13
Imagen 4. Corte Geológico – Geoeléctrico.....	13
Imagen 5. Localización SEV 24 y área propuesta perforación.....	14
Imagen 6. Aplicación de DARCY en campo para acuíferos libres.....	17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de Pozos en estado activo.....	8
Tabla 2. Puntos donde se desarrolló la prueba de Bombeo y unidades litoestratigráfica asociada.....	9
Tabla 3. Localización del SEV 24.....	14
Tabla 4. Ubicación del punto de perforación.....	14
Tabla 5. Sonda de nivel utilizada para las pruebas de bombeo.....	15
Tabla 6. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	21
Tabla 7. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	26
Tabla 8. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	32
Tabla 9. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	37
Tabla 10. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	42
Tabla 11. Calculo de la prueba de bombeo.....	47
Tabla 12. Cálculos de la Prueba de Bombeo.....	53
Tabla 13. Calculo de la prueba de bombeo.....	58
Tabla 14. Datos de pruebas de bombeo.....	64
Tabla 15. Datos de la prueba de bombeo.....	65
Tabla 16. Datos de la prueba de bombeo.....	65
Tabla 17. Variables utilizadas para el procesamiento de datos.....	66

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Identificación del punto de descarga.....	21
Fotografía 2. Medición del nivel dinámico.....	21
Fotografía 3. Identificación del punto de descarga.....	26
Fotografía 4. Medición del nivel dinámico.....	26
Fotografía 5. Identificación del punto de descarga.....	31
Fotografía 6. Medición del nivel estático.....	31
Fotografía 7. Identificación del punto de descarga.....	36

Fotografía 8. Medición del nivel dinámico.	36
Fotografía 9. Identificación del punto de descarga.	42
Fotografía 10. Medición del nivel dinámico.	42
Fotografía 11. Identificación del punto de descarga.	47
Fotografía 12. Medición del nivel estático.	47
Fotografía 13. Identificación del punto de descarga.	52
Fotografía 14. Medición del nivel estático.	52
Fotografía 15. Identificación del punto de descarga.	57
Fotografía 16. Medición del nivel dinámico.	57
Fotografía 17 , Fotografía 18 y Fotografía 19. Medición del nivel dinámico.	63
Fotografía 20 y Fotografía 21 . Prueba de bombeo a caudal escalonado.	63

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Nivel Dinámico VS Tiempo	22
Gráfica 2. Nivel Dinámico VS Tiempo	23
Gráfica 3. Abatimiento vs Tiempo.....	23
Gráfica 4. Recuperación VS Tiempo.	24
Gráfica 5. Abatimiento Residual vs Tiempo	25
Gráfica 6. Nivel Dinámico VS Tiempo	27
Gráfica 7. Nivel Dinámico VS Tiempo	28
Gráfica 8. Recuperación VS Tiempo	28
Gráfica 9. Abatimiento vs Tiempo.....	29
Gráfica 10. Abatimiento vs Tiempo.....	30
Gráfica 11. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	33
Gráfica 12. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	33
Gráfica 13. Abatimiento vs Tiempo.....	34
Gráfica 14. Recuperación vs Tiempo	35
Gráfica 15. Abatimiento Residual vs Tiempo	35
Gráfica 16. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	38
Gráfica 17. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	38
Gráfica 18. Abatimiento vs Tiempo.....	39
Gráfica 19. Recuperación vs Tiempo	40
Gráfica 20. Recuperación vs Tiempo	40
Gráfica 21. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	43
Gráfica 22. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	44
Gráfica 23. Abatimiento VS Tiempo	44
Gráfica 24. Recuperación VS Tiempo.	45
Gráfica 25. Abatimiento Residual vs Tiempo.	46
Gráfica 26. Nivel dinámico vs Tiempo	49
Gráfica 27. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	49
Gráfica 28. Recuperación vs Tiempo	50

Gráfica 29. Abatimiento Residual vs Tiempo	50
Gráfica 30. Abatimiento Residual vs Tiempo	51
Gráfica 31. Nivel dinámico vs Tiempo	54
Gráfica 32. Nivel dinámico vs tiempo	54
Gráfica 33. Abatimiento vs Tiempo.....	55
Gráfica 34. Recuperación vs Tiempo	56
Gráfica 35. Abatimiento Residual vs Tiempo	56
Gráfica 36. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	59
Gráfica 37. Nivel dinámico vs Tiempo	59
Gráfica 38. Abatimiento vs Tiempo.....	60
Gráfica 39. Recuperación vs Tiempo	61
Gráfica 40. Recuperación vs Tiempo	61
Gráfica 41. Nivel Dinámico vs Tiempo.....	67
Gráfica 42. Nivel Dinámico Vs Tiempo	68
Gráfica 43. Curva de abatimiento vs Tiempo.....	68
Gráfica 44. Curva de Abatimiento Residual t'/t'	69

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Autorización sobre el uso, ocupación e intervención para la perforación del pozo exploratorio. (Físico y digital ver CD).
- Anexo 2.** Plan de Manejo Ambiental para la construcción del Pozo de agua subterránea y Acta de socialización del Plan de Manejo Ambiental. (Físico y digital ver CD).
- Anexo 3.** Informe de perforación del pozo exploratorio.
- Anexo 4.** Registro eléctrico del pozo construido y columna litoestratigráfica. (Físico y digital ver CD).
- Anexo 5.** Formatos pruebas de bombeo periodo lluvia y estiaje (Físico y digital ver CD).

INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua subterránea se encuentra influenciado y determinado por factores hidrogeológicos, por lo tanto, fijando condiciones controladas, como puede ser el bombeo de un pozo, se podrán estimar los parámetros característicos del acuífero, con las expresiones e hipótesis adecuadas, para este caso en particular estudiaremos las características de las formaciones de mayor interés hidrogeológico como son cacho, labor y tierna, regadera y depósitos aluviales en el municipio de Guasca.

Por medio del inventario de puntos que se desarrolló en el capítulo 1.3 de la fase de diagnóstico se identificaron los pozos existentes para posteriormente ejecutar las pruebas de bombeo, dentro de la fase de campo se identificaron un total de 11 pozos de los cuales 5 se encuentran productivos, 2 abandonados, 2 sellados, 1 inactivo y 1 en estado de reserva; a partir de esta clasificación se seleccionaron los pozos a analizar, no obstante en la formación cacho no se encontró ningún pozo construido por tanto se vio la necesidad de construir un pozo exploratorio que permitiera conocer el potencial hidrogeológico de la formación.

Para la selección del área de perforación se tuvieron en cuenta el desarrollo de estudios geoelectricos para la identificación de la formación de interés hidrogeológico cacho y con ayuda de los ensayos de bombeo conocer el comportamiento hidráulico y de esta manera lograr identificar la cantidad de agua disponible para su aprovechamiento como fuente de captación.



1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Conocer el potencial de las formaciones de interés hidrogeológico a través de pruebas de bombeo a pozos profundos ubicados en el área de interés del acuífero del municipio de Guasca, jurisdicción de Corpoguavio.

1.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- ✓ Identificar por medio del inventario de puntos los pozos profundos actualmente construidos, para la ejecución de pruebas de bombeo en el municipio de Guasca- Cundinamarca.
- ✓ Realizar estudios geoelectricos para la identificación del área de perforación sobre la formación que no tenga puntos de observación construidos, con el fin de establecer los espesores de las formaciones de interés hidrogeológico.
- ✓ Realizar ensayos de bombeo e Identificar las características hidráulicas del acuífero a través de la prueba de bombeo y el análisis de variables tales como la conductividad hidráulica, capacidad específica y transmisividad.

2. CRITEROS DE SELECCIÓN PRUEBAS DE BOMBEO

2.1. GENERALIDADES

Una prueba de bombeo se realiza para evaluar un acuífero, estimulándolo por medio de bombeo, y observando su respuesta (descenso de nivel); es una herramienta común utilizada en hidrogeología para caracterizar un sistema de acuíferos. La forma más común de realizar una prueba de bombeo es bombeando agua desde un pozo, a una tasa constante, mientras se miden cuidadosamente los niveles de agua en el pozo profundo. Cuando el agua es bombeada desde el pozo de bombeo, la presión en el acuífero disminuye, provocando el descenso del nivel de agua. La prueba de bombeo tiene como objeto definir las características hidráulicas del pozo y del acuífero, y con base en lo anterior y en la información disponible sobre el sistema a ser abastecido, recomendar las mejores condiciones para la operación del pozo en el largo plazo.

2.2. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

De acuerdo a los puntos monitoreados, visitados y encuestados en el capítulo de inventario de pozos, aljibes y manantiales se identificaron 11 pozos, de los cuales 5 se encuentran en estado productivo, 2 abandonados, 2 sellado, 1 inactivo y 1 reserva, por lo tanto para la ejecución de las pruebas de bombeo inicialmente se seleccionaron los 6 pozos que se encuentran actualmente en operación, 5 que se reportaron como productivos y 1 el cual se encuentra en estado de reserva, adicionalmente se realizó una prueba de bombeo en el pozo en el cual se realizó la perforación :

Tabla 1. Ubicación de Pozos en estado activo.

ITEM	NOMBRE	ESTE	NORTE
1	Pozo Profundo Finca Santa Lucia	1016624	1026575
2	Pozo Profundo Finca Santa Rita	1019035	1024392
3	Pozo Profundo Unique Colletion S.A	1014531	1024475
4	Pozo Profundo Finca el Retiro	1016679	1026413
5	Pozo Profundo Predio el Cucharo	1018660	1024714
6	Pozo Profundo Centro comercial los laureles	1025115	1015751
7	Pozo Profundo Vereda Las Flores(Perforado por SYSCOL)	1023790	1031269

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

De los siete puntos descritos anteriormente se solicitaron permisos previamente para acceder al ingreso y desarrollo de las pruebas de bombeo, estos permisos se tramitaron por medio de oficios que se enviaron vía E-mail.

En respuesta a los oficios enviados se obtuvo permiso 5 puntos, en el punto ubicado en el centro comercial de los Laureles los propietarios no autorizaron el ingreso para realizar la respectiva prueba; por otra parte, en el pozo ubicado en la Finca el Retiro no se logró concluir la prueba de bombeo debido a fallas técnicas de la bomba instalada en el pozo.

En la siguiente tabla se relacionan los puntos a los cuales se realizó prueba de bombeo y su ubicación dentro de la formación de interés hidrogeológico; cabe mencionar que todas las formaciones de interés del proyecto cuentan con presencia de pozos preexistentes a excepción de la formación Cacho, por lo que en el numeral 1.5 se presentan los criterios de selección para la perforación de un pozo exploratorio en esa formación.

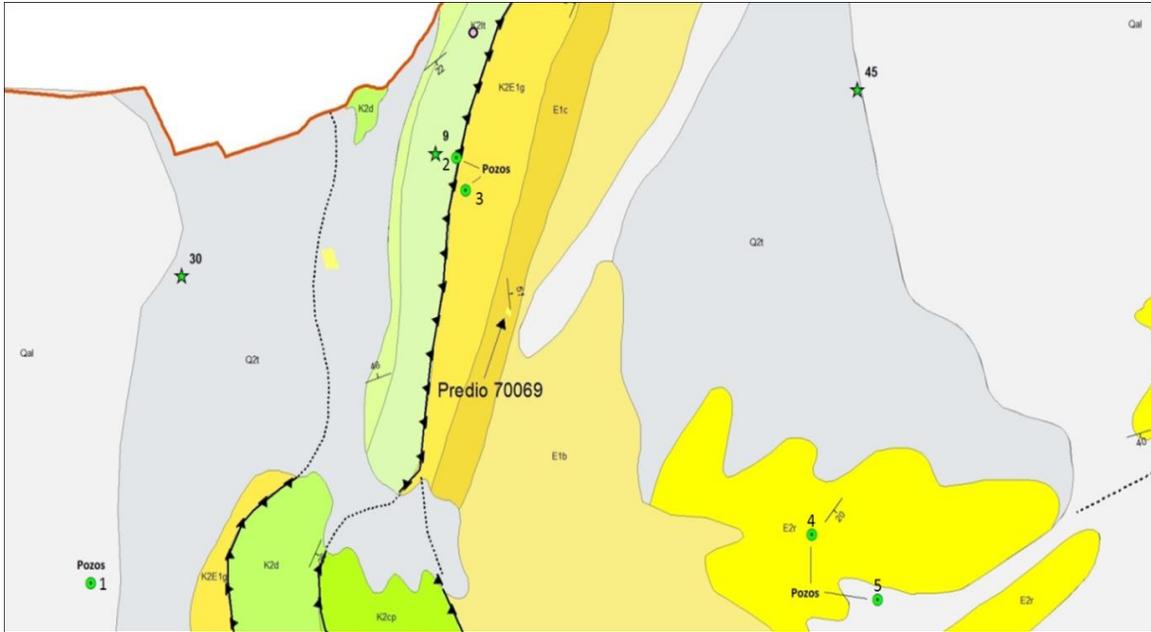
Tabla 2. Puntos donde se desarrolló la prueba de Bombeo y unidades litoestratigráfica asociada.

ITEM	NOMBRE	FORMACIÓN DE LA CUAL SE ENCUENTRA CAPANDO	VEREDA
1	Pozo Profundo Finca Santa Lucia	Labor y Tierra	Santa Lucia
2	Pozo Profundo Finca Santa Rita	Regadera	Trinidad
3	Pozo Profundo Unique Colletion S.A	Depósitos Aluviales	Santa Isabel
4	Pozo Profundo Predio el Cucharo	Regadera	Santa Lucia
5	Pozo profundo Vereda las flores	Formación Cacho	Vereda Las Flores

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la tabla 2 se puede apreciar las unidades litoestratigráficas de las cuales se encuentran captando los pozos estudiados, esta información fue inferida a través de la interpretación de los cortes geológicos – geoelectrónicos relacionándolo con la profundidad del pozo. Es importante aclarar que los pozos no tienen información sobre el diseño constructivo ni perfil litológico.

Imagen 1. Pozos distribuidos sobre los Depósitos Aluviales, la Formación Regadera y la Formación Labor y Tierna.



Fuente. SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

2.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL PUNTO DE PERFORACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN CACHO

Con el fin de estudiar el potencial hidrogeológico de las formaciones geológicas del municipio de Guasca se buscaron pozos profundos distribuidos en la zona de estudio que permitieran analizar las características hidráulicas y el comportamiento de las formaciones, de este modo se encontraron pozos profundos construidos en la Formación Regadera (Pozo profundo Finca Santa Rita y Pozo Profundo Predio el Cucharo), Labor y Tierna (Pozo Finca Santa Lucia) y Depósitos Aluviales (Pozo Profundo Unique Colletion S.A), de acuerdo a esta información levantada en campo sobre la Formación Cacho no se encuentra construido un pozo que permita establecer el comportamiento de la formación cacho, por lo tanto se decidió construir un pozo exploratorio.

A continuación, se presentan los criterios para tener en cuenta para la elección del sitio de perforación:

La definición del sitio para la perforación exploratoria se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la evaluación geológica y la prospección geofísica por medio de sondeos eléctricos verticales (SEV), así como la evaluación hidrogeológica realizada a partir de información secundaria. Por último, se



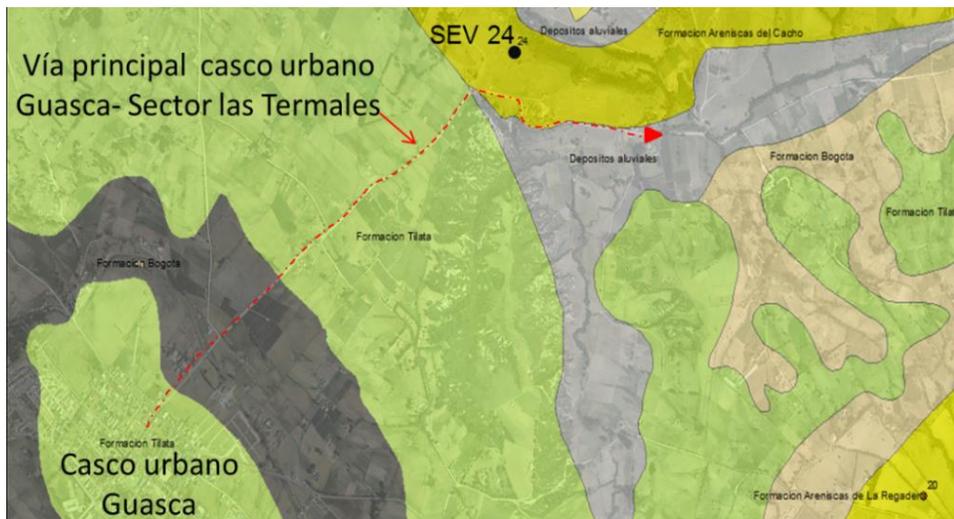
establecieron los predios disponibles para la ejecución de la perforación exploratoria a partir de la información catastral del municipio de Guasca.

En la imagen 2 se puede apreciar que la formación Areniscas del Cacho carece de un pozo para su caracterización hidráulica; por lo que tiene ausencia de infraestructura para determinar su importancia hidrogeológica teórica. Por lo anterior, se requirió destinar los recursos para la perforación de un pozo exploratorio para encontrar cacho y caracterizar sus parámetros hidráulicos como: conductividad hidráulica (K), transiividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S), los cuales pueden obtenerse por medio de pruebas de bombeo.

3. ÁREA PROPUESTA PARA LA PERFORACIÓN.

Mediante la información geológica y la interpretación de los SEV que se habían realizado en la campaña de geofísica, se logró la identificación del SEV 24, el cual aporta información sobre los espesores asociados a la formación Arenisca del Cacho, una vez analizada la información geomorfológica y de acceso al punto propuesto se definió que el punto SEV 24 podría ser utilizado para la perforación del pozo exploratorio.

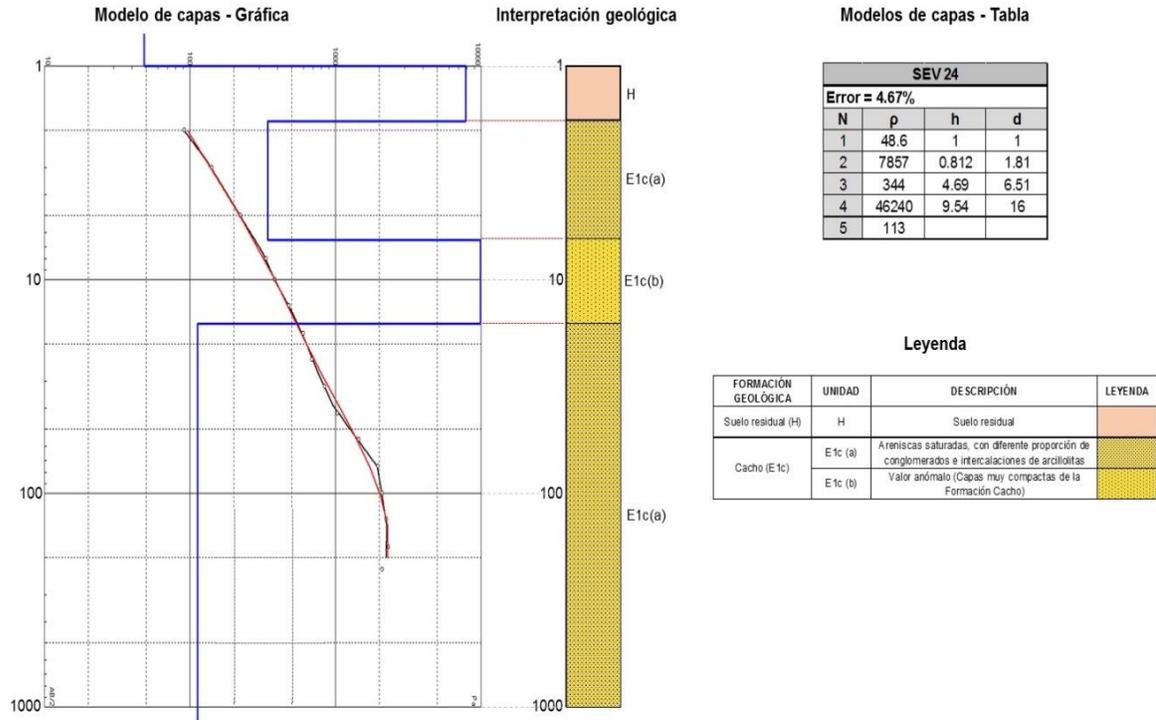
Imagen 2. Localización SEV 24 mapa geológico.



Fuente. SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

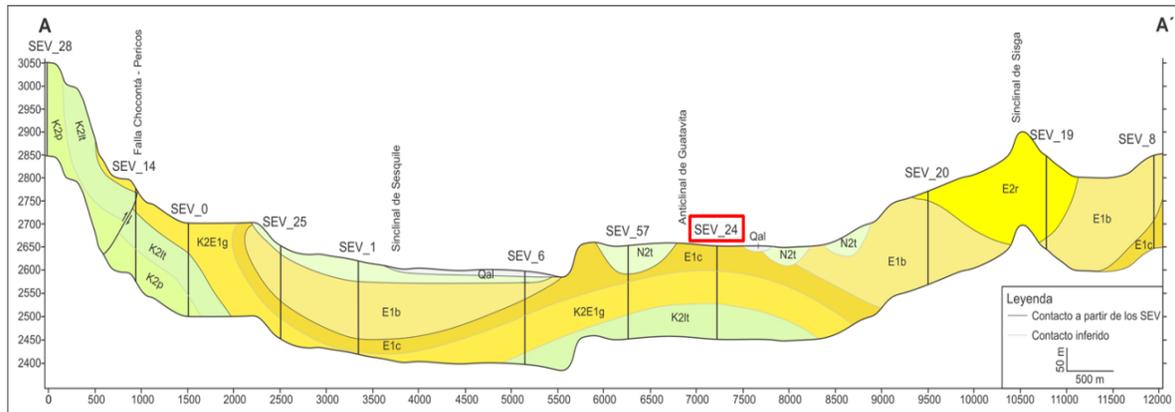
Imagen 3. Interpretación de resultados del SEV_24.

SEV_24



Fuente. SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

Imagen 4. Corte Geológico – Geoeléctrico.



Fuente. SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

El área propuesta para la perforación se localiza en la vereda Flores, hacia la parte norte del municipio aproximadamente a unos 200 metros del casco urbano, por la vía que conduce al sector de las termas, en cercanía a la estación meteorológica 21205700 de IDEAM.

Esta zona abarca el predio de la señora María Concepción Peña Prieto, por lo cual se procedió a solicitar una autorización para el uso, ocupación y la intervención temporal del predio rural denominado Vega Alta. (Ver Anexo 1). Adicional a la autorización se estableció y se socializó un Plan de Manejo Ambiental para la construcción de pozo de agua subterránea, de tal forma que se controlaran, redujeran, y mitigaran los posibles impactos asociados a la actividad de perforación. (ver anexo 2).

Tabla 3. Localización del SEV 24.

Norte	Este	Altura
1023790	1031269	2687 msnm

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Imagen 5. Localización SEV 24 y área propuesta perforación.



Fuente. SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

3.1.1. Ubicación del punto de perforación dentro del área ubicada en el SEV 24.

En el anexo 3 se presenta el informe de construcción del pozo perforado en la vereda las Flores del municipio de Guasca, a su vez en el anexo 4 presenta el registro eléctrico y la columna litoestratigráfica del pozo exploratorio.

Tabla 4. Ubicación del punto de perforación

PUNTO DE PERFORACIÓN VEREDA LAS FLORES		
Norte	Este	Altura
1031232.26	1023683.51	2694 msnm

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

4. HIDRAULICA DE POZOS

4.1. METODOLOGIA UTILIZADA PRUEBAS DE BOMBEO

Consiste en bombear un pozo que esté perforado en el acuífero que se desea estudiar, durante un cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel dinámico; La duración de la prueba de bombeo según la Norma Técnica Colombiana NTC 5539 numeral 5.1.2.2; expone que “El pozo debe bombearse a un caudal constante al menos hasta que se observe una tendencia a una línea recta en una gráfica de nivel de agua contra logaritmo de tiempo...”.¹, lo cual significa que una vez el nivel de abatimiento sea constante en un lapso de tiempo, la prueba de bombeo habrá culminado

Se realizaron las mediciones de niveles con sonda eléctrica sonora, tomando inicialmente el nivel estático, luego niveles dinámicos con respecto al tiempo y nivel de recuperación después de suspendido el bombeo

Tabla 5. Sonda de nivel utilizada para las pruebas de bombeo

SONDA DE NIVEL HERON	CARACTERISTICAS
	<p>MARCA: HERON</p> <p>Dimensiones: 340mm altura x 250mm ancho x 200 metros de profundidad Peso: 0.45Kg cada 30 m de cinta de carrete: 2.0Kg.</p> <p>Cinta: Tira de acero inoxidable recubierto de polietileno. Precisión de 1 mm a las normas de ASME Conductores de acero inoxidable Graduado en milímetros, centímetros y metros. Indeleble fuera que nunca. Tracción de la ruptura de más de 160 Kg.</p>

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

Los datos de campo se registraron en el formato **F-MH-04-06** (ver anexo 5), este formato registra datos del tiempo, nivel estático, niveles dinámico y nivel de agua; a

¹ Norma Técnica Colombiana NTC 5539, requisitos mínimos construcción -pozos; construcción de pozos profundos - agua; agua subterránea; pozos de agua; extracción de agua subterránea; suministro de agua, 2007, p 90.



través de los cuales se calculan datos de abatimiento, abatimiento residual y recuperación.

4.1.1. Procedimiento en campo

- Transporte de equipos, herramientas y personal.
- Energización del tablero de control de la electrobomba sumergible del pozo.
- Inicialmente se realiza la toma del nivel estático mientras el pozo se encuentra en reposo y sin iniciar el bombeo, para esto, se ubica la sonda dentro del tubería (ubicado al lado del cabezal del pozo) hasta obtener la señal sonora que indica el nivel del agua. Se debe anotar la lectura respectiva.
- Se inicia el bombeo y se energiza la electrobomba sumergible, con lo cual se toma la lectura de tiempos, caudales y niveles según formato establecido
- Luego del bombeo, se procede a apagar el equipo de producción y se toma la medida y tiempo de los niveles de recuperación del pozo.
- Se realiza el abandono del área intervenida.

4.2. ANALISIS DE VARIABLES

4.2.1. Características hidráulicas

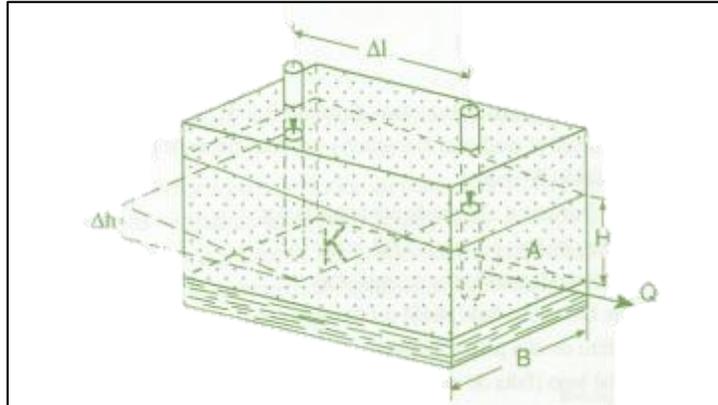
A partir de los datos tomados durante la prueba de bombeo se pueden determinar algunas características hidráulicas del acuífero, entre las variables encontramos la permeabilidad, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento.

4.2.1.1. Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)

Es definido como una constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y gradiente hidráulico:

La aplicación en campo de la ley de DARCY se ilustra en la siguiente imagen:

Imagen 6. Aplicación de DARCY en campo para acuíferos libres.



Fuente: Introducción a la Hidrogeología (adaptado: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017)

$I: \Delta h / \Delta l$ el gradiente hidráulico se mide por medio de dos piezómetros ubicados en la dirección del flujo.

Δh : diferencia de la altura del nivel piezométrico entre los dos piezómetros [m]

Δl : distancia horizontal entre los dos piezómetros [m]

B : Ancho de la sección de flujo

H : Altura del acuífero [m] (variable)

$A: B \cdot H$: Sección de flujo [m²] (variable)

K : coeficiente de permeabilidad [m/s]

Q : caudal de flujo [m³/s]²

4.2.1.2. Transmisibilidad Jacob (T)

Se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa a través de una sección vertical de ancho unitario y de altura b , siendo b la altura de la zona saturada.

Se tiene en cuenta la diferencia de Δs en un ciclo logarítmico. Para determinar este valor se toma cualquier dato de tiempo sobre el gráfico s vs t y se anota el abatimiento que corresponde a ese tiempo. Luego ese tiempo se divide en 10 y ese nuevo tiempo es localizado en el gráfico obteniéndose un nuevo abatimiento al que se le resta el abatimiento anterior, esa diferencia es conocida como Δs .

Ecuación 1

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

² INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA, El flujo del agua en el acuífero [en línea] < http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080066373/1080066373_05.pdf > [citado en 26 de julio de 2017].

Dónde:

T: Transmisibilidad en m³ /día-m

Q: Caudal de bombeo constante en m³/día

Δs: Diferencia de abatimiento en un ciclo logarítmico.

4.2.1.3. Transmisividad en la recuperación del pozo

Cuando se apaga la bomba el efecto sobre el acuífero debe compararse como un segundo bombeo que inyecta agua al acuífero. El abatimiento residual s´ puede por consiguiente estimarse como resultado de dos efectos, el primero es que al bombearse continuamente el pozo se inyecte agua al acuífero con la misma rata que se extrajo.

Por semejanza estos dos efectos con la ecuación de JACOB se pueden deducir que el abatimiento residual está relacionado con la transmisividad, rata de bomba y la relacionado t/t´.

Ecuación 2

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s'}$$

4.2.1.4. Coeficiente de almacenamiento (S)

Se define como el volumen de agua que es liberado por un prisma del acuífero de sección unitario y de altura igual a la parte saturada del mismo cuando se produce un cambio unitario del nivel piezométrico.

4.2.1.5. Capacidad específica

Se define como la relación entre el caudal bombeado y el abatimiento o descenso del nivel del pozo. “Para encontrar la capacidad específica de un pozo basta dividir el caudal de bombeo por el máximo de abatimiento. También se puede estimar dividiendo la transmisibilidad por 130 cuando se trata de acuíferos confinados y por 95 por acuíferos libres”³.

³ Escuela de Ingenieros Militares, Agua Subterránea y Perforación de Pozos, Santa Fe de Bogotá, 1997, Pág. 183.

4.2.1.6. Coeficiente de almacenamiento y la capacidad específica

Se describe como la propiedad de un acuífero para almacenar agua, por tanto, para su cálculo se tiene en cuenta las mediciones realizadas en el pozo de bombeo, como también en pozos vecinos utilizados como pozos de observación, sin embargo, en los puntos monitoreados no se encontraron pozos cerca para realizar el cotejo correspondiente entre los dos puntos, por lo tanto, esta característica no pudo ser hallada para ninguno de los puntos anteriormente analizados.

Así mismo para hallar el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulico según lo mencionado en la figura 1 se requiere tener datos de piezómetros cerca al punto de bombeo y debido a que en campo no se encontraban en pozos cercanos este parámetro no puede ser hallado

5. PRUEBAS DE BOMBEO

Para el desarrollo del presente capítulo la consultoría desarrollo 6 pruebas de bombeo para cada una de las formaciones de interés hidrogeológico, dichas pruebas se realizaron para la época de lluvia y estiaje; obteniendo las características de transmisividad hidráulica y capacidad específica para cada uno de los pozos en diferente periodos del año, estas se logran a través del análisis del nivel dinámico vs el algoritmo tiempo, abatimiento vs tiempo y los periodos de recuperación para determinar la recarga del acuífero.

5.1. PRUEBA DE BOMBEO POZO SANTA LUCIA EPOCA DE LLUVIA 2017.

El pozo profundo se encuentra ubicado en los límites entre la vereda el Salitre y La vereda Santa Lucia, el ingreso al punto se realiza por la vía que de la calera conduce a Guatavita, en el punto se observan pastizales y actividad ganadera, la descarga se realiza sobre una estructura tipo tanque subterráneo que cuenta con una cubierta de madera de 10 metros de longitud por 1,5 metros de ancho, el descole de dicha estructura entrega las aguas a un embalse de almacenamiento que sirve como reservorio para las actividades de la finca.

Características generales

- Profundidad del pozo: 150 metros
- Tubería de succión: 3 pulgadas
- Material: Hierro galvanizado
- Caudal: 2 L/s
- Profundidad de instalación: 90 metros

REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Fotografía 1. Identificación del punto de descarga.



Fotografía 2. Medición del nivel dinámico.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

5.1.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante

Ubicación: Vereda Santa Lucia

Fecha: 29 de Julio de 2017

Caudal: 2 L/s

Tabla 6. Cálculos de la Prueba de Bombeo

BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	62		360	0	360	0.0	77	15	
1	66	4	361	1	364	364.0	70.09	8.09	6.91
2	69.54	7.54	362	2	367.54	183.8	67.82	5.82	9.18
3	70.21	8.21	363	3	368.21	122.7	66.09	4.09	10.91
4	70.8	8.8	364	4	368.8	92.2	65.47	3.47	11.53
5	71.13	9.13	365	5	369.13	73.8	65.03	3.03	11.97
10	72.09	10.09	370	10	370.09	37.0	64.5	2.5	12.5
15	72.71	10.71	375	15	370.71	24.7	64.37	2.37	12.63
20	73.1	11.1	380	20	371.1	18.6	64.13	2.13	12.87
25	73.43	11.43	385	25	371.43	14.9	63.99	1.99	13.01

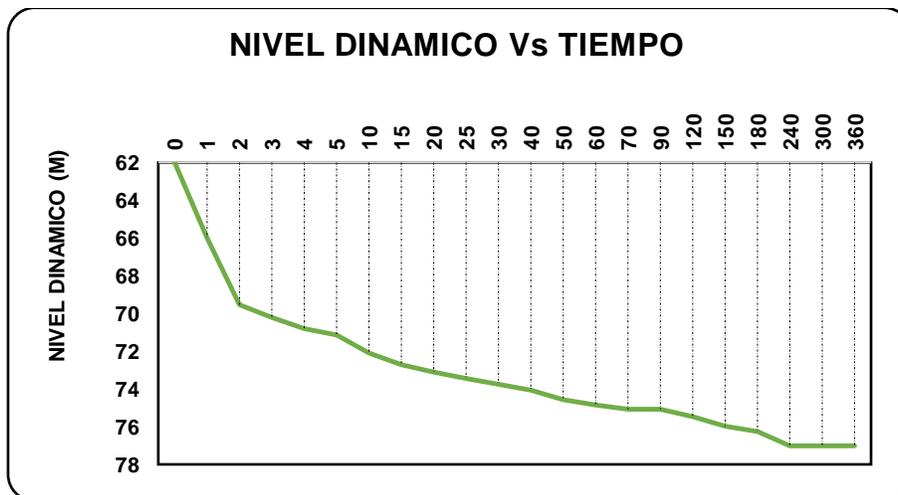
BOMBEO			RECUPERACION						
30	73.75	11.75	390	30	371.75	12.4	63.89	1.89	13.11
40	74.07	12.07	400	40	372.07	9.3	63.68	1.68	13.32
50	74.57	12.57	410	50	372.57	7.5	63.49	1.49	13.51
60	74.83	12.83	420	60	372.83	6.2	63.37	1.37	13.63
70	75.07	13.07	430	70	373.07	5.3	63.06	1.06	13.94
90	75.07	13.07	450	90	373.07	4.1	62.8	0.8	14.2
120	75.47	13.47	480	120	373.47	3.1	62	0	15
150	75.97	13.97	510	150	373.97	2.5	62	0	15
180	76.26	14.26							
240	77	15.01							
300	77	15							
360	77	15							

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

5.1.2. CURVAS DE INTERPRETACIÓN

5.1.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

Gráfica 1. Nivel Dinámico VS Tiempo

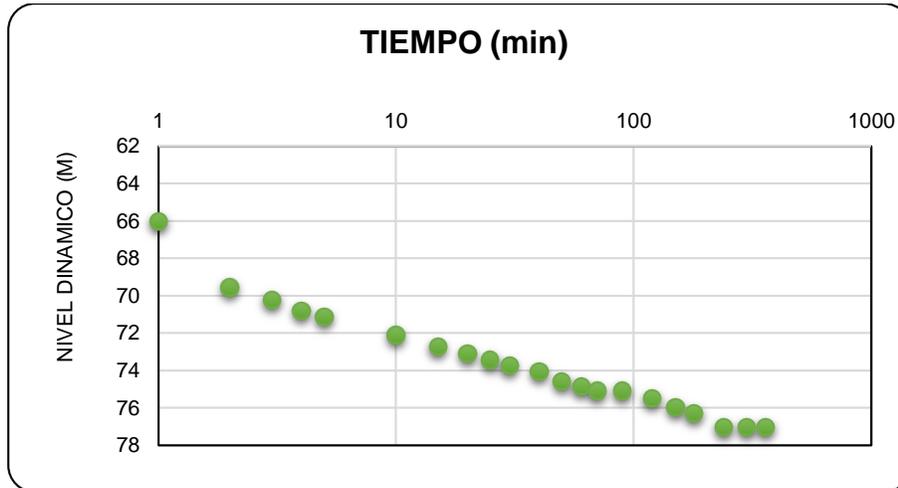


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

Esta gráfica revela cualitativamente el comportamiento del pozo durante un periodo de tiempo de bombeo hasta encontrar el punto equilibrio, de esta manera se observa

que en el minuto 240 la curva se estabiliza durante dos horas hasta la finalización de la prueba obteniendo así un abatimiento residual de cero.

Gráfica 2. Nivel Dinámico VS Tiempo

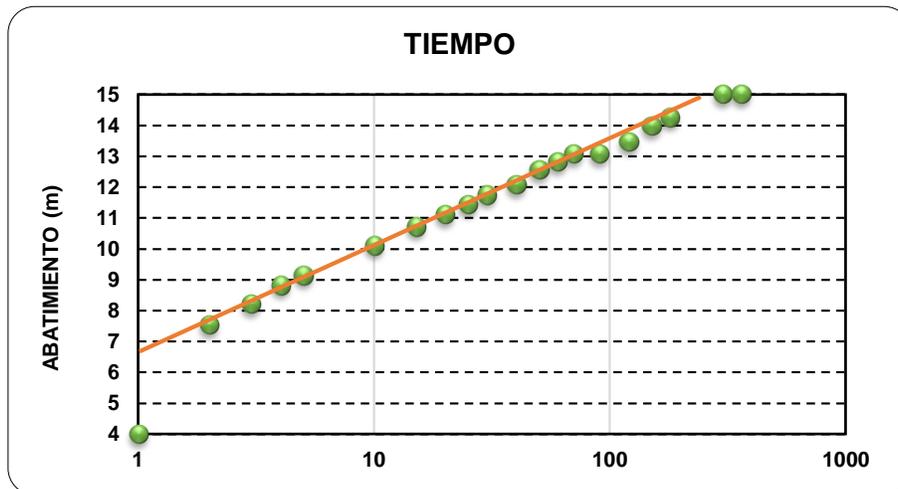


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se muestra el comportamiento del nivel dinámico vs tiempo en escala logarítmica lo cual permite visualizar los datos de forma descendente, que refleja claramente el periodo de bombeo hasta llegar al punto de estabilización del pozo cuando la lámina de agua alcanza los 77 metros, dando así por finalizado el ensayo de bombeo.

5.1.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 3. Abatimiento vs Tiempo.



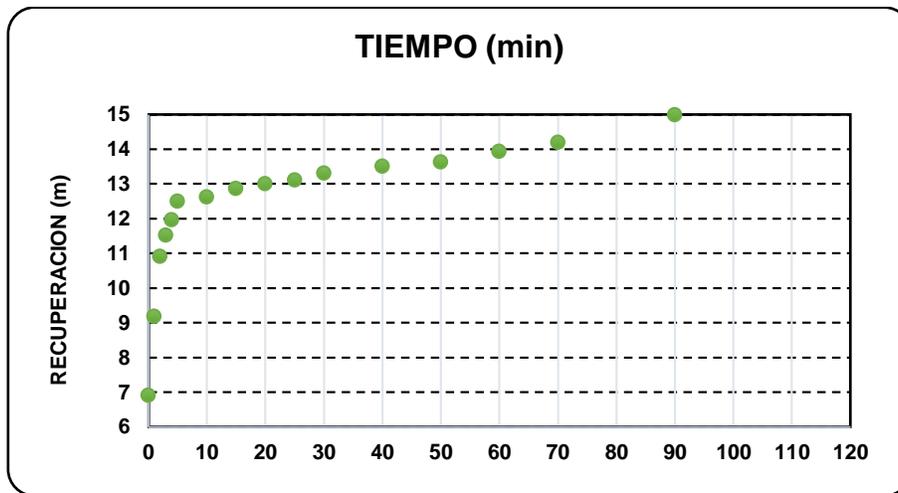
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En el gráfico anterior se expone el comportamiento del abatimiento vs tiempo donde se observa que al minuto 240 se estabiliza el nivel dinámico del pozo, a partir de estos datos se halló la capacidad específica del pozo con un valor de 0,24 L/s por metro de abatimiento y la transmisibilidad hidráulica de 8,54 m²/día, tal como se muestra a continuación:

$$T = \frac{0.183 * 172,8m^3/dia}{3,7m} = 8,54 \frac{m^2}{dia}$$

5.1.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 4. Recuperación VS Tiempo.

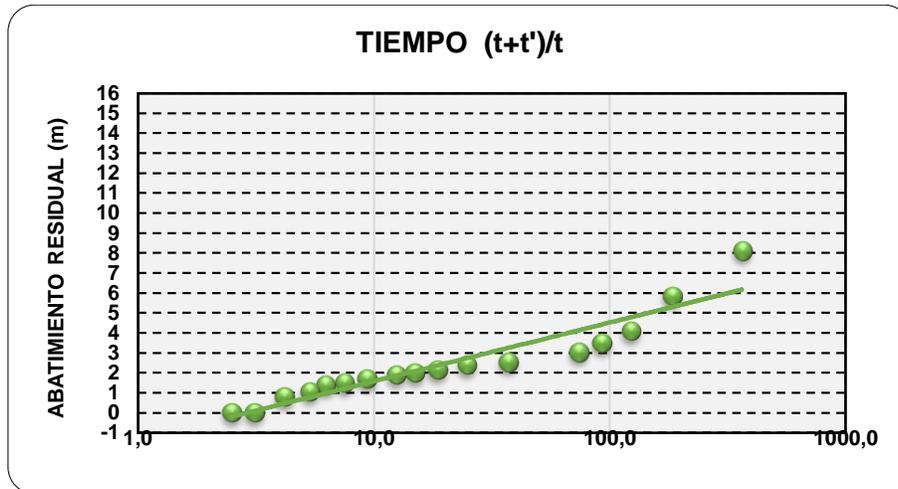


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

La recuperación del pozo es una de las características hidráulicas principales para identificar si el punto está recibiendo recarga del acuífero, de esta manera se observa que el pozo finca Santa Lucia presenta una recuperación progresiva y constante en el punto, esto significa que el acuífero donde se encuentra captando está recibiendo recarga y su potencial hidrogeológico es bueno.

5.1.2.4. Abatimiento Residual Vs Tiempo

Gráfica 5. Abatimiento Residual vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 172,8m^3 / dia}{2,94m} = 10,75 \frac{m^2}{dia}$$

La transmisividad media es de $=9,64 \frac{m^2}{dia}$

5.2. PRUEBA DE BOMBEO POZO SANTA LUCIA EPOCA DE ESTIAJE 2017.

El pozo profundo se encuentra ubicado en los límites de la vereda el salitre y la vereda Santa Lucia, se observa en el área circundante vegetación de tipo herbácea donde predominan los pastizales, a los costados del pozo se encuentra acopio de material de relleno, en cuanto a las características climáticas del día monitoreado se observa un día soleado y según la información suministrada por los propietarios se han reducido significativamente las precipitaciones en el último mes.

REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.2.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante

Ubicación: Vereda Santa Lucia
Fecha: 30 de octubre de 2017
Caudal: 2 L/s

Tabla 7. Cálculos de la Prueba de Bombeo

BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	62,1		360	0	360		76,4	14,3	
1	67,7	5,6	361	1	365,6	365,6	71,2	9,1	5,2
2	70	7,9	362	2	367,9	184,0	69	6,9	7,4
3	70,9	8,8	363	3	368,8	122,9	67,8	5,7	8,6
4	71,4	9,3	364	4	369,3	92,3	67	4,9	9,4
5	71,9	9,8	365	5	369,8	74,0	66,8	4,7	9,6
10	72,84	10,74	370	10	370,74	37,1	65,9	3,8	10,5
15	73,4	11,3	375	15	371,3	24,8	65,4	3,3	11
20	73,7	11,6	380	20	371,6	18,6	65	2,9	11,4
25	74	11,9	385	25	371,9	14,9	64,9	2,8	11,5
30	74,2	12,1	390	30	372,1	12,4	64,7	2,6	11,7

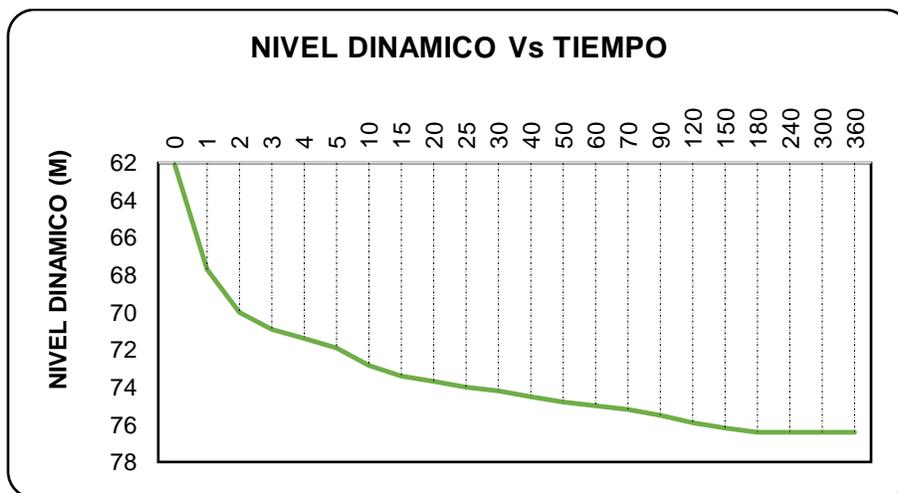
BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
40	74,5	12,4	400	40	372,4	9,3	63,4	1,3	13
50	74,8	12,7	410	50	372,7	7,5	62,52	0,42	13,88
60	75	12,9	420	60	372,9	6,2	62,1	0	14,3
70	75,2	13,1	430	70	373,1	5,3			
90	75,5	13,4	450	90	373,4	4,1			
120	75,9	13,8	480	120	373,8	3,1			
150	76,18	14,08	510	150	374,08	2,5			
180	76,4	14,3							
240	76,4	14,3							
300	76,4	14,3							
360	76,4	14,3							

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

5.2.2. CURVAS DE INTERPRETACIÓN

5.2.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

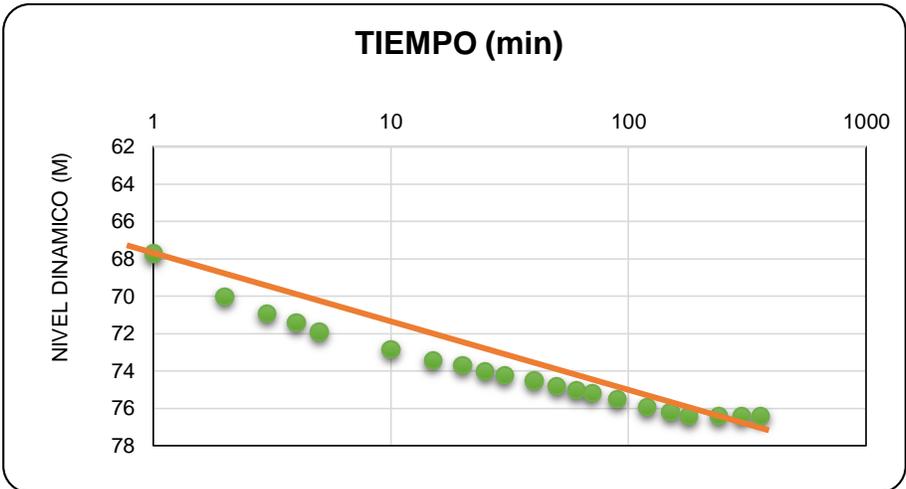
Gráfica 6. Nivel Dinámico VS Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Esta gráfica revela cualitativamente el comportamiento del pozo durante un periodo de tiempo de bombeo hasta encontrar el punto equilibrio, de esta manera se observa que en el minuto 180 se estabiliza el nivel dinámico, obteniendo así un abatimiento residual de cero.

Gráfica 7. Nivel Dinámico VS Tiempo

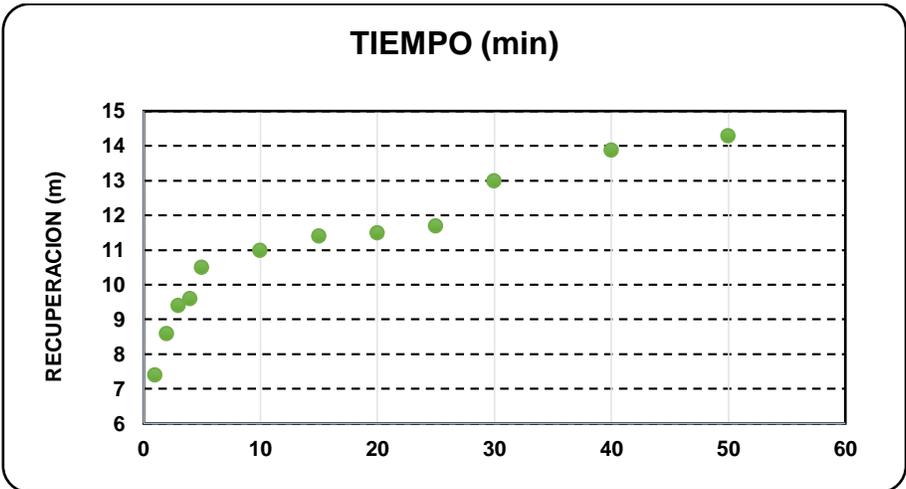


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se muestra el comportamiento del tiempo vs el nivel dinámico en el cual se observa cómo se estabiliza el pozo al llegar la lámina de agua a los 76,4 metros.

5.2.2.2. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 8. Recuperación VS Tiempo

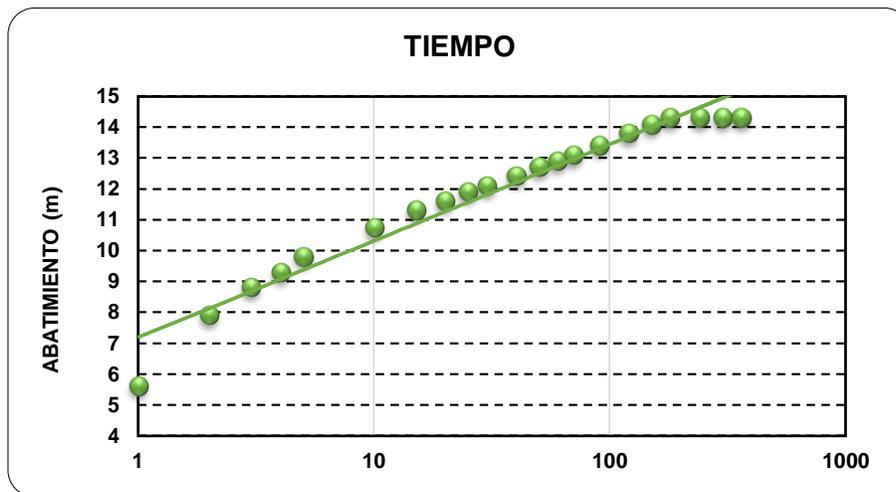


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

La recuperación del pozo es una de las características hidráulicas principales para identificar si el punto está recibiendo recarga del acuífero, de esta manera se observa que el pozo finca Santa Lucía una recuperación progresiva y constante en el punto con una duración de 50 minutos.

5.2.2.3. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 9. Abatimiento vs Tiempo



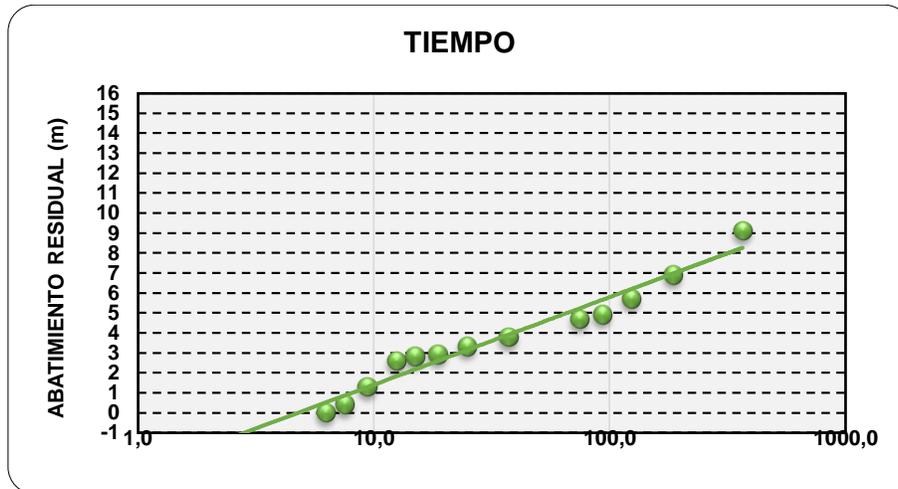
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En el gráfico se observa el comportamiento del abatimiento vs tiempo donde se identifica que en el minuto 180 se estabiliza el nivel dinámico del pozo a partir de estos datos se determinó la capacidad específica del pozo con un valor de 0,14 L/s por metro de abatimiento y una la transmisibilidad hidráulica de 8,54 m³/día-m, tal como se muestra a continuación:

$$T = \frac{0.183 * 172,8m^3 / dia}{2.5m} = 12.64 \frac{m^2}{dia}$$

5.2.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 10. Abatimiento vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 172,8m^3/dia}{4m} = 7.90 \frac{m^2}{dia}$$

La transmisividad media es de $= 10,27 \frac{m^2}{dia}$

5.2.3. RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA SANTA LUCIA.

El pozo finca Santa Lucia en temporada de lluvia reporta un valor de transmisividad media de $9,64 \frac{m^2}{día}$ y en temporada de estiaje de $10.27 \frac{m^2}{día}$, lo cual significa que la formación presenta buen potencial hidrogeológico, situación que se asocia a reservas de agua en las zonas de recarga que permite mantener en condiciones ideales el acuífero que se encuentra en la formación Labor y tierna.

5.3. PRUEBA DE BOMBEO POZO FINCA SANTA RITA EPOCA DE LLUVIA 2017.

El pozo profundo se encuentra en la Vereda Trinidad Sector Betania, el ingreso al punto se realiza por la vía que de Guasca conduce hacia el Hotel Café la Huerta en vía recta aprox. 2 Km, después realizar un giro a la izquierda 3.5 Km hasta encontrar un portón con el nombre Finca Santa Rita, a unos metros de la ubicación

del pozo se encuentra un reservorio utilizado para las actividades ganaderas y riego, como característica particular se observa humedad en el suelo y en la vegetación, lo cual indica que se han producido precipitaciones, para el ensayo de bombeo el pozo se mantuvo en reposo 24 horas, a continuación se presentan las características generales del pozo.

Características generales

Profundidad del pozo: 150 metros
 Diámetro Interior del pozo: 6 pulgadas
 Material: Hierro Galvanizado
 Caudal: 1 L/s
 Profundidad de instalación: 90 metros



5.3.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante

Ubicación: Vereda Trinidad
Fecha: 30 de junio de 2017
Caudal: 1L/s

Tabla 8. Cálculos de la Prueba de Bombeo

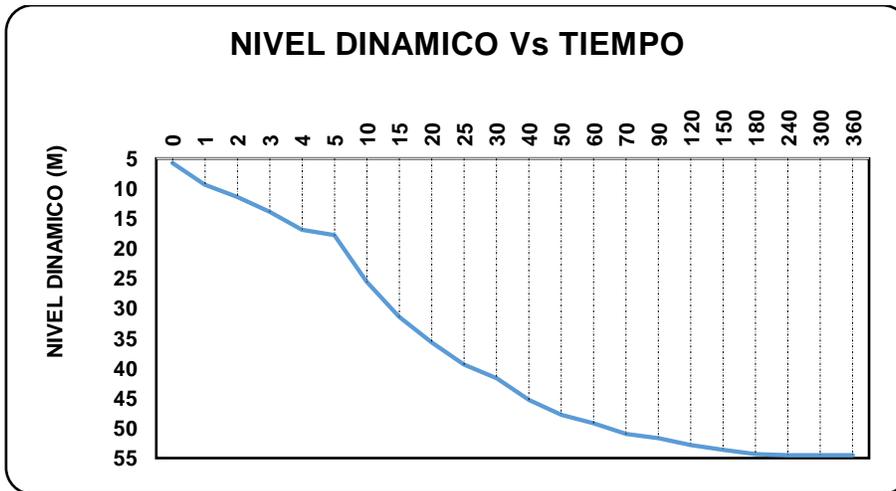
BOMBEO			RECUPERACION					
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	TIEMPO ACUMULADO	t' (MIN)	t/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	5,69					54,6	48,91	
1	9,31	3,62	1	1	1,00	52,21	46,52	2,39
2	11,42	5,73	3	2	1,50	50,2	44,51	4,4
3	13,88	8,19	6	3	2,00	48,35	42,66	6,25
4	16,88	11,19	10	4	2,50	46	40,31	8,6
5	17,78	12,09	15	5	3,00	45,6	39,91	9
10	25,59	19,9	25	10	2,50	39,88	34,19	14,72
15	31,44	25,75	40	15	2,67	33,88	28,19	20,72
20	35,68	29,99	60	20	3,00	29,28	23,59	25,32
25	39,42	33,73	85	25	3,40	24,48	18,79	30,12
30	41,69	36	115	30	3,83	21,67	15,98	32,93
40	45,38	39,69	155	40	3,88	17,26	11,57	37,34
50	47,78	42,09	205	50	4,10	14,58	8,89	40,02
60	49,28	43,59	265	60	4,42	13	7,31	41,6
70	51,05	45,36	335	70	4,79	11,72	6,03	42,88
90	51,75	46,06	425	90	4,72	10,47	4,78	44,13
120	52,84	47,15	545	120	4,54	8,98	3,29	45,62
150	53,68	47,99	695	150	4,63	8,4	2,71	46,2
180	54,36	48,67	875	180	4,86	8,32	2,63	46,28
240	54,6	48,91	1115	240	4,65	5,69	0	48,91
300	54,6	48,91				5,69	0	48,91
360	54,6	48,91				5,69	0	48,91

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

5.3.2. Curvas De Interpretación

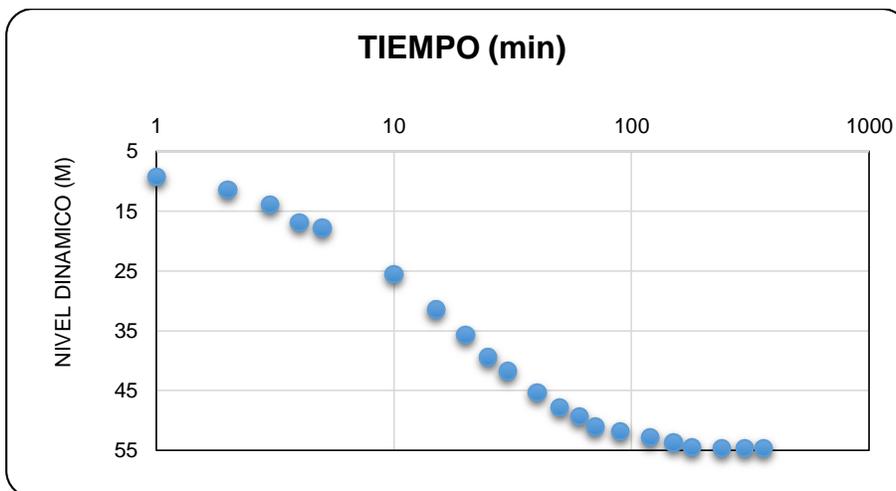
5.3.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

Gráfica 11. Nivel Dinámico vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

Gráfica 12. Nivel Dinámico vs Tiempo

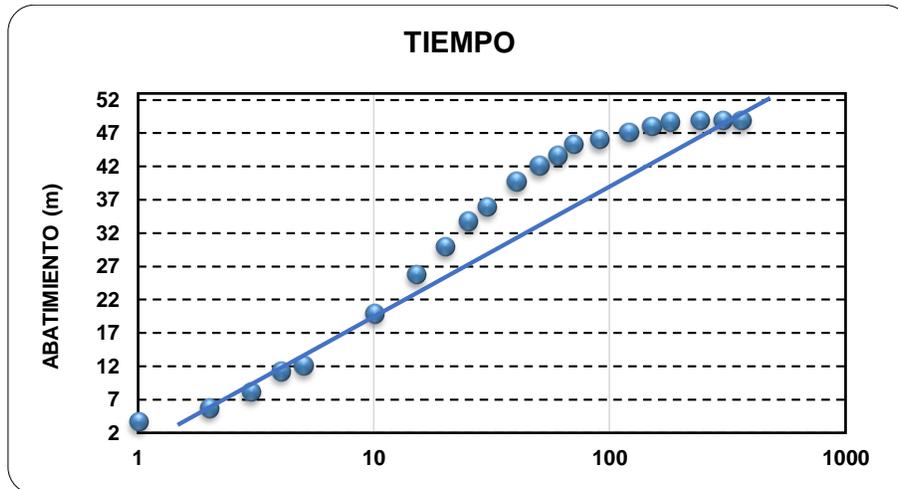


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En las gráficas anteriores se muestra gráficamente el comportamiento del nivel dinámico vs el tiempo, se observa que al minuto 240 el nivel dinámico se estabiliza, teniendo en cuenta que la altura inicial de la lámina de agua es de 5,69 metros y la altura final es de 54,6 metros; tenemos que la columna de agua se redujo durante la prueba de bombeo 48,91 metros.

5.3.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 13. Abatimiento vs Tiempo



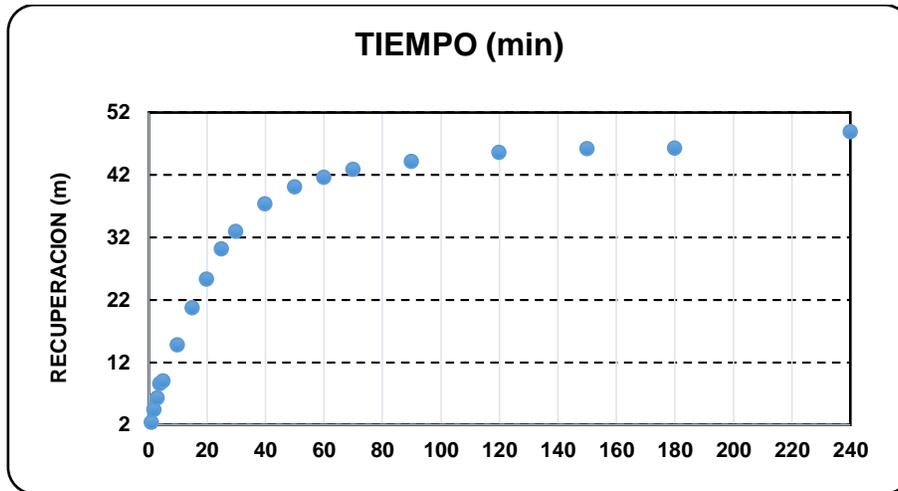
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior abatimiento vs tiempo se observa que después de la curva, se encuentra el periodo de estabilización del pozo, allí se identifica que a partir del minuto 240 el abatimiento permanece constante y el abatimiento residual es cero, teniendo en cuenta los datos de abatimiento y caudal de bombeo se determinó la capacidad específica del pozo la cual es de 0,020L/s por metro de abatimiento, por otra parte según los cálculos de transmisibilidad en el tiempo de bombeo es de 0,93 m²/día.

$$T = \frac{0.183 * 86,4m^3 / dia}{17m} = 0,93 \frac{m^2}{dia}$$

5.3.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 14. Recuperación vs Tiempo

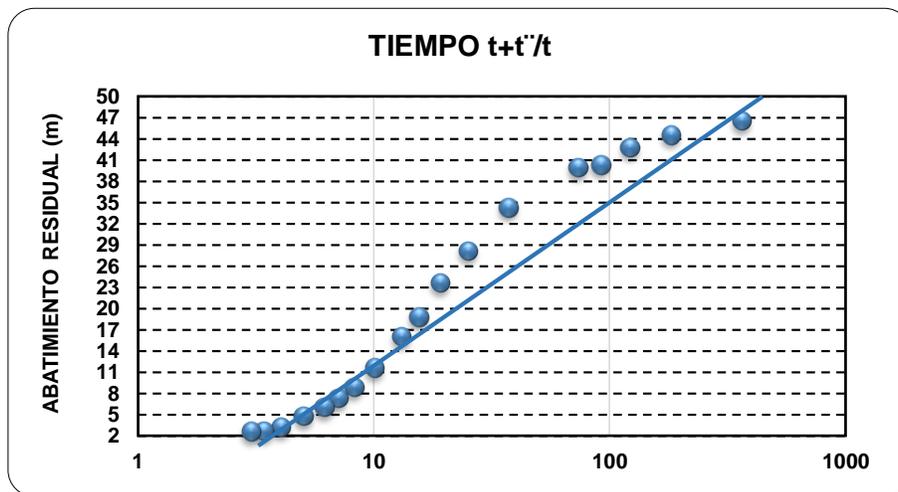


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se observa la recuperación en el pozo fue progresiva gracias a la recarga del acuífero en este punto.

5.3.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 15. Abatimiento Residual vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 86,4m^3 / dia}{22m} = 0,72 \frac{m^2}{dia}$$

La transmisividad media es de $= 0,825 \frac{m^2}{dia}$

5.4. POZO PROFUNDO FINCA SANTA RITA EPOCA DE ESTIAJE.

Este punto se encuentra ubicado en la vereda Trinidad- Sector Betania, el ingreso al punto se realiza por la vía que de Guasca conduce hacia el Hotel Café la Huerta en vía recta aprox. 2 Km, después realizar un giro a la izquierda 3.5 Km hasta encontrar un portón con el nombre Finca Santa Rita, a unos metros de la ubicación del pozo se encuentra un reservorio utilizado para abastecer las actividades ganaderas, como característica particular el dueño asegura que el pozo hace más de dos meses no se encuentra en uso, así mismo asegura que el régimen de lluvia ha bajado en el último mes, a continuación, se presentan las características del pozo a monitorear:

Características generales

Profundidad del pozo: 150 metros
 Diámetro Interior del pozo: 6 pulgadas
 Material: Hierro Galvanizado
 Caudal: 1 L/s
 Profundidad de instalación: 90 metros



5.4.1. Datos de la Prueba a Caudal Constante

Ubicación: Vereda Trinidad

Fecha: 31 de octubre de 2017

Caudal: 1L/s

Tabla 9. Cálculos de la Prueba de Bombeo

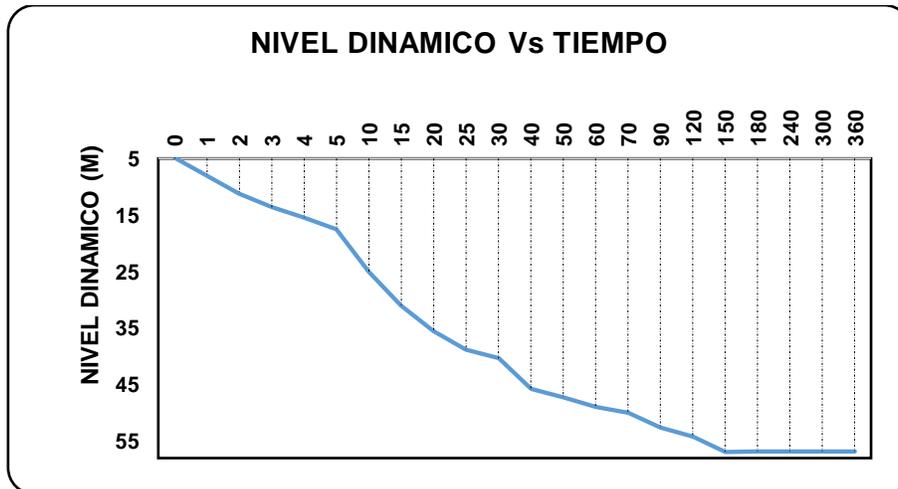
BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	4,8		360	0	360		56,84	52,04	
1	8	3,2	361	1	361	361	50,2	45,4	6,64
2	11,2	6,4	362	2	362	181	48,14	43,34	8,7
3	13,6	8,8	363	3	363	121	46,28	41,48	10,56
4	15,4	10,6	364	4	364	91	44,7	39,9	12,14
5	17,5	12,7	365	5	365	73	43,18	38,38	13,66
10	25	20,2	370	10	370	37	36,85	32,05	19,99
15	31	26,2	375	15	375	25	31	26,2	25,84
20	35,5	30,7	380	20	380	19	26,22	21,42	30,62
25	38,8	34	385	25	385	15,4	20,27	15,47	36,57
30	40,36	35,56	390	30	390	13	16,3	11,5	40,54
40	45,81	41,01	400	40	400	10	12,7	7,9	44,14
50	47,33	42,53	410	50	410	8,2	10,19	5,39	46,65
60	49	44,2	420	60	420	7	8,9	4,1	47,94
70	50	45,2	430	70	430	6,14	7,83	3,03	49,01
90	52,6	47,8	450	90	450	5	6,44	1,64	50,4
120	54,23	49,43	480	120	480	4	4,8	0	52,04
150	56,96	52,16	510	150	510	3,4	4,8	0	52,04
180	56,84	52,04	540	180	540	3			
240	56,84	52,04	600	240	600	2,5			
300	56,84	52,04	660	300	660	2,20			
360	56,84	52,04	720	360	720	2,00			

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.4.2. Curvas De Interpretación

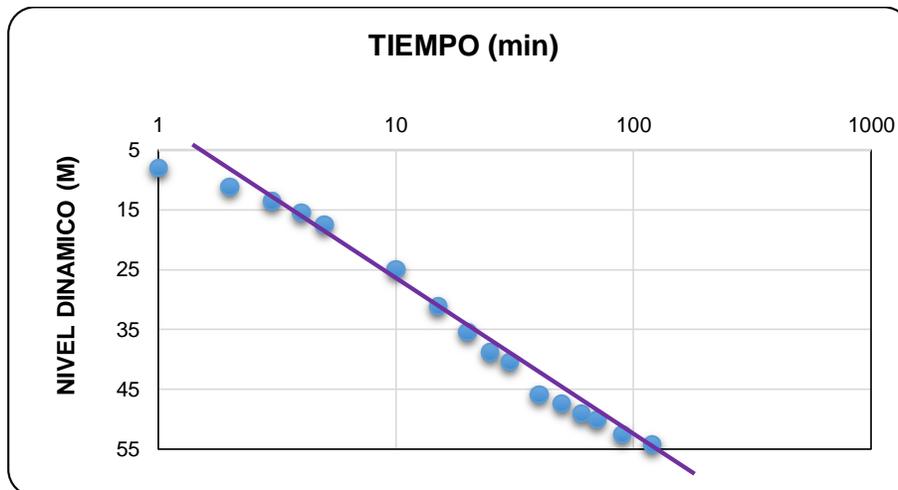
5.4.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

Gráfica 16. Nivel Dinámico vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Gráfica 17. Nivel Dinámico vs Tiempo

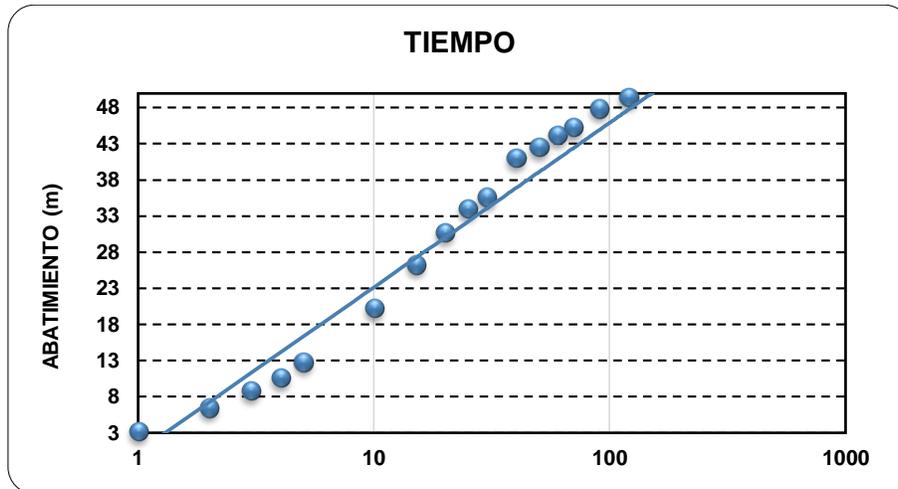


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En las gráficas anteriores se muestra el comportamiento del nivel dinámico vs el tiempo, se observa que al minuto 180 el nivel dinámico se estabiliza teniendo en cuenta que la altura inicial de la lámina de agua es de 4,8 metros y la altura final es de 56,84 metros; tenemos que la columna de agua se redujo durante la prueba de bombeo 52,04 metros.

5.4.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 18. Abatimiento vs Tiempo



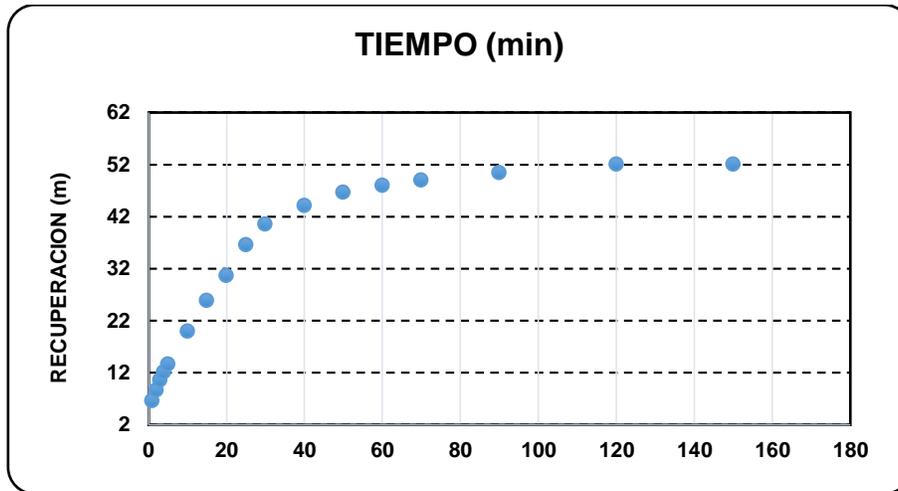
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior abatimiento vs tiempo se observa que después de la curva se encuentra el periodo de estabilización del pozo, allí se identifica que a partir del minuto 180 el abatimiento permanece constante y el abatimiento residual es cero, teniendo en cuenta los datos de abatimiento y caudal de bombeo se determinó la capacidad específica del pozo la cual es de 0,019 L/s por metro de abatimiento, por otra parte según los cálculos de transmisibilidad en el tiempo de bombeo es de 0,60 m²/día.

$$T = \frac{0.183 * 86,4m^3 / dia}{26m} = 0,60 \frac{m^2}{dia}$$

5.4.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 19. Recuperación vs Tiempo

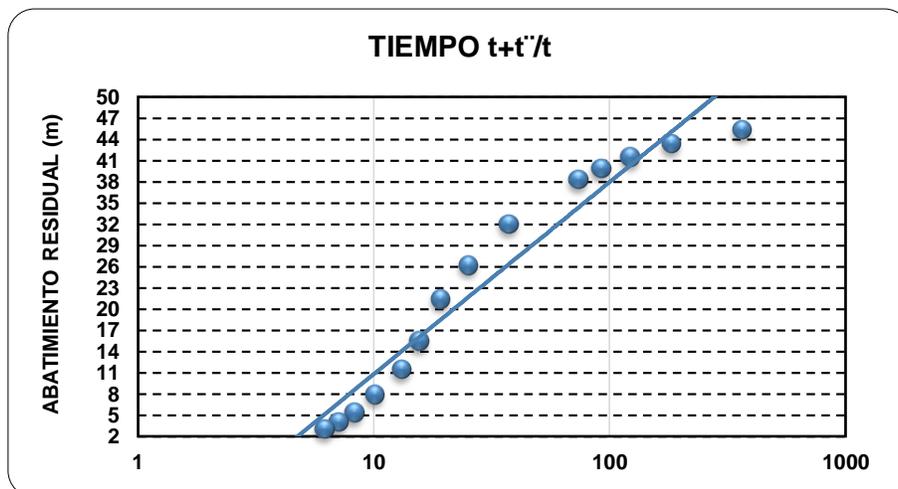


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se observa el periodo recuperación del pozo indicando una recuperación constante y progresiva lo cual significa que el acuífero se encuentra recibiendo recarga y el potencial hidrogeológico es aceptable.

5.4.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 20. Recuperación vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017



En la gráfica anterior se proyecta los resultados obtenidos en una línea de tiempo logarítmica del abatimiento residual vs Tiempo, obteniendo de este modo un resultado de 0,59 m²/día,

$$T = \frac{0.183 * 86,4m^3 / dia}{27m} = 0,58 \frac{m^2}{dia}$$

La transmisividad media es de = 0,59 $\frac{m^2}{dia}$

5.4.3. RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA SANTA RITA.

El pozo profundo ubicado en la formación Regadera presente para la temporada de lluvia un valor de transmisividad promedio de 0,825 m²/ día y para la temporada de estiaje un valor de 0,59 m²/ día reduciendo su capacidad de recarga en época de estiaje, no obstante, es valor es bajo lo cual significa que el potencial hidrogeológico en esta formación también lo es.

5.5. PRUEBA DE BOMBEO POZO UNIQUE COLLETION S.A.S EPOCA DE LLUVIA 2017.

El punto se ubica en el límite entre la vereda Santa Isabel y la vereda el Salitre, el ingreso se realiza por la vía que de Guasca conduce a la Calera aprox. 200 metros antes de llegar al peaje la Cabaña, realizar un giro a la derecha hasta llegar al punto de muestreo, en el punto se observa presencia de actividad agrícola (Cultivo de Flores), el pozo es utilizado en época de estiaje para ayudar al sistema de riego del cultivo, el nivel estático del pozo fue de 15,72 metros, las características del pozo son:

Características generales

- Profundidad del pozo: 75 metros
- Diámetro del pozo: 4 pulgadas
- Tubería de succión: 3 pulgadas
- Material: Acero
- Potencia: 5 Hp
- Profundidad de instalación: 63 metros
- Serie del motor: 03k1815-3285
- Voltaje: 220 voltios

REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

5.5.1. Datos de la prueba a caudal constante.

Ubicación: Vereda Santa Lucia

Fecha: 27 de junio de 2017

Caudal: 4L/s

Tabla 10. Cálculos de la Prueba de Bombeo

BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	15.72		360	0	360		17.37	1.65	
1	16.59	0.87	361	1	361	361	16.45	0.73	0.92
2	16.65	0.93	362	2	362	181	16.36	0.64	1.01
3	16.7	0.98	363	3	363	121	16.3	0.58	1.07
4	16.74	1.02	364	4	364	91	16.3	0.58	1.07
5	16.77	1.05	365	5	365	73	16.26	0.54	1.11
10	16.89	1.17	370	10	370	37	16.21	0.49	1.16
15	16.97	1.25	375	15	375	25	16.11	0.39	1.26
20	17.02	1.3	380	20	380	19	16.03	0.31	1.34
25	17.06	1.34	385	25	385	15.4	15.98	0.26	1.39

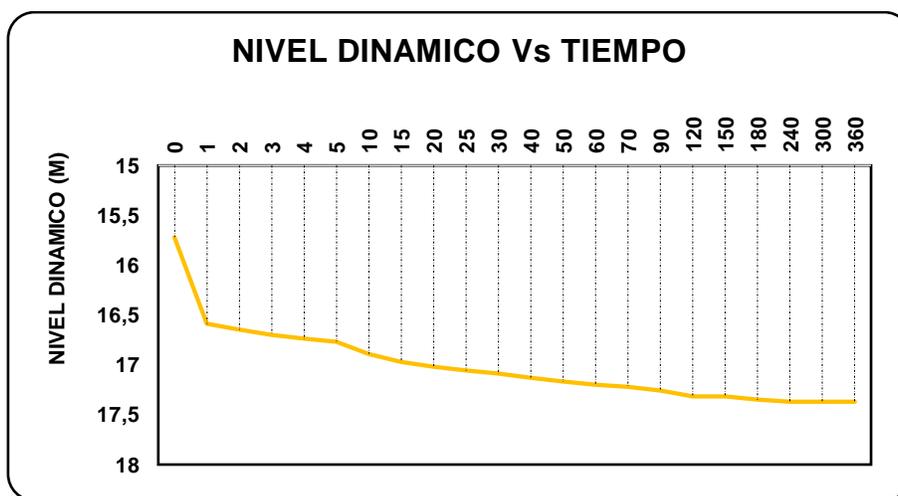
BOMBEO			RECUPERACION						
30	17.09	1.37	390	30	390	13	15.95	0.23	1.42
40	17.13	1.41	400	40	400	10	15.92	0.2	1.45
50	17.17	1.45	410	50	410	8.2	15.87	0.15	1.5
60	17.2	1.48	420	60	420	7	15.84	0.12	1.53
70	17.22	1.5	430	70	430	6.14	15.89	0.17	1.48
90	17.26	1.54	450	90	450	5	15.79	0.07	1.58
120	17.32	1.6	480	120	480	4	15.73	0.01	1.64
150	17.32	1.6	510	150	510	3.4	15.73	0.01	1.64
180	17.35	1.63	540	180	540	3	15.73	0.01	1.64
240	17.37	1.65	600	240	600	2.5	15.73	0.01	1.64
300	17.37	1.65	660		660				
360	17.37	1.65	720		720				

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

5.5.2. Curvas de interpretación.

5.5.2.1. Nivel dinámico vs tiempo.

Gráfica 21. Nivel Dinámico vs Tiempo

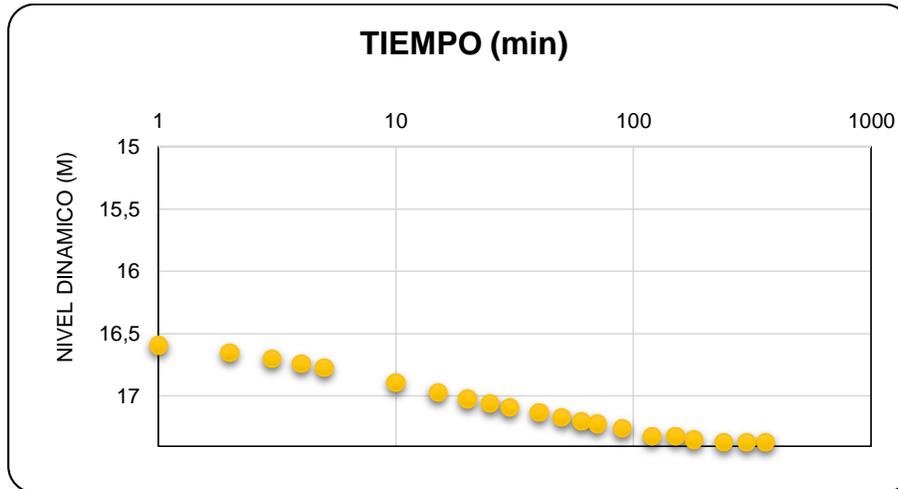


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Esta gráfica muestra de manera cualitativa el comportamiento general del pozo y se observa como a partir del minuto 240 se empieza a estabilizar hasta llegar al punto

de equilibrio cero, de esta manera es culminada la prueba tal como lo indica la Norma Técnica Colombiana NTC 5539.

Gráfica 22. Nivel Dinámico vs Tiempo

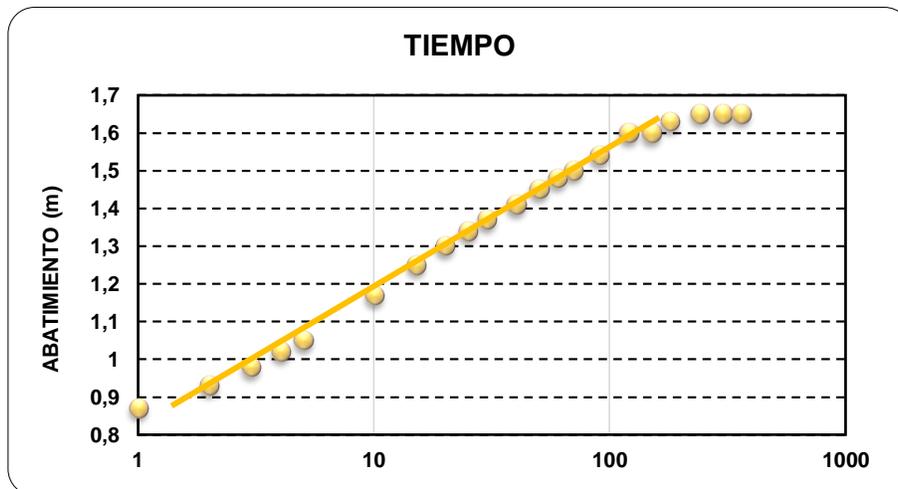


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

La curva muestra como es el comportamiento del nivel dinámico del agua durante el tiempo de bombeo hasta que se estabiliza el abatimiento, de este modo se observa que la línea recta indica el periodo de estabilización de la prueba.

5.5.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 23. Abatimiento VS Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

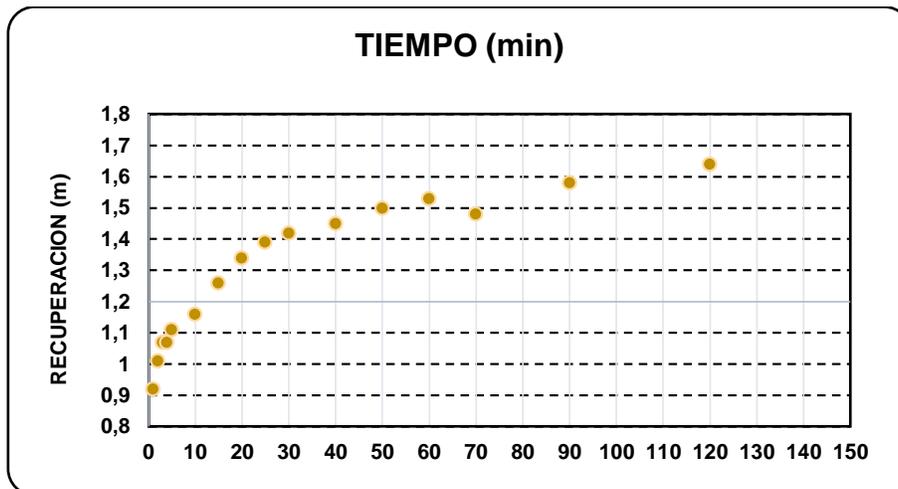
El gráfico anterior tiempo vs abatimiento refleja el grado de estabilización de la prueba y así mismo se determina la capacidad específica del pozo que es de 2,18 litros por segundo por metro de abatimiento, por otra parte, la transmisibilidad hidráulica fue hallada por la fórmula de JACOB obteniendo los siguientes resultados:

$$T = \frac{0.183 * 311,04m^3/dia}{0,35m} = 162,62 \frac{m^2}{dia}$$

Lo cual quiere decir que la transmisibilidad hidráulica del pozo es de $162,62 \frac{m^2}{dia}$

5.5.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 24. Recuperación VS Tiempo.

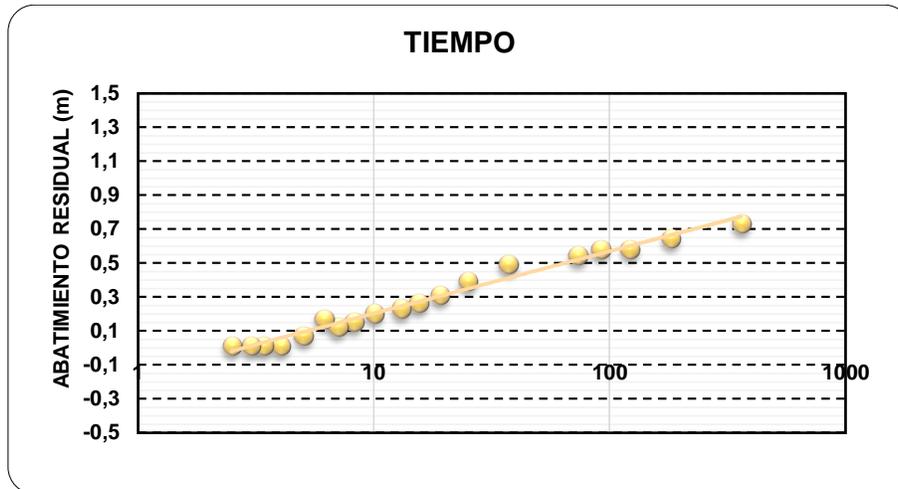


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En el gráfico anterior se observa que se está recibiendo recarga del acuífero, de esta manera se identificó que el periodo de recuperación fue continuo y progresivo.

5.5.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 25. Abatimiento Residual vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 311,04m^3/dia}{0,36m} = 158,11 \frac{m^2}{dia}$$

La transmisividad media es de $=160,36 \frac{m^2}{dia}$

5.6. PRUEBA DE BOMBEO POZO UNIQUE COLLETION S.A.S EPOCA DE ESTIAJE 2017.

El punto se Ubica en el límite entre la Vereda Santa Isabel y la Vereda Salitre, el ingreso se realiza por la vía que de Guasca conduce a la Calera aprox. 200 metros antes de llegar al peaje la Cabaña, realizar un giro a la derecha hasta llegar al punto, su actividad económica está basada en la floricultura, según las observaciones en campo y las entrevistas con los administradores no se han presentado lluvias fuertes en el último mes, así mismo los administradores aseguran que el pozo hace más de dos meses no se encuentra en funcionamiento.

Características generales

Profundidad del pozo: 75 metros

Diámetro del pozo: 4 pulgadas

Tubería de succión: 3 pulgadas

Material: Acero
 Potencia: 5 Hp
 Profundidad de instalación: 63 metros
 Serie del motor: 03k1815-3285
 Voltaje: 220 voltios



5.6.1. Datos de la prueba a caudal constante.

Ubicación: Vereda Santa Lucia
Fecha: 19 de octubre de 2017
Caudal: 2.89 L/s

Tabla 11. Calculo de la prueba de bombeo.

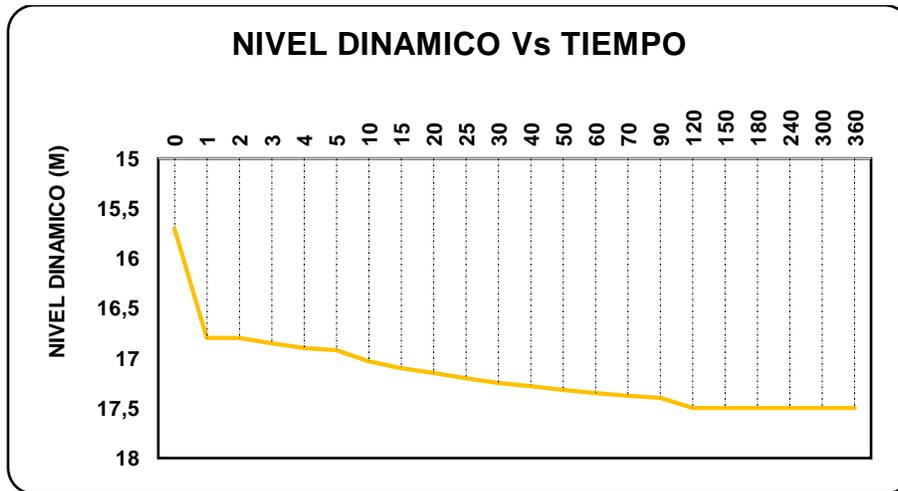
BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	15,7		480	0	480		17,5	1,8	
1	16,8	1,1	481	1	481	481	17,2	1,5	0,3
2	16,8	1,1	482	2	482	241,0	16,95	1,25	0,55
3	16,85	1,15	483	3	483	161,0	16,92	1,22	0,58
4	16,9	1,2	484	4	484	121	16,86	1,16	0,64

BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
5	16,92	1,22	485	5	485,0	97,0	16,85	1,15	0,65
10	17,03	1,33	490	10	490,0	49,0	16,76	1,06	0,74
15	17,1	1,4	495	15	495	33,0	16,66	0,96	0,84
20	17,15	1,45	500	20	500,0	25,0	16,64	0,94	0,86
25	17,2	1,5	505	25	505	20,2	16,55	0,85	0,95
30	17,25	1,55	510	30	510,0	17,0	16,48	0,78	1,02
40	17,28	1,58	520	40	520,0	13,00	16,39	0,69	1,11
50	17,32	1,62	530	50	530,0	10,6	16,23	0,53	1,27
60	17,35	1,65	540	60	540,0	9,0	16,25	0,55	1,25
70	17,38	1,68	550	70	550	7,9	16,28	0,58	1,22
90	17,4	1,7	570	90	570	6,3	16,12	0,42	1,38
120	17,5	1,8	600	120	600	5,0	15,97	0,27	1,53
150	17,5	1,8	630	150	630	4,2	15,95	0,25	1,55
180	17,5	1,8	660	180	660	3,7	15,92	0,22	1,58
240	17,5	1,8	720	240	720	3,0	15,88	0,18	1,62
300	17,5	1,8	780	300	780	2,6	15,72	0,02	1,78
360	17,5	1,8	840	360	840	2,3	15,7	0	1,8
420	17,5	1,8	900	420	900	2,1	15,7		
480	17,5	1,8	960	480	960	2,0			

5.6.2. Curvas de interpretación.

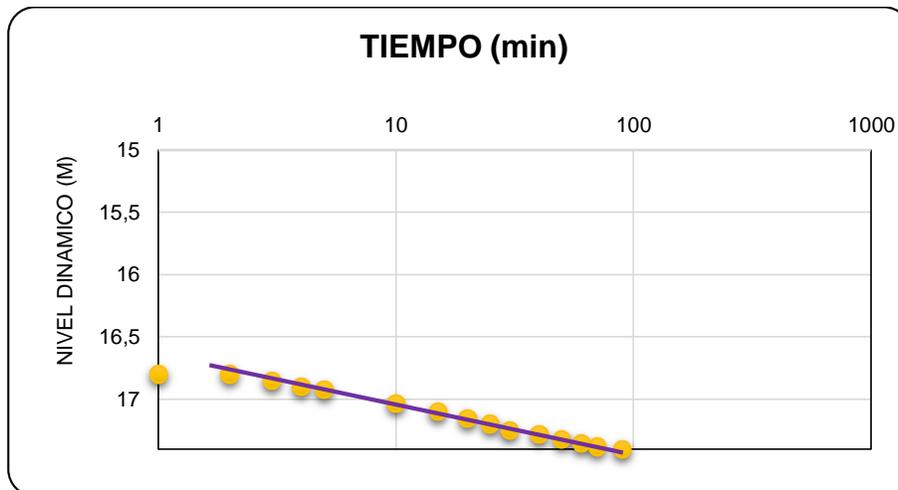
5.6.1.1 Nivel dinámico vs Tiempo

Gráfica 26. Nivel dinámico vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Gráfica 27. Nivel Dinámico vs Tiempo

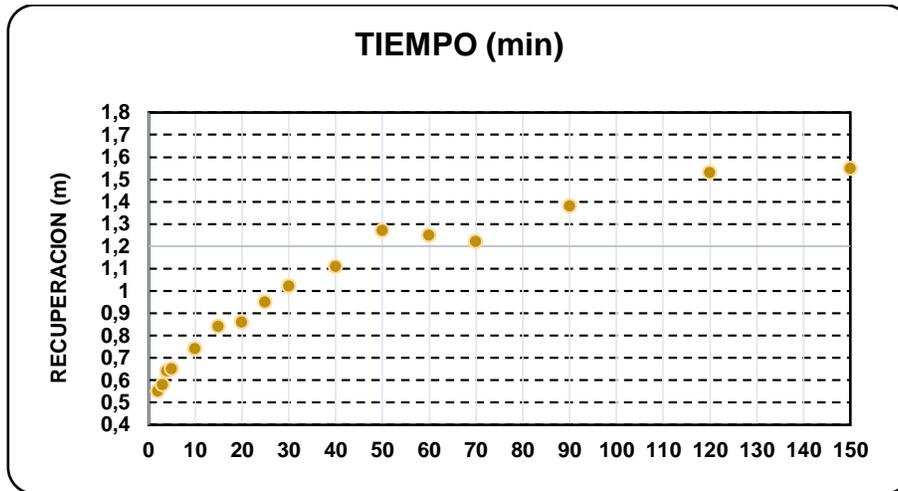


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En las gráficas 26 y 27 se observa el comportamiento del nivel dinámico vs el tiempo, el pozo muestra cómo se estabiliza por completo al llegar a los 120 minutos, sosteniendo este nivel por tanto al llegar al minuto 480 se da por finalizando la prueba de bombeo.

5.6.2.1. Recuperación vs Tiempo

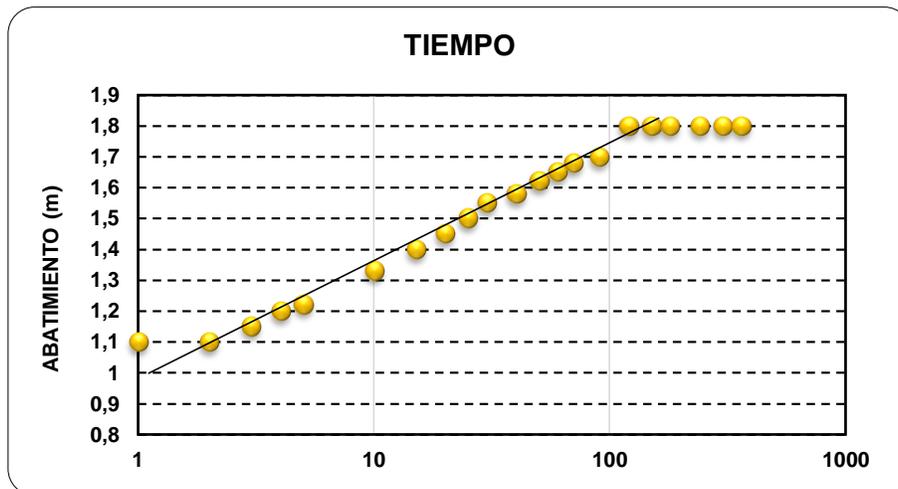
Gráfica 28. Recuperación vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En la gráfica se observa un comportamiento constante y progresivo en el periodo de recuperación del punto monitoreado, la curva refleja niveles de recarga óptimas del acuífero.

Gráfica 29. Abatimiento Residual vs Tiempo.

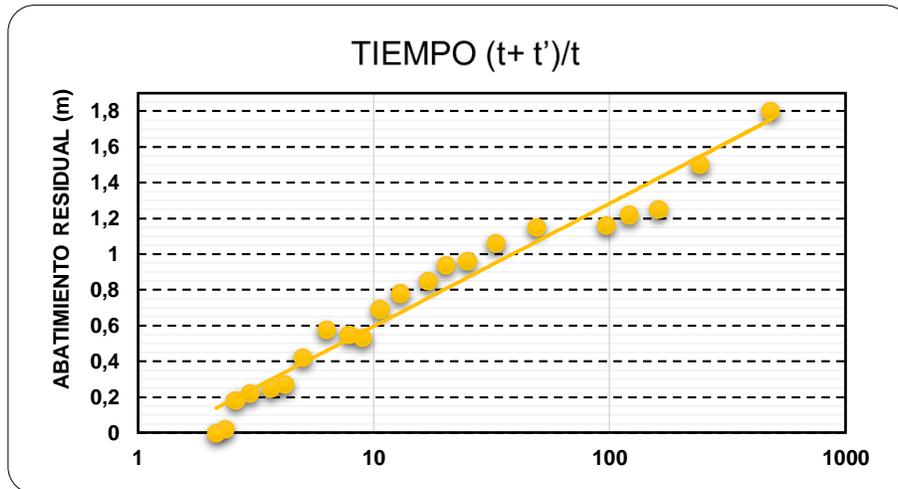


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

El abatimiento hace referencia a la reducción del nivel del agua en un pozo debido a la extracción sostenida, de acuerdo con lo anterior en el pozo estudiado se observa que al llegar al nivel 17,5 metros el abatimiento se estabiliza obteniendo una capacidad específica del pozo es de 1.6L/s por metro de abatimiento.

$$T = \frac{0.183 * 249.7 \text{ m}^3/\text{dia}}{0.4\text{m}} = 114.23 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

Gráfica 30. Abatimiento Residual vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En la gráfica anterior se presenta los valores de abatimiento residual y tiempo durante el periodo de recuperación lo cual permite determinar la transmisividad hidráulica por medio del método de recuperación de JACOB aplicando la siguiente formula:

$$T = \frac{0.183 * 249.7\text{m}^3/\text{dia}}{0,69\text{m}} = 66.22 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

Transmisividad media del acuífero: 90.22 m²/día

5.6.3. RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO FINCA UNIQUE COLLETION S.A.

De acuerdo a los resultados de la prueba de bombeo sobre los Depósitos Aluviales tanto en temporada de lluvia como en estiaje en la gráfica de Abatimiento vs Tiempo se obtiene una transmisividad alta , siendo en temporada de lluvia un valor de transmisividad de 162,62m²/ día y en temporada de estiaje 90.22 m²/día, lo cual significa que el acuífero tiene buen potencial hidrogeológico no obstante en temporada de estiaje se reduce su potencial, lo cual es coherente ya que las precipitaciones son bajas reduciendo el nivel de recarga del acuífero.

5.7. PRUEBA DE BOMBEO POZO CUCHARO EPOCA DE LLUVIA

El pozo ubicado en el predio el Cucharo se ubica en la vereda Santa Lucia, el ingreso se realiza por la vía que de Guasca conduce hacia el Hotel la Huerta Aprox. 2km, posteriormente realizar un giro a la izquierda en línea recta aprox. 3,4 Km hasta llegar a un portón con el nombre Finca el Cucharo, en el área se observa que predominan los pastizales, el pozo cuenta con sello sanitario y reja de protección; el pozo se encuentra en estado operativo.

Características generales.

- Profundidad del pozo: 160 metros
- Diámetro Interior del pozo: 3 pulgadas
- Caudal: 1 L/s
- Potencia: 2 hp
- Fecha: 28 de junio de 2017



5.7.1. Datos de la prueba a caudal constante.

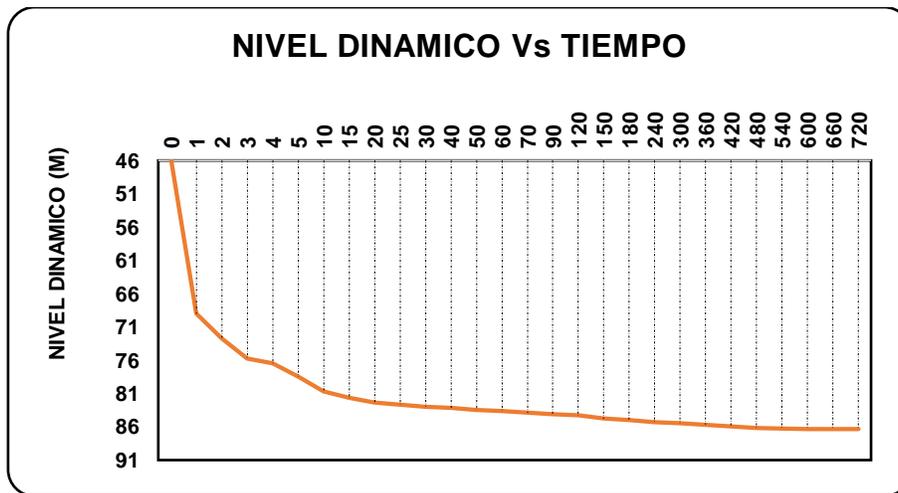
Tabla 12. Cálculos de la Prueba de Bombeo

BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	46		720	0	720	0	86.35	40.35	
1	69	23	721	1	721	721	65.2	19.2	21.15
2	72.7	26.7	722	2	722	361	58.63	12.63	27.72
3	75.8	29.8	723	3	723	241	53.24	7.24	33.11
4	76.5	30.5	724	4	724	181	52.5	6.5	33.85
5	78.48	32.48	725	5	725	145	51.68	5.68	34.67
10	80.7	34.7	730	10	730	73	49.4	3.4	36.95
15	81.67	35.67	735	15	735	49	48.6	2.6	37.75
20	82.4	36.4	740	20	740	37	48.48	2.48	37.87
25	82.7	36.7	745	25	745	30	48.2	2.2	38.15
30	83	37	750	30	750	25	47.8	1.8	38.55
40	83.2	37.2	760	40	760	19	47.6	1.6	38.75
50	83.5	37.5	770	50	770	15	47.3	1.3	39.05
60	83.7	37.7	780	60	780	13	47.1	1.1	39.25
70	83.9	37.9	790	70	790	11	46	0	40.35
90	84.15	38.15	810	90	810	9	46	0	40.35
120	84.3	38.3	840	120	840	7			
150	84.8	38.8	870	150	870	6			
180	85	39	900	180	900	5			
240	85.3	39.3	960	240	960	4			
300	85.5	39.5	1020	300	1020	3			
360	85.7	39.7	1080	360	1080	3			
420	86	40	1140	420	1140	3			
480	86.2	40.2	1200	480	1200	3			
540	86.28	40.28	1260	540	1260	2			
600	86.35	40.35	1320	600	1320	2			
660	86.35	40.35	1380	660	1380	2			
720	86.35	40.35	1440	720	1440	2			

5.7.2. Curvas De Interpretación

5.7.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

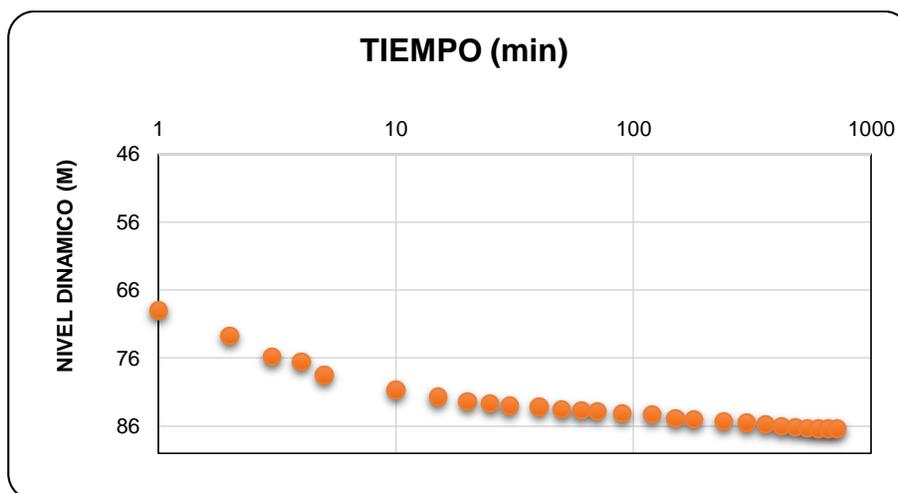
Gráfica 31. Nivel dinámico vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En la gráfica anterior se muestra de manera cualitativa el comportamiento general del pozo y se observa como a partir del minuto 360 se empieza a estabilizar el pozo hasta llegar a estabilizarse por completo en el minuto 600, de esta manera finaliza la prueba tal como lo indica la Norma Técnica Colombiana NTC 5539 ya que se encontró una línea recta en el algoritmo tiempo.

Gráfica 32. Nivel dinámico vs tiempo

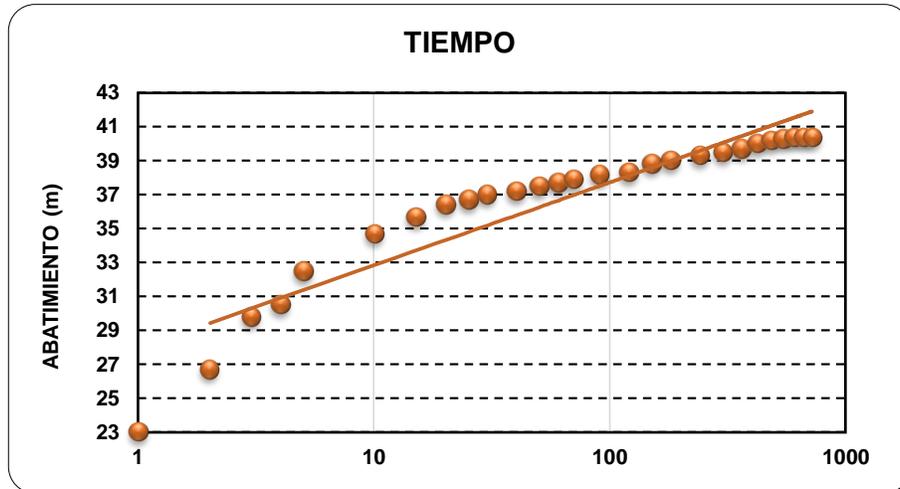


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Al igual que la gráfica anterior se observa el comportamiento del nivel dinámico vs el tiempo, aquí se observa como el pozo se estabiliza por completo al llegar a los 540 minutos, finalizando de esta manera la prueba de bombeo.

5.7.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 33. Abatimiento vs Tiempo



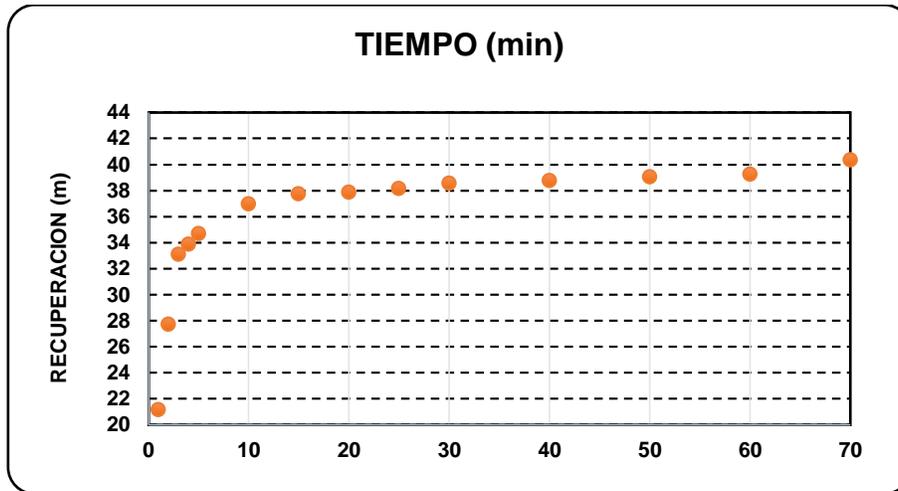
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

El abatimiento hace referencia a la reducción del nivel del agua en un pozo debido a la extracción sostenida, de acuerdo con lo anterior en el pozo estudiado se observa que al llegar al nivel 86,35 metros el abatimiento se estabiliza obteniendo una capacidad específica del pozo es de 0,024L/s por metro de abatimiento, a partir de estos datos de abatimiento se determinó la transmisibilidad hidráulica la cual es de 5,27 m²/día.

$$T = \frac{0.183 * 86,4m^3/dia}{3m} = \frac{5,27m^2}{dia}$$

5.7.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 34. Recuperación vs Tiempo

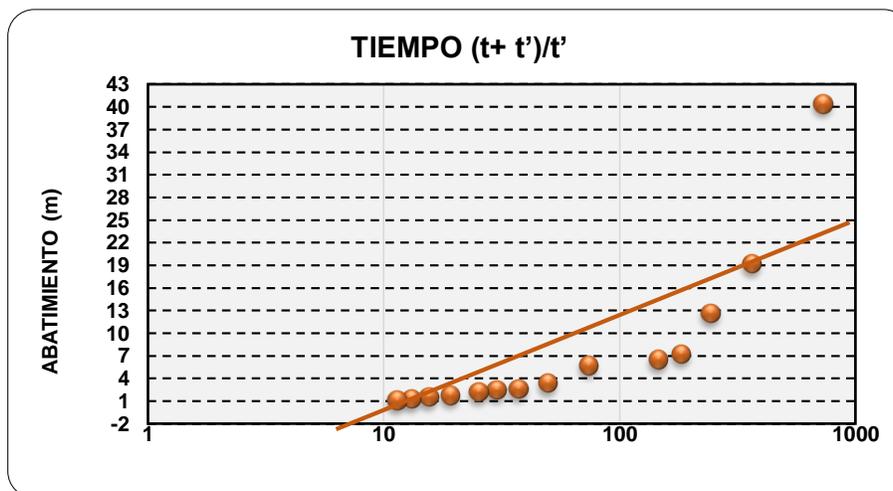


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

En este punto se observa un periodo de recuperación corto, se observa que la recarga del acuífero es rápida y progresiva lo cual se asocia a las características climáticas de la zona pues la prueba de bombeo se realizó en tiempo de lluvia lo cual favorece la recarga de los acuíferos.

5.7.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 35. Abatimiento Residual vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 86,4 \text{ m}^3/\text{dia}}{12m} = 1,32 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

La transmisividad media es de $=3,29 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$

5.8. PRUEBA DE BOMBEO POZO PROFUNDO PREDIO EL CUCHARO EPOCA DE ESTIAJE 2017

El punto se encuentra ubicado en la vereda Santa Lucia, el ingreso se realiza por la vía que de Guasca Conduce hacia el Hotel la Huerta, en el predio se observa un reservorio alimentado con agua del pozo profundo para suplir las necesidades que demanda las actividades económicas desarrolladas en el predio especialmente se destina para riego y ganadería, según las entrevistas con los propietarios en este periodo de estiaje es donde más se utiliza este pozo profundo.

Características generales.

- Profundidad del pozo: 160 metros
- Diámetro Interior del pozo: 3 pulgadas
- Caudal: 1 L/s
- Potencia: 2 hp
- Fecha: 20 de octubre de 2017
-



5.8.1. Datos de la prueba a caudal constante.

Tabla 13. Cálculo de la prueba de bombeo.

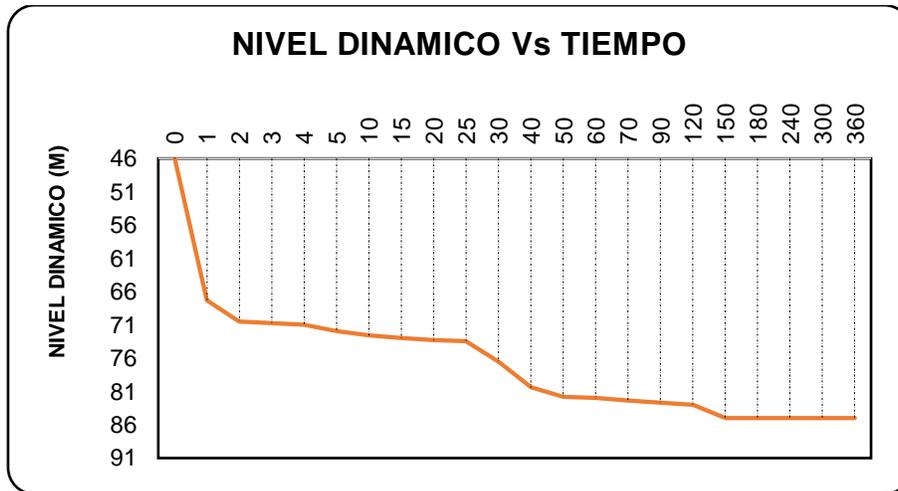
BOMBEO			RECUPERACION						
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	45,8		360	0	360	0	85	39,2	
1	67,3	21,5	361	1	361	361	55	9,2	30
2	70,5	24,7	362	2	362	181	52,6	6,8	32,4
3	70,7	24,9	363	3	363	121	51,3	5,5	33,7
4	71	25,2	364	4	364	91	50,18	4,38	34,82
5	71,9	26,1	365	5	365	73	49,4	3,6	35,6
10	72,6	26,8	370	10	370	37	48	2,2	37
15	73	27,2	375	15	375	25	47,6	1,8	37,4
20	73,3	27,5	380	20	380	19	47,39	1,59	37,61
25	73,42	27,62	385	25	385	15	47,2	1,4	37,8
30	76,6	30,8	390	30	390	13	47,1	1,3	37,9
40	80,4	34,6	400	40	400	10	46,8	1	38,2
50	81,8	36	410	50	410	8	46,5	0,7	38,5
60	82	36,2	420	60	420	7	46,5	0,7	38,5
70	82,4	36,6	430	70	430	6	46,3	0,5	38,7
90	82,7	36,9	450	90	450	5	46,04	0,24	38,96
120	83	37,2	480	120	480	4	45,8	0	39,2
150	85	39,2	510	150	510	3	45,8	0	39,2
180	85	39,2	540	180	540	3			
240	85	39,2	600	240	600	3			
300	85	39,2	660	300	660	2			
360	85	39,2	720	360	720	2			

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.8.2. Curvas De Interpretación

5.8.2.1. Nivel Dinámico vs Tiempo

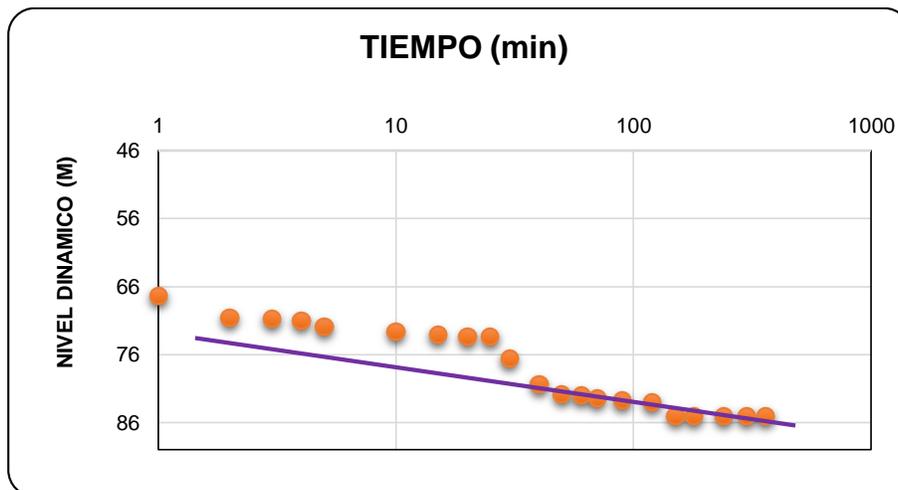
Gráfica 36. Nivel Dinámico vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Esta gráfica muestra de manera cualitativa el comportamiento general del pozo y se observa como a partir del minuto 150 se empieza a estabilizar hasta llegar al punto de equilibrio cero, de esta manera finaliza la prueba tal como lo indica la Norma Técnica Colombiana NTC 5539.

Gráfica 37. Nivel dinámico vs Tiempo.

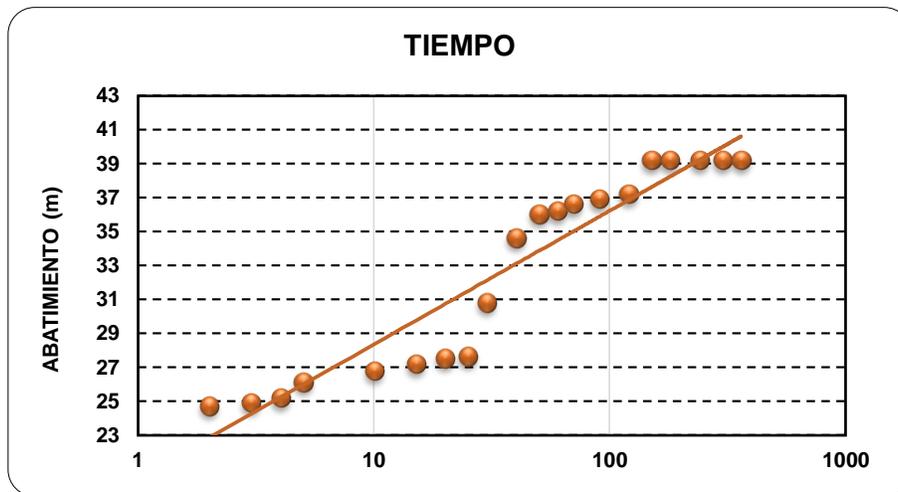


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

La curva muestra como es el comportamiento del nivel dinámico del agua durante el tiempo de bombeo hasta que se estabiliza el abatimiento, de este modo se observa que la línea recta indica el periodo de estabilización de la prueba.

5.8.2.2. Abatimiento vs Tiempo

Gráfica 38. Abatimiento vs Tiempo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

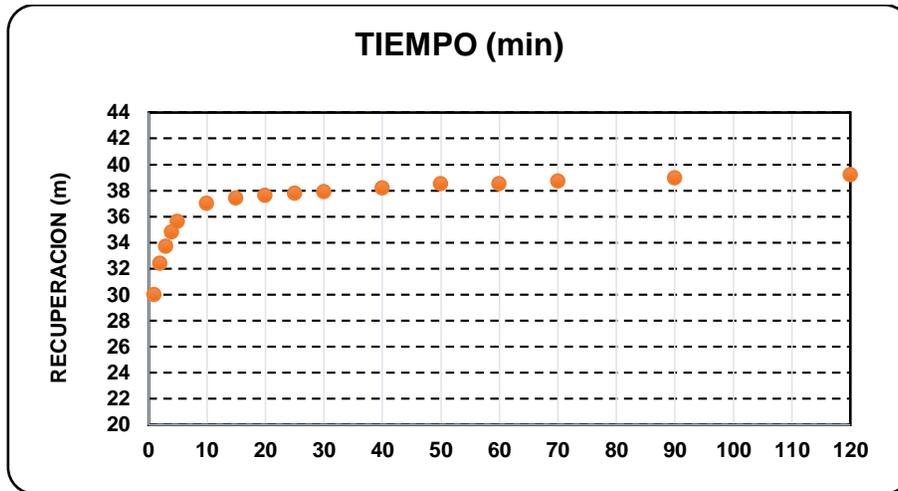
De acuerdo con la gráfica anterior se puede inferir que el tiempo bombeado es de 360 minutos con un abatimiento de 39,2 metros al aplicar la ecuación de JACOB en el análisis de transmisividad tendremos que:

$$Q = 1 \text{ Lts/Seg} = 86.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$T = \frac{0,183 * 86.4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{10 \text{ m}} = 1,58 \text{ m}^2 / \text{día}$$

5.8.2.3. Recuperación vs Tiempo

Gráfica 39. Recuperación vs Tiempo

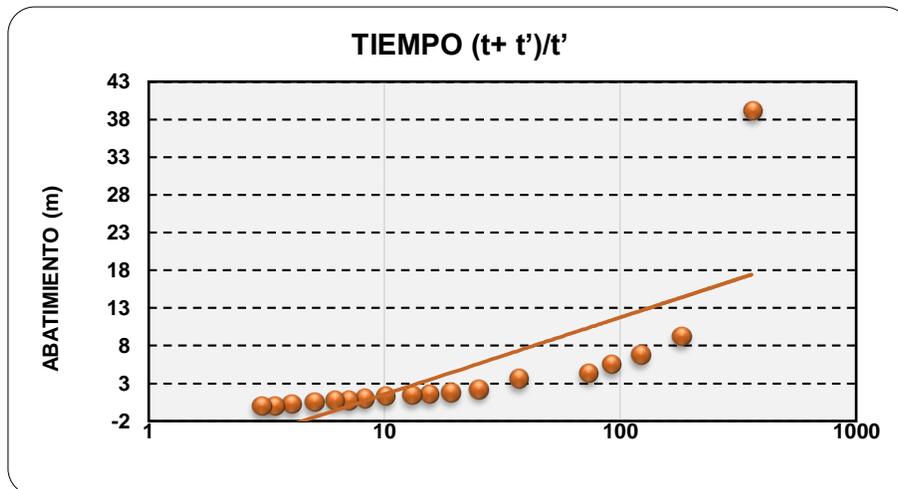


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En este punto, se observa que la recarga del acuífero es rápida y progresiva lo cual se asocia a las características climáticas de la zona pues la prueba de bombeo se realizó en tiempo de lluvia lo cual favorece la recarga de los acuíferos.

5.8.2.4. Abatimiento Residual vs Tiempo

Gráfica 40. Recuperación vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A continuación, se presenta el cálculo de la transmisibilidad en el periodo de recuperación durante la prueba de bombeo realizada en el punto:

$$T = \frac{0.183 * 86,4 \text{ m}^3/\text{dia}}{4\text{m}} = 3,95 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

La transmisividad media es de $=2,76 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$

5.8.3. RELACIÓN LLUVIA Y ESTIAJE POZO PREDIO EL CUCHARO.

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre la formación Regadera en el Pozo profundo predio el Cucharo se obtuvo una transmisividad promedio en temporada de lluvia de $3,29 \text{ m}^2/\text{día}$ y en temporada de estiaje de $2,76 \text{ m}^2/\text{día}$, lo cual refleja una reducción en la capacidad de recarga del acuífero asociado a los bajos niveles de regar por infiltración en el periodo de estiaje, época donde se reducen significativamente las precipitaciones.

5.9. PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL ESCALONADO EN EL POZO VEREDA LAS FLORES EPOCA DE LLUVIA-2017.

Teniendo en cuenta que el pozo no logró establecer un caudal constante por más de 20 minutos, se procedió a realizar una prueba de bombeo a caudal escalonado, en la cual se empleó una bomba sumergible, con todos sus accesorios, la cual se encuentra instalada a 75 m de profundidad; para la prueba a Caudal Escalonado se trabajó con tres caudales promedio (Q), de 0,70 l/s, 0,31 l/s y 0,11 l/s, los días 17 y 18 de Julio de 2017 y a continuación se suspendió el bombeo para observar la recuperación de los niveles en el pozo (se midió hasta cuando se recuperó un 100% del abatimiento total alcanzado). Para estos efectos, se adecuó una descarga libre a partir de la boca del pozo, se controló el caudal con un aforador volumétrico y se midieron periódicamente los niveles dinámicos dentro del pozo con ayuda de una sonda eléctrica. Los datos de campo tomados fueron: Nivel estático, Niveles dinámico y nivel de agua (Ver Tablas No. 4, 5 y 6), se realizaron los cálculos respectivos para determinar los datos faltantes del formato de la prueba.

En la formación estudiada se construyó un pozo de 80Mts, de profundidad al que se le ejecutó una prueba escalonada de bombeo con 3 caudales presentándose abatimiento a los 75Mts, a los 4', 7' y 70'. El nivel dinámico se encontró a los 56,70Mts., y según el diseño del pozo había 2 filtros por encima de este nivel.

5.9.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POZO

- Profundidad del pozo: 80 m.
- Diámetro de revestimiento: Pvc rde 21 de 4".
- Diámetro tubería de producción: Pvc Rde 21 de 1".
- Motor Potencia: 1.0 Hp de potencia.
- Profundidad de instalación de la bomba: 75 m.

Fotografía 17 , Fotografía 18 y Fotografía 19. Medición del nivel dinámico.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 20 y Fotografía 21 . Prueba de bombeo a caudal escalonado.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.9.2. DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL ESCALONADO EPOCA DE LLUVIA-2017

5.9.2.1. Datos obtenidos a caudal escalonado de 0,70 l/s

- Ubicación: Vereda Las Flores, Municipio de Guasca, Departamento de Cundinamarca.
- Fecha de la Prueba: 17 de Julio de 2017.
- Caudal: 0,70 l/s.
- Potencia 1 Hp

Tabla 14. Datos de pruebas de bombeo

BOMBEO			RECUPERACION					
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	TIEMPO ACUMULADO	t' (MIN)	t/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	56,70					74,50	17,80	
1	62,60	5,90	1	1	1,00	74,00	17,30	0,50
2	66,67	9,97	3	2	1,50	73,46	16,76	1,04
3	71,90	15,20	6	3	2,00	72,66	15,96	1,84
4	74,50	17,80	10	4	2,50	72,27	15,57	2,23
5			15	5	3,00	70,63	13,93	3,87
10			25	10	2,50	68,75	12,05	5,75
15			40	15	2,67	67,07	10,37	7,43
20			60	20	3,00	64,62	7,92	9,88
25			85	25	3,40	62,00	5,30	12,50
30			115	30	3,83	60,12	3,42	14,38
40			155	40	3,88	59,00	2,30	15,50
50			205	50	4,10	58,15	1,45	16,35
60			265	60	4,42	57,32	0,62	17,18
70			335	70	4,79	56,85	0,15	17,65
90			425	90	4,72	56,70	0,00	17,80

5.9.2.2. Datos obtenidos a caudal escalonado de 0,31 l/s

- Ubicación: vereda Las Flores, Municipio de Guasca, Departamento de Cundinamarca.
- Fecha de la Prueba: 17 de Julio de 2017.
- Caudal: 0,31 l/s.
- Potencia 1 Hp

Tabla 15. Datos de la prueba de bombeo.

BOMBEO			RECUPERACION					
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	TIEMPO ACUMULADO	t' (MIN)	t/t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	56,70					74,50	17,80	
1	58,60	1,90	1	1	1,00	74,00	17,30	0,50
2	60,40	3,70	3	2	1,50	73,46	16,76	1,04
3	61,81	5,11	6	3	2,00	72,66	15,96	1,84
4	63,30	6,60	10	4	2,50	72,27	15,57	2,23
5	64,85	8,15	15	5	3,00	70,63	13,93	3,87
10	73,00	16,30	25	10	2,50	68,75	12,05	5,75
15	74,50	17,80	40	15	2,67	67,07	10,37	7,43
20			60	20	3,00	64,62	7,92	9,88
25			85	25	3,40	62,00	5,30	12,50
30			115	30	3,83	60,12	3,42	14,38
40			155	40	3,88	59,00	2,30	15,50
50			205	50	4,10	58,15	1,45	16,35
60			265	60	4,42	57,32	0,62	17,18
70			335	70	4,79	56,85	0,15	17,65
90			425	90	4,72	56,70	0,00	17,80

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.9.2.3. Datos obtenidos a caudal escalonado de 0,11 l/s

- Ubicación: vereda Las Flores, Municipio de Guasca, Departamento de Cundinamarca.
- Fecha de la Prueba: 18 de Julio de 2017.
- Caudal: 0,11 l/s.
- Potencia: 1 Hp

Tabla 16. Datos de la prueba de bombeo.

BOMBEO			RECUPERACION							
TIEMPO (min)	NIVEL DINAMICO (m)	ABATIM. (m)	TIEMPO ACUMULADO	Tg (min)	t' (MIN)	t+ t'	(t+ t')/ t'	NIVEL DEL AGUA	ABAT. RESIDUAL	RECUPERACION (m)
0	56.7			70	0	70	0	74.5	17.8	
1	57.5	0.8	1	71	1	71	71.0	74	17.3	0.5
2	58.06	1.36	3	72	2	72	36.0	73.46	16.76	1.04
3	58.56	1.86	6	73	3	73	24.3	72.66	15.96	1.84

4	59	2.3	10	74	4	74	18.5	72.27	15.57	2.23
5	59.56	2.86	15	75	5	75	15.0	70.63	13.93	3.87
10	61.55	4.85	25	80	10	80	8.0	68.75	12.05	5.75
15	63.1	6.4	40	85	15	85	5.7	67.07	10.37	7.43
20	64.52	7.82	60	90	20	90	4.5	64.62	7.92	9.88
25	65.42	8.72	85	95	25	95	3.8	62	5.3	12.5
30	66.38	9.68	115	100	30	100	3.3	60.12	3.42	14.38
40	68.07	11.37	155	110	40	110	2.8	59	2.3	15.5
50	70.14	13.44	205	120	50	120	2.4	58.15	1.45	16.35
60	73.45	16.75	265	130	60	130	2.2	57.32	0.62	17.18
70	74.5	17.8	335	140	70	140	2.0	56.85	0.15	17.65
90		-56.7	425	160	90	160	1.8	56.7	0	17.8

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.9.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS MEDIDOS Y DE LOS RESULTADOS

La prueba escalonada de bombeo se inició con un caudal de 0,70Lts/Seg., pero a los 4' de iniciado el bombeo se apagó la bomba porque el nivel dinámico descendió por bajó del control contra marcha en seco, se ejecutó posteriormente su recuperación; el segundo bombeo se adelantó a 0,31Lts/Seg., y la bomba se apagó a los 15' iniciándose su recuperación. El último caudal de bombeo fue de 0,11Lts/Seg., y la bomba se apagó antes de los 70' iniciándose su recuperación por un espacio de 90'.

Se inició el análisis de la prueba escalonada, pero ninguna de las 3 curvas se acomodaba a las curvas patrón, debido a que no cumplía los requisitos especialmente en los dos primeros bombeos, debido a sus tiempos de explotación tan cortos. El análisis por la fórmula simplificada de Jacob tampoco cumplía los requisitos sobre tiempos de bombeo, pero como esta fórmula tiene la ventaja de mostrar rápidamente después de 12' cuando se termina la mayoría de los efectos de pérdida hidráulica, todas las anomalías que afectan el acuífero.

Tabla 17. Variables utilizadas para el procesamiento de datos.

VARIABLES	
Caudal de bombeo 1	0,7Lts/Seg.
Caudal de bombeo 2	0,31Lts/Seg.
Caudal de bombeo 3	0,11Lts/Seg

Nivel estático	56,70 Lts/Seg
Nivel Bombeo (3 caudales)	74,50 Mts
Abatimiento (Nb-Ne)	17,80 Mts

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

5.9.4. CAPACIDAD ESPECÍFICA

La capacidad específica fue hallada para los tres caudales usados en la prueba de bombeo a caudal escalonado

$$Ce = (0,7\text{Lts/Seg})/17,8\text{M} = 0,039\text{Lts/Seg/Mts.}$$

$$Ce = (0,31\text{Lts/Seg})/17,8\text{M} = 0,017\text{Lts/Seg/Mts}$$

$$Ce = (0,11\text{Lts/Seg})/17,8\text{M} = 0,06\text{Lts/Seg/Mts.}$$

$$Ce = (0,069\text{Lts/Seg})/17,8\text{M} = 0,038\text{Lts/Seg/Mts.}$$

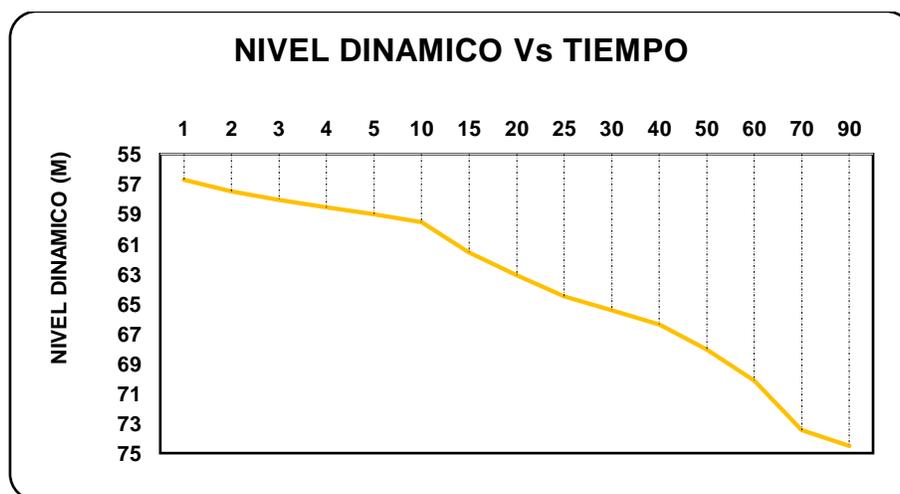
La capacidad específica va disminuyendo a medida que se reduce el caudal.

5.9.5. ANALISIS DE DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO CON EL CAUDAL DE 0,11 L/s.

A continuación, se presenta el análisis de los datos para el caudal que presentó el mayor tiempo de bombeo (resultado de 0,11 L/s) y así determinar algunas características hidráulicas de la formación cacho.

5.9.5.1. Análisis del nivel Dinámico vs tiempo

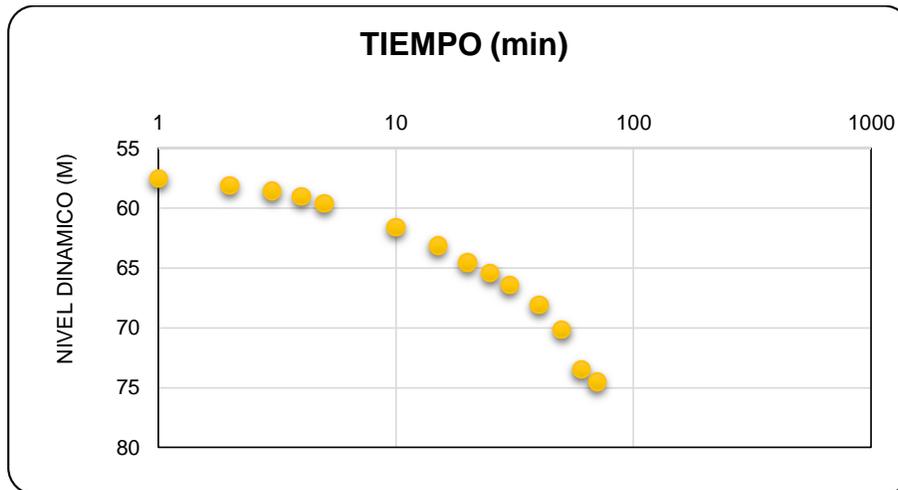
Gráfica 41. Nivel Dinámico vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la prueba de bombeo, de acuerdo con lo anterior se puede inferir que el nivel no se estabilizo en ningún intervalo de tiempo.

Gráfica 42. Nivel Dinámico Vs Tiempo



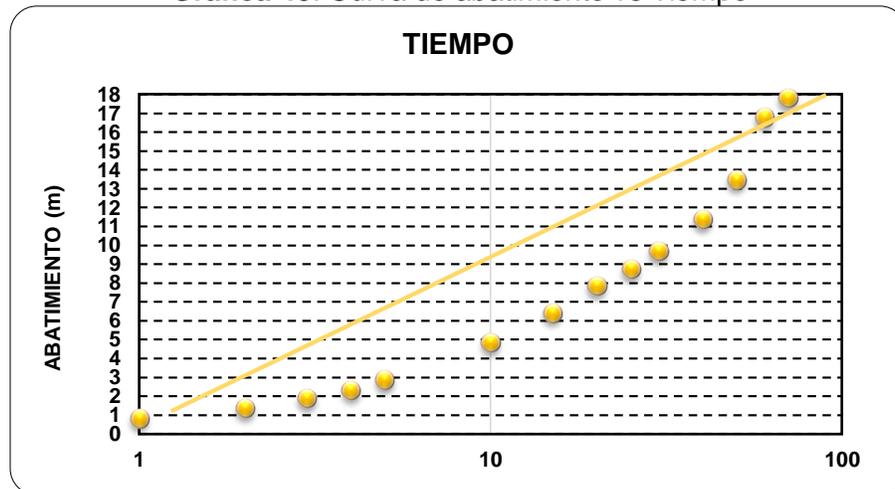
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

En la gráfica anterior se muestra el descenso progresivo del nivel de agua durante el bombeo sin embargo es de notar que el nivel no se estabiliza ya que el punto monitoreado presenta bajos niveles de recarga.

5.9.5.2. Análisis de la curva Abatimiento vs. Tiempo

De acuerdo con los resultados arrojados en la prueba de bombeo se realizó el análisis de las curvas abatimiento vs tiempo con el caudal de 0,11 L/s que arrojo mayor estabilidad.

Gráfica 43. Curva de abatimiento vs Tiempo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

De acuerdo con la gráfica anterior se puede inferir que el tiempo bombeado es de 70 minutos con un abatimiento de 17,80 metros al aplicar la ecuación de JACOB en el análisis de transmisividad tendremos que:

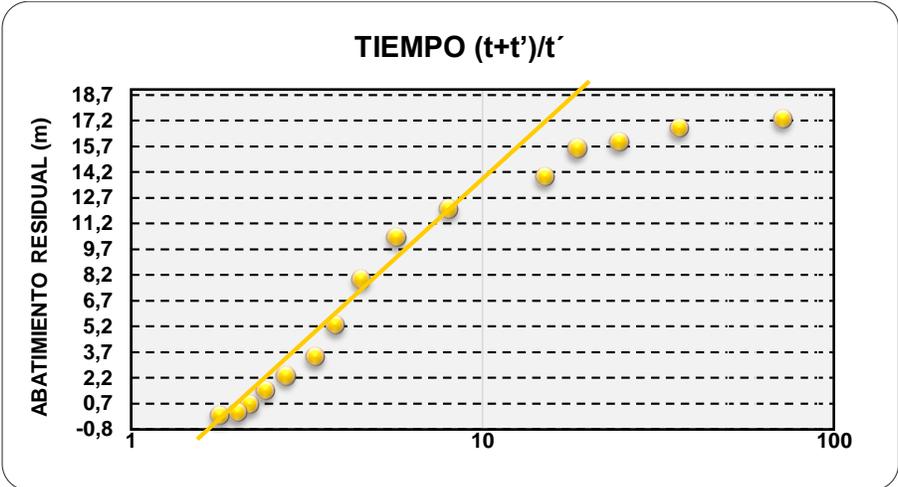
$$Q = 0,11\text{Lts/Seg} = 9,5\text{m}^3/\text{día}$$

$$T = \frac{0,183 * 9,5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{9,01 \text{ m}} = 0,19 \text{ m}^2 / \text{día}$$

5.9.5.3. Análisis De La Curvas Recuperación Vs. Tiempo

A continuación, se presenta la gráfica de recuperación vs tiempo para el caudal de 0,11 L/s.

Gráfica 44. Curva de Abatimiento Residual t'/t'.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017

A partir de la gráfica anterior hallamos los valores de transmisividad hidráulica para la formación cacho en la vereda las Flores de la siguiente manera:

$$T = \frac{0,183 * 9,5\text{m}^3/\text{Día}}{12,43} = 0,13\text{m}^2/\text{Día}$$

Transmisividad media = 0,16 m²/Día

5.9.5.4. Observaciones de la prueba de bombeo

- ✓ Se detectaron barreras hidrogeológicas tanto en el bombeo como en la recuperación que indican disminución del espesor del acuífero en las cercanías del pozo.

- ✓ El nivel freático tan bajo también puede deberse a disminución del espesor del acuífero en las cercanías y erosión parcial.
- ✓ El registro eléctrico indicaba saturación a partir de 30Mts., debido a que el agua del lodo de perforación penetra en el acuífero afectando la medida de la resistividad y el potencial espontaneo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Por medio del inventario de puntos y con ayuda de la geofísica se identificó que existían pozos profundos ya construidos en la mayoría de las formaciones de interés hidrogeológico, con excepción de la formación cacho, por lo tanto, se construye un pozo exploratorio que permite identificar el potencial hidrogeológico de la formación Arenisca del Cacho.
- ✓ De acuerdo con los resultados de la prueba de bombeo en punto Unique Colletion S.A sobre los Depósitos Aluviales tanto en temporada de lluvia como en estiaje se obtiene una transmisividad alta, lo cual significa que el acuífero tiene buen potencial hidrogeológico
- ✓ En los pozos Unique Colletion, Santa Rita y Cucharó se reduce el nivel de recarga para temporada de estiaje, lo cual es coherente ya que las precipitaciones son más bajas en esta época reduciendo el nivel de recarga del acuífero, no obstante en el punto finca Santa Lucía ocurre una situación contraria ya que se presenta mayor valor de transmisividad en época de lluvia que en época de estiaje, situación que se asocia a reservas de agua en las zonas de recarga que permite mantener en condiciones ideales el acuífero que se encuentra en la formación Labor y tierna.
- ✓ Al finalizar la construcción del pozo y para conocer las características hidráulicas del acuífero se realizó la prueba de bombeo escalonada del pozo profundo con una electrobomba sumergible tipo lapicero de 1.0 Hp de potencia instalada a 75 metros de profundidad, con caudales de 0.7 l/s, 0.31 l/s y 0.11 l/s, lo cual arroja que la transmisividad obtenida es muy baja para acuíferos de materiales consolidados. La capacidad específica también es muy baja de acuerdo con los rangos de materiales consolidados y su permeabilidad por consecuente resulta baja, lo cual indica finalmente que el acuífero presenta niveles bajo de recarga.



BIBLIOGRAFIA

ESCUELA DE INGENIEROS MILITARES, Agua y perforación de pozos, Santa Fe de Bogotá 1997, Pág 179.

Escuela de Ingenieros Militares, Agua Subterránea y Perforación de Pozos, Santa Fe de Bogotá, 1997, Pág. 183.

Conceptos Fundamentales de Hidrogeología, Clasificación de las formaciones geológicas [En línea] < http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf>, [consulta 28 de julio de 2017].