

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL
ACUÍFERO DE LA VEREDA BARRANCO COLORADO EN EL MUNICIPIO DE
SABANA DE TORRES**

**JORGE EDUARDO CHACÓN SANABRIA
DAVID RICARDO VARGAS MOJICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2009**

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL
ACUÍFERO DE LA VEREDA BARRANCO COLORADO EN EL MUNICIPIO DE
SABANA DE TORRES**

**JORGE EDUARDO CHACÓN SANABRIA
DAVID RICARDO VARGAS MOJICA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
GEÓLOGO**

**Director
LUIS EDUARDO MORENO TORRES
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2009**

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mi padre Jorge Chacón quien con su apoyo incondicional y esfuerzo ha hecho posible este triunfo y logro para mi vida.

A la memoria de mi Mama Gloria quien me cuidó toda su vida para que logre mis metas, y aunque ya no está en este mundo, la llevo en mi mente y mi corazón.

A mi hermana Rocío quien me colaboró siempre y que con su amor siempre fue un apoyo incondicional para mi carrera.

A la memoria de mi hermano Giovanni quien más que mi hermano fue mi amigo, y quien me enseñó como se debe vivir y estudiar.

A la niña más linda Angélica Garzón quien con su amor ha sido un motivo más para salir adelante en mi carrera y en mi vida cotidiana, gracias por estar siempre a mi lado apoyándome y amándome.

Gracias a mis compañeros de carrera quienes en algún momento me apoyaron para salir adelante.

Jorge Eduardo Chacón Sanabria

DEDICATORIA

Quiero agradecer primeramente a mis padres por su invaluable esfuerzo, sabias enseñanzas e incomparable amor y comprensión, quienes en cada etapa de mi vida me enseñaron, entre otras cosas, que ninguna adversidad puede contra la convicción y la dedicación.

A mi hermano por todo el amor y el apoyo que siempre me ha entregado incondicionalmente y quien siempre ha sido mi imagen a seguir y admirar.

A Paola, por ser mi ferviente amada, fiel amiga, sabia consejera y noble acompañante en el corto trayecto de nuestras vidas, por ello te reitero mi más fuerte y sincero amor.

Finalmente pero no por ello último a mi familia, amigos (ellos saben quienes son), compañeros, conocidos, simpatizantes y discrepantes, porque en medio de ustedes he moldeado mi vida.

A todos GRACIAS, muchas.

David R. Vargas Mojica

"...The needle tears a hole, the old familiar sting, Try to kill it all away, but I remember everything, What have I become?, My sweetest friend, Everyone I know, goes away in the end, And you could have it all, my empire of dirt."

Johnny Cash - Hurt

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestros más sinceros agradecimientos a:

A nuestro amigo y director, Luis Eduardo Moreno Torres, por su cuantiosa e invaluable orientación a lo largo del proyecto.

A las familias Ortiz, por su amable y desinteresada colaboración.

Al grupo de profesores de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, por contribuir en nuestra formación profesional.

A Jose Antonio Henao por su colaboración con las muestras para el DRX

A nuestros amigos, compañeros y colegas que hicieron de nuestra estadía en la universidad una experiencia memorable.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	2
2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	2
2.1.1. Vías de acceso.	3
2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.3. JUSTIFICACIÓN	5
2.4. OBJETIVOS	6
2.4.1. Objetivo general	6
2.4.2. Objetivos específicos	7
2.5. ANTECEDENTES	7
3. MARCO TEÓRICO	12
4. METODOLOGIA	42
4.1. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	44
4.1.1. Etapa I	44
4.1.2. Etapa II	44
4.1.2.1. Inventario físico de pozos.	44
4.1.2.2. Geomorfología y estructural	51
4.1.2.3. Aspectos Hidrogeológicos	54
4.1.2.4. Estratigrafía	55
4.1.2.4.1 Depósitos de terrazas aluviales (Qal):	55
4.1.2.4.2 Depósitos fluviales de canal (Qfc):	55
4.1.2.5. Ensayos de bombeo.	58
4.1.2.6. Pruebas de infiltración	60
4.1.3. Etapa III	60
5. FORMULACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	67
6. CONCLUSIONES	76

7. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución demanda mundial de agua	8
Tabla 2. Clasificación de acuíferos en base a su comportamiento hidráulico	15
Tabla 3. Metodología	42
Tabla 4. Resultados del inventario físico de pozos.	46
Tabla 5. Tabla de valores random para la escogencia de los pozos.	59
Tabla 6. Selección de la clase del método a partir del tipo de acuífero.	67
Tabla 7. Tabla comparación entre los resultados de la prueba de bombeo y el ensayo de infiltración, acuífero confinado.	71
Tabla 8. Cuadro resumen donde se muestran los resultados de las propiedades hidrogeológicas.	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio, Barranco Colorado, Sabana de Torres.	3
Figura 2. Acuífero libre	13
Figura 3. Acuífero confinado	13
Figura 4. Acuífero semiconfinado	14
Figura 5. Los ocho elementos arquitecturales básicos en depósitos fluviales	16
Figura 6. Geometría de los bancos	17
Figura 7. Curva estándar arrojada cuando se analizan los datos del ensayo por bombeo por medio del método de Jacob.	19
Figura 8. Modelo de la elevación del nivel del agua al introducir un volumen abruptamente. Método Cooper, Bredehoeft y Papadopoulos.	20
Figura 9 . Familia de curvas tipo del método de Walton, $W(u, r/B)$ en función de $1/u$ para diferentes valores de r/B .	22
Figura 10. Curva estándar arrojada cuando se analizan los datos de recuperación del pozo por medio del método de Theis.	23
Figura 11. Esquema tectónico del Departamento de Santander	53
Figura 12. Visualización de la interface principal del Diver-Office.	61
Figura 13. Visualización de las opciones del Diver	62
Figura 14. Método utilizado en la adquisición de datos para los ensayos de infiltración.	63
Figura 15. Método utilizado en la adquisición de datos para la prueba de bombeo acoplada a la recuperación.	64
Figura 16. Introducción del valor de la longitud del cable del Diver para la compensación barométrica de los datos.	65

Figura 17. Introducción del valor de la altura inicial del agua para la compensación barométrica de los datos.	65
Figura 18. Procedimiento para la compensación barométrica de una serie de datos.	66
Figura 19. Gráfica semilogarítmica de Tiempo Vs. Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método Cooper Bredehoeft y Papadopoulus (Infiltración).	67
Figura 20. Gráfica semilogarítmica de Tiempo Vs Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método de Jacob (bombeo).	70
Figura 21. Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método de Jacob (bombeo).	72

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Terraza ubicada al margen derecho del río Lebrija.	51
Fotografía 2. Morfología aluvial ubicada hacia la parte más suroccidental de la zona.	52
Fotografía 3. Zonas de recarga aledañas al río Lebrija	54
Fotografía 4. Terraza aluvial ubicada sobre el escarpe derecho del río Lebrija.	56
Fotografía 5. Barra longitudinal dispuesta en el interior del canal del río Lebrija.	56
Fotografía 6. Procedimiento de adquisición de los rípios de los pozos perforados.	58
Figura 18. Procedimiento para la compensación barométrica de una serie de datos.	66

ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. INVENTARIO FISICO DE POZOS	82
ANEXO B EQUIPOS UTILIZADOS	110
ANEXO C. GRAFICAS DE LOS RESULTADOS	113
ANEXO D. RESULTADOS DRX	119
ANEXO E. COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS	121
ANEXO F MAPA GEOLOGICO	122
ANEXO G. MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	123

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUÍFERO DE LA VEREDA BARRANCO COLORADO EN EL MUNICIPIO DE SABANA DE TORRES.*

AUTOR(ES): CHACÓN S. Jorge Eduardo, VARGAS M. David Ricardo.**

PALABRAS CLAVES: Ensayos de bombeo, pruebas de infiltración, acuíferos confinados, acuíferos semiconfinados, Barranco Colorado.

DESCRIPCIÓN:

El incalculado potencial de aguas subterráneas del municipio de Sabana de Torres y sus alrededores hace de su adecuada prospección y explotación un prometedor futuro. Debido a la creciente necesidad del recurso para la subsanación de las necesidades básicas e industriales por parte de la población, resulta necesario implementar los estándares internacionales para la evaluación y el aprovechamiento de los acuíferos. La determinación de las propiedades hidrogeológicas de la vereda Barranco Colorado se realiza como base para el inicio de: un adecuado manejo del recurso y una concientización en la población.

El estudio realizado consistió en la realización de pruebas de bombeo y ensayos de infiltración utilizando unidades de medida de niveles de agua subterránea (Baro-Diver y Cera-Diver) a una muestra representativa de pozos (8), el cual arrojó valores de transmisividad 0.28 – 3 y de coeficiente de almacenamiento entre 0.0764 – 8.5925, indicando que cierta dispersión causada en algunos valores es debido al aumento de facies de canal.

El levantamiento de la geología de la zona a escala 1:10.000 con la geomorfología, geología estructural, y estratigrafía, sirvió como herramienta base para analizar el comportamiento del agua subterránea en el subsuelo, y para inferir algunas condiciones en subsuperficie acertando en todos los aspectos excepto al tipo de acuífero, ya que es localmente semiconfinado por el desarrollo de tubificación debido a la presencia de Montmorillonita en la capa impermeable (acuitardo). Debido al no ser localmente confinado como se esperaba, no pudieron ser analizados los datos obtenidos mediante el ensayo de infiltración.

OPor último se recomienda fortalecer las etapas de perforación y desarrollo del pozo, sugiriendo no tirar los ripios dejados al perforar un pozo, ya que son indispensables en el diseño, y en la determinación de las propiedades hidrogeológicas del acuífero, indicadores claves para una explotación sustentable a lo largo del tiempo.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, MORENO T. Luis Eduardo, Profesor adscrito a la escuela de Geología.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF THE HYDROGEOLOGICAL PROPERTIES OF THE BARRANCO COLORADO AQUIFER, IN THE MUNICIPALITY OF SABANA DE TORRES.*

Authors: CHACÓN S. Jorge Eduardo, VARGAS M. David Ricardo.**

Keywords: pumping test, infiltration tests, confined aquifers, semi confined aquifers, Barranco Colorado.

The immeasurable potential of groundwater in the municipality of Sabana de Torres and the surrounding area is for proper exploration and a promising future. Due to the increasing need of this resource for basic needs for the industry and the population, is necessary to implement international standards for the evaluation and exploitation of aquifers.

The determination of the hydrogeological properties in the village of Barro Blanco area is a basis for the beginning of an appropriate resource management and awareness in the population.

This study involved pumping tests and infiltration tests using units of measurement of groundwater levels (Baro-Diver and Cera-Diver) from a representative sample of wells (8), which had values of transmissivity 0.28 - 3 and the storage coefficient between 0.0764 - 8.5925, indicating that some degree of dispersion in values is caused due to increased channel facies.

The geological cartography of the area at 1:10,000 scale with the geomorphology, structural geology, stratigraphy served as a basis for analyzing the behavior of groundwater in the subsurface, and to infer conditions in some subsurface accurate in all respects except the type of aquifer, which is locally semi confined by the development of the pipening and the presence of montmorillonite in the impermeable layer (aquitard).

Because that the locally confinement was not the expected, the data obtained could not be analyzed by testing infiltration, because nowadays there are not formulas for processing the test data for water infiltration.

Finally we recommended strengthening the stages of development and drilling of wells, suggesting no shingles left to pull the drill a well, which are essential in the well design and in the determination of the hydrogeological properties of the aquifer, key operating indicators sustainable over time.

** Faculty of Physical Chemistry Engineering; Geology Department. MORENO T. Luis Eduardo, Associated Professor of the Geology Department.

INTRODUCCIÓN

La sociedad en su entorno emplea recursos esenciales para el desarrollo de una región, y en muchas ocasiones cuando estos se presentan en una relativa abundancia hace uso de ellos de acuerdo a sus necesidades y satisfacciones.

El uso de una región no se realiza sin tomar en cuenta medidas que puedan ayudar a una buena administración de los recursos de esta, tomando en cuenta que en un momento dado puede entrar en la esfera donde los recursos pasan a ser no renovables y se piensa en toda una vida para renovar lo perdido, siendo estos de gran importancia para la comunidad y para futuras generaciones.

El agua subterránea representa un recurso primordial para el municipio de Sabana de Torres, puesto que es imprescindible en las necesidades básicas y en las actividades agrícolas y ganaderas de la comunidad. De ahí que en el municipio se han venido implementando proyectos para suplir la creciente demanda del recurso a través del subsidio a la prospección y explotación hidrogeológica, no obstante, esta labor es débil debido a la ausencia de métodos en su desarrollo. Considerando la inexistencia de un acueducto en la vereda Barranco Colorado, el evidente e inadecuado manejo que se le da a la perforación de pozos por parte de la administración municipal y el indebido manejo del recurso por parte de la población, se hace necesario la tecnificación de la exploración y explotación hidrogeológica y la concientización por parte del usuario, lo cual coincide con el propósito de este estudio que de alcanzarse con éxito se suplirán ciertas insuficiencias.

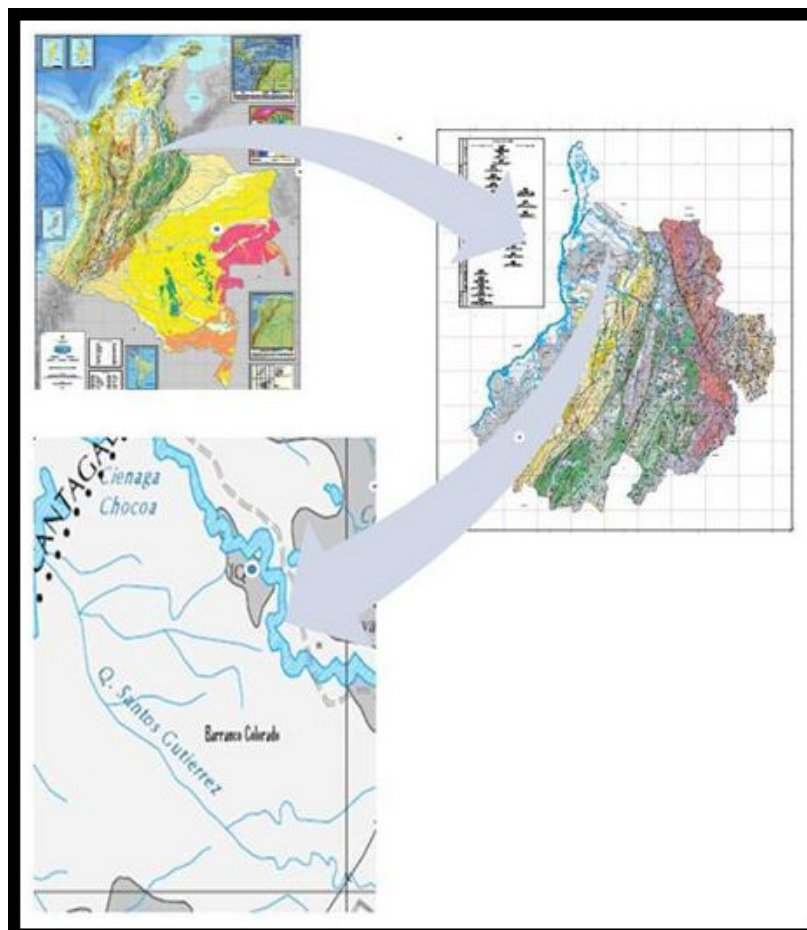
2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Geográficamente La vereda de Barranco Colorado se localiza aproximadamente a unos 30 km al NW de la cabecera municipal de Sabana de Torres. Situada en la cuenca del valle medio del Magdalena (CVMM) del departamento de Santander, Limita al norte con el Rio Lebrija, al sur con la Quebrada Los Santos, al Oriente con el Caserío Papayal y al Occidente con la Ciénaga Chocóa. La zona de estudio abarca una extensión de 100 Km², y se encuentra comprendido entre las coordenadas geográficas (gauss):

N: 1'330.000 – 1'340.000; E: 1'040.000 – 1'050.000, de la plancha topográfica 96-IV-A y 96-IV-B (según el inventario del Instituto Geográfico Agustín Codazzi) en el departamento de Santander.

Figura 1. Localización del área de estudio, Barranco Colorado, Sabana de Torres.



Fuente: Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander.
Royero y Clavijo, *et al.* 2001. Mapa geológico de Colombia (INGEOMINAS) 2006.

2.1.1. Vías de acceso. El área cuenta con una vía de acceso de primer orden como es la Troncal del Magdalena que une a Bucaramanga con Santa Marta y Barranquilla, de ella se desprende un carretable semidestapado y este atraviesa las veredas Papayal y San Rafael antes de llegar a la zona objeto de estudio.

El segundo acceso corresponde a un carreteable destapado que también se desprende de la Troncal del Magdalena y une las veredas Mata de Plátano y Magará con la vereda Barranco Colorado.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hombre a través de su historia ha venido utilizando el agua subterránea para fines que van desde su subsistencia hasta actividades como la agricultura y la industria. Aunque el agua es el recurso más abundante de la tierra, su distribución en su superficie no es homogénea ya que escasea en algunos lugares debido a factores climáticos y topográficos, es por eso que La utilización de este recurso es determinante para el funcionamiento de los ecosistemas.

Particularmente, El municipio de Sabana de Torres experimenta irregularidades en el abastecimiento de agua potable debido a escasez del recurso superficial, limitada cobertura del servicio y a la inadecuada infraestructura.

La ausencia del recurso es un reflejo de las severas condiciones climáticas experimentadas durante la prolongada época de estiaje (junio - julio- agosto – diciembre- enero- febrero¹) lo cual limita la distribución del recurso vulnerando las necesidades de la población tanto del sector urbano como el rural. A su vez el mal uso y aprovechamiento de los recursos y componentes ambientales presentes en la zona, evidenciados en el uso inadecuado del suelo y la deforestación, contribuyen a la crisis hídrica, y por ende a un nivel bajo de vida y desarrollo de la industria local.

En el casco urbano están distribuidas 3145 viviendas de las cuales el acueducto local presta el servicio a 2704, el cual es abastecido por la quebrada que aflora en el Alto del Reposo perteneciente a la microcuenca La Gómez conocida como San

¹ Plan de Desarrollo Para el Municipio de Sabana de Torres 2004 – 2007, “Sabana para los Sabaneros”

Isidro (se captan 39.7 litros por segundo de manera lateral)¹. En el ámbito rural la población se ve más afectada ya que la cobertura del servicio de acueducto sólo favorece al 63% de la población incluyendo centros poblados y veredas. Debido a la necesidad y al difícil acceso del recurso en el sector rural, la gente se abastece de afloramientos de agua y pozos artesanales para así poder suplir sus necesidades de regadío y consumo.

A cambio de tomar agua superficial, la excavación de pozos sobre la llanura aluvial en inmediaciones del casco urbano, adquiere un importante valor, ya que las condiciones edafológicas y geomorfológicas del terreno son adecuadas. En el año 2007, se perforaron 32 pozos profundos, con fines de explotación para dotación individual (para consumo domestico), en la vereda de Barranco Colorado en el sector rural. Es por eso que resulta necesario aplicar los métodos técnicos (ensayos de infiltración y pruebas de bombeo) a una muestra representativa de esos pozos distribuidos en dicha localidad pertenecientes al municipio de Sabana de Torres, para así determinar las propiedades hidrogeológicas y de esta manera poder administrar y optimizar la extracción del recurso en forma sostenible, ya que en los estudios y perforaciones hechas para la construcción de los Pozos, no se desarrolla dicha actividad que tiene carácter relevante en la prospección hidrogeológica.

2.3. JUSTIFICACIÓN

El manejo que se le da al recurso hídrico en el municipio de Sabana de Torres no es el más adecuado ya que el cubrimiento del servicio es deficiente. Además de eso el mantenimiento en la red de tuberías y alcantarillado es débil, sumado a la inexistencia de redes en la zona rural, lo que ocasiona un perjuicio precisamente al sector mencionado. Es por ello que la utilización de metodologías alternativas de captación de aguas resulta conveniente, como lo es la excavación de pozos profundos de agua subterránea bajo los métodos técnicos estandarizados.

Una solución para la crisis hídrica rural es el de monitorear los pozos que han sido cavados previamente con fines de dotación por la comunidad de Barranco Colorado, ya que es fundamental conocer el estado de estos para así garantizar un suministro óptimo en cuanto a cantidad del recurso. Por consiguiente es necesario aplicar ensayos de infiltración y pruebas de bombeo a los pozos, para determinar las propiedades hidráulicas (transmisividad, conductividad, capacidad de almacenamiento) que contribuyen a conocer las condiciones físicas de la estructura geológica para administrar el recurso racionalmente, y así concientizar a un mejor manejo del acuífero.

Por otro lado y para dar un mejor aprovechamiento del recurso, se hace necesario, obtener información previa sobre los estudios estratigráficos a partir de los ripios dejados por los pozos en las excavaciones, ya que contribuye a delimitar e identificar el tipo de acuífero presente en la zona de estudio.

Los parámetros hidrogeológicos para un acuífero, deben determinarse para predecir su comportamiento en distintos escenarios de explotación, y para gestionar y administrar racional y adecuadamente el recurso, lo que garantiza en el tiempo un buen funcionamiento del sistema. Lamentablemente en el estudio de prospección hidrogeológica realizado para la proyección y perforación de pozos guiado por la alcaldía en la zona de estudio, no contempla este aspecto, lo cual se subsana al realizar el presente trabajo.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo general

- Cuantificar las propiedades hidrogeológicas (conductividad hidráulica, Transmisividad y coeficiente de almacenamiento) del acuífero de la vereda

Barranco Colorado en el municipio de Sabana de Torres, con fines de gestión y administración del recurso.

2.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la cartografía geológica de la zona de estudio a escala 1:10.000, elaborando columnas litológicas a partir de los ripios de los pozos excavados con fines de aprovechamiento en la zona de estudio.
- Realizar el inventario físico de los aspectos hidrogeológicos de la zona como pozos, hidrografía, zonas de recarga, etc.
- Practicar los ensayos de bombeo y las pruebas de infiltración a la muestra representativa de pozos excavados para determinar las propiedades hidrogeológicas buscadas.

2.5. ANTECEDENTES

El agua con el pasar de los años en el mundo se ha convertido en uno de los recursos mas indispensables para el ser humano, pero este a su vez se ha despreocupado en cuanto a su uso e inconscientemente se ha encargado del deterioro de la calidad de esta agua.

Durante años los hidrogeólogos han estudiado la cantidad de este recurso y su disposición en el mundo, y han llegado a concluir que alrededor de un tres por ciento del agua del planeta es “agua dulce”, de las cuales la mayor cantidad hace parte las aguas subterráneas y en una proporción mucho menor las aguas superficiales accesibles.

Tomando en cuenta las consideraciones y los estudios de estos investigadores, dos tercios del agua consumida en el mundo se utiliza para agricultura y la otra

Tabla 1. Distribución demanda mundial de agua

Países y/o Continentes	Volumen Km ³ /año	Porcentaje (%)
Asia	2160	46.4
Estados Unidos	946	20.3
Antigua U.R.S.S	533	11.4
América Latina	293	6.3
África	289	6.2
Australia	35	0.8
Europa	404	8.6
Total	4660	100.0

Fuente: Aldo Reboucas (Brasil)

abastecimientos de agua potable y en mayor proporción la restante para consumos industriales; considerando esta demanda de agua en el mundo alrededor de un volumen de 4000 Km³. Estas observaciones han llevado a los gobiernos del mundo a implementar acciones para poder suplir esta demanda y es por esta razón que se construyen embalses, se reciclan las aguas, y se efectúan obras que ayudan a un mejor aprovechamiento de este valioso recurso.

REBOUCAS, Aldo (Brasil) en un estudio hecho en la Universidad de Sao Paulo, Brasil, ha estimado que la demanda mundial de agua para el próximo siglo sería de unos 4660 Km³/año, dando así una distribución en la siguiente tabla ²:

Si se hace una sinopsis histórica del agua subterránea, se puede decir que los primeros en hacer contribuciones de carácter científico para el estudio de las

² El agua subterránea y su evolución, Institucionalidad del recurso. Ing. Eugenio Celedón Silva.

aguas subterráneas fueron los franceses, y posteriormente los americanos y alemanes realizaron importantes descubrimientos para el cimiento y base de la hidrogeología moderna.

El fruto de estos estudios se deriva en que hoy día se puede determinar con mucha seguridad la localización y el comportamiento hidráulico de los acuíferos; y si se mira en orden cronológico los autores de estos estudios que han contribuido a determinar estas propiedades de los acuíferos se tiene: Hagen (1869), Poiseuille (1843), Darcy (1856), Hazen (1892), Slichter (1904), Dupuit (1905), Thiem (1906), Wenzel (1931) y los norteamericanos Meinzer, Theis (1935), Jacob (1940), quienes durante su vida como investigadores aportaron sus conocimientos en el estudio de la naturaleza y las características de cualquier tipo de acuífero.

En América Latina, más específicamente Colombia, se reconoce como uno de los pocos países en el mundo que accede de muy buena parte del recurso hídrico del planeta y dispone de una gran cantidad del recurso por año (medido en m³/año).

El estudio de las aguas en Colombia se inicio desde el punto de vista bacteriológico hacia los años 50', dando origen a las investigaciones por parte de universidades para crear planes de defensa y manejo de este recurso hídrico.

Cerca a los años 70', estudios a nivel mundial determinaron que la mayor parte del agua potable en el mundo se encuentra de forma subterránea y fue entonces, donde también se dio origen a un aprovechamiento de esta agua potable para fines domésticos e industriales. En Colombia y gracias a estas investigaciones, surgieron entidades dedicadas a analizar el potencial de este recurso; y así los municipios junto con empresas de orden sanitario quisieron satisfacer sus necesidades utilizando este recurso.

Pero pese a un mal manejo de las administraciones nacionales y locales y la falta de leyes y normas para la utilización este recurso, no han permitido alcanzar las expectativas y las necesidades que demanda este territorio. Y es de esta manera como en muchas oportunidades se puede notar que este recurso es desperdiciado y mal explotado.

A pesar de los estudios hechos por entidades públicas y privadas, hasta el presente año no se tiene con exactitud el estado real de los acuíferos distribuidos en todo el territorio colombiano, y es por esta razón que se hace necesario determinar la localización y la capacidad de estos, para ofrecer a las comunidades una buena administración y manejo de este recurso hídrico.

A nivel nacional, se han realizado investigaciones como la efectuada por Nelson Omar Vargas Martínez en el año 2001 en su tesis de postgrado de la Universidad Nacional de Colombia, en donde delimita las zonas hidrogeológicas de Colombia a escala 1:1.200.000, a partir de un modelo geológico del subsuelo, y regido por las normas de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, en la cual define 16 cuencas hidrogeológicas que albergan acuíferos con condiciones favorables para su explotación.

Otoniel Vergara en su tesis de grado “Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas cristalinas fracturadas del macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga”, (2003), de la Universidad industrial de Santander, menciona como objetivo analizar y estudiar la posible conductividad hidráulica en rocas cristalinas fracturadas, para evaluar sus posibilidades de transportar y almacenar aguas subterráneas.

En el 2004 se publicaron trabajos acerca de la recarga en acuíferos, de vital importancia para el equilibrio del sistema y su manejo sostenible, es el caso del trabajo de María Victoria Vélez y Lina María Vásquez desarrollado como tesis de

posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, y cuyo trabajo se denominó “métodos para determinar la recarga en acuíferos”. En un plano más local, en Bucaramanga, se publicó el manuscrito “acercamiento a un modelo conceptual de recarga de los acuíferos de la región de Bucaramanga”, elaborado por Sully Gómez y Ángel A. Anaya, docentes de la Universidad Industrial de Santander, el cual habla sobre la identificación de las zonas de recarga que alimentan a los acuíferos de la meseta y sus alrededores, usando isotopos estables de oxígeno (^{18}O) y deuterio (^2H) para las aguas de precipitación y el isotopo radiactivo de tritio (^3H) para las aguas subterráneas.

En los últimos años se han plasmado trabajos y asesorías hechas por geólogos para la exploración de aguas subterráneas para el área metropolitana de Bucaramanga, como el realizado por Jorge E. Zambrano y Alexander Rey Porras, donde identificaron unidades hidrogeológicas desde el punto de vista litológico asociadas a fallas de rumbo, que definen el comportamiento de las formaciones acuíferas.

En Sabana de Torres, antiguamente sólo se hacía cartografía superficial para prospección hidrogeológica orientada solo a perforación de pozos; sondeos eléctricos verticales (estudios geoeléctricos) para la búsqueda del recurso hídrico y estos son los que en la actualidad se realizan en las zonas aledañas al municipio, dejando atrás el verdadero sentido geológico de la exploración de las aguas subterráneas y con ello el manejo adecuado de este recurso tan esencial para una comunidad.

Con lo anterior se pretende aportar información y datos que contribuyan a ser una base y apoyo después de esa etapa tan importante de búsqueda y perforación, para así con ello conllevar a una buena administración del recurso hídrico y para que la explotación de este se efectúe de la mejor manera.

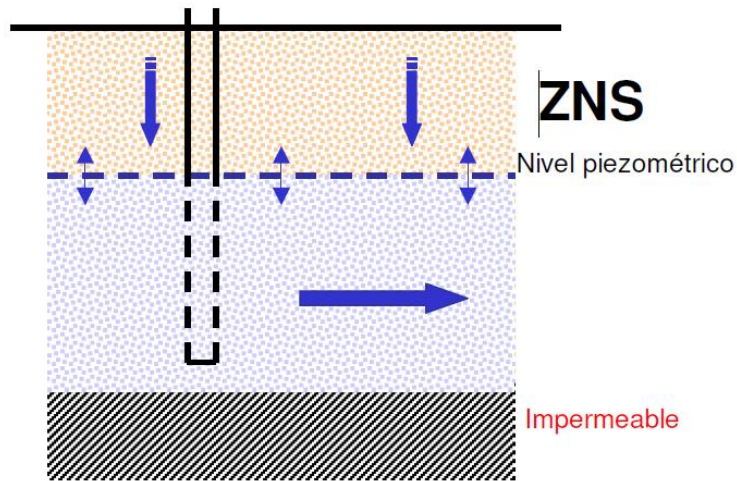
3. MARCO TEÓRICO

El agua subterránea ha sido a través de la historia del hombre una fuente de vida y un medio para el desarrollo del sector agrícola e industrial. Para poder captar este recurso del subsuelo es necesario tener formaciones o miembros de ella con propiedades hidráulicas viables para almacenar, transmitir y drenar agua.

La ocurrencia del agua subterránea se da en formaciones geológicas porosas y permeables, capaces de almacenar y ceder agua económicamente a obras de captación; de existir se les llama acuíferos y se pueden clasificar en Libres, Confinados y Semiconfinados, de acuerdo a su nivel piezométrico, el cual se define como la altura que alcanza el agua sobre una horizontal de referencia cuando se deja el acuífero a la presión atmosférica.

En los acuíferos libres el agua se encuentra llenando los poros por gravedad, está en contacto con la atmósfera y el nivel freático está por debajo del techo del acuífero (ver figura 2.). Los acuíferos confinados se encuentran infrayaciendo un material impermeable y el agua almacenada se encuentra a una presión superior a la atmosférica, además tiene un nivel de energía por encima del techo del acuífero (ver figura 3). Por último, el acuífero semiconfinado es el que subyace un estrato impermeable o semipermeable y drena agua por recarga, drenaje o goteo vertical (ver figura 4).

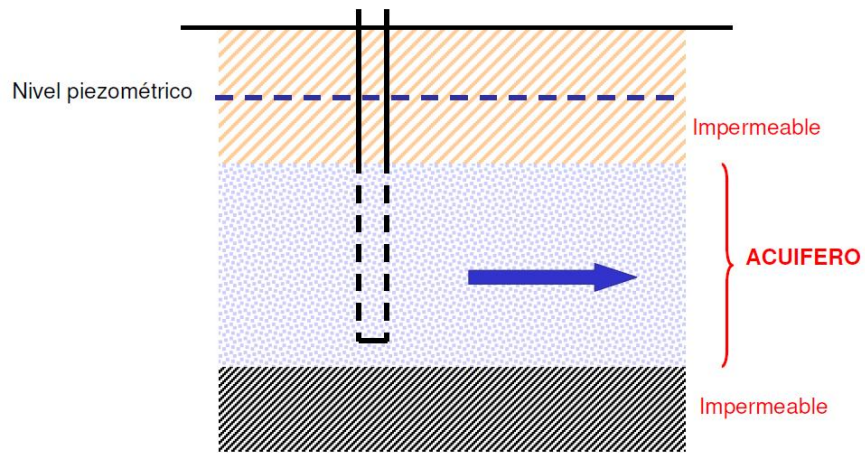
Figura 2. Acuífero libre



Existencia de zona no saturada
Nivel piezométrico real
Superficie libre de agua a presión atmosférica
Recarga directa

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

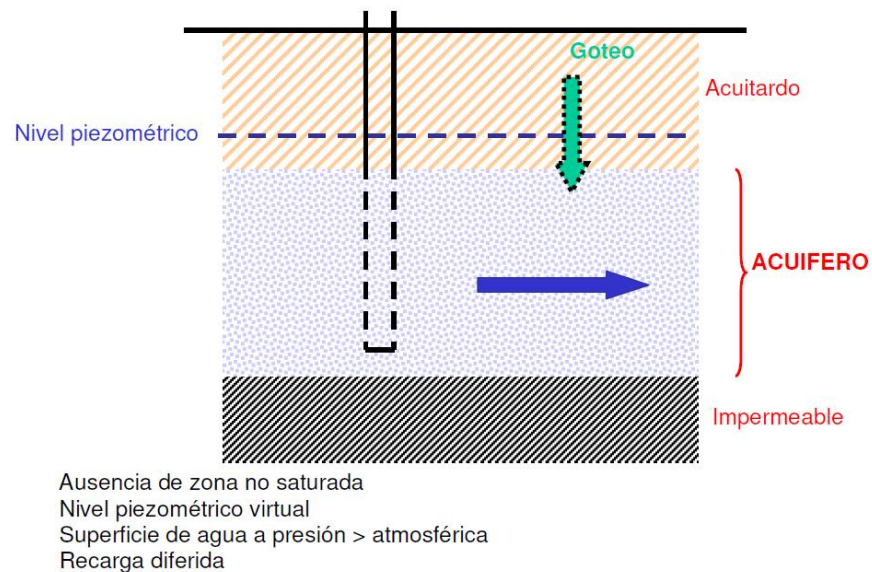
Figura 3. Acuífero confinado



Ausencia de zona no saturada
Nivel piezométrico virtual

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

Figura 4. Acuífero semiconfinado



Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

Las litologías que poseen porosidades considerables y a su vez una interconexión entre ellas para el paso de fluidos, son: las gravas y areniscas (en toda su variación granulométrica). Asimismo, es posible encontrar acumulaciones de agua en materiales atípicos debido a porosidades secundarias dadas por fracturamientos y diaclasamientos, común en rocas calcáreas, cristalinas y metamórficas.

De acuerdo a las características de los medios porosos para almacenar, drenar y transmitir se pueden clasificar en:

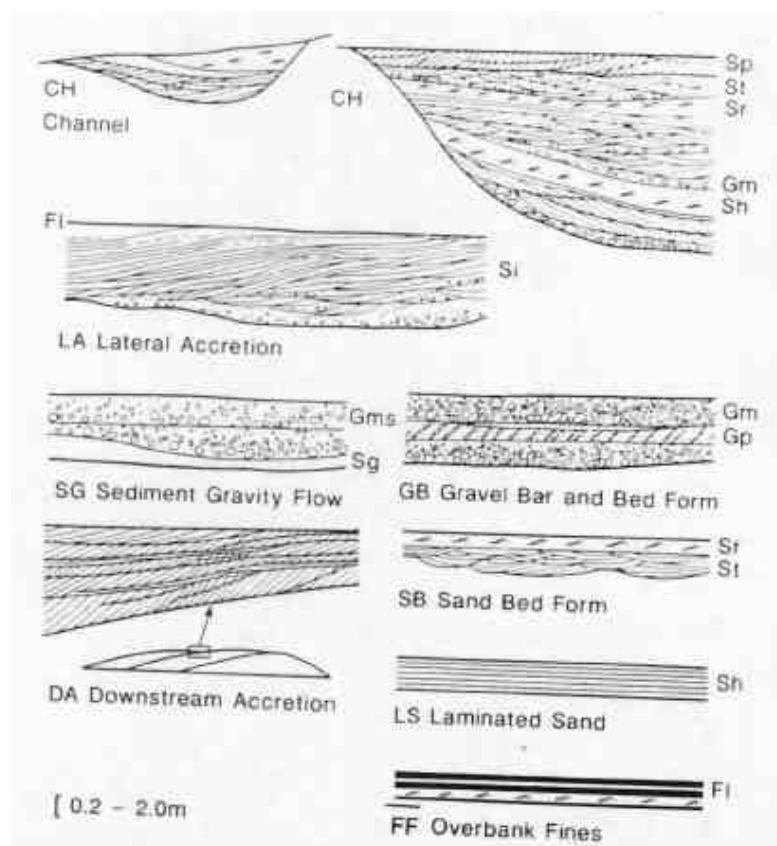
Tabla 2. Clasificación de acuíferos en base a su comportamiento hidráulico

	CAPACIDAD ALMACENAR	CAPACIDAD DRENAR	CAPACIDAD TRANSMITIR	FORMACIONES CARACTERISTICAS
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Gravas, arenas, calizas diaclasadas.
Acuitardos	Alta	Media/Baja	Baja	Limos, arenas limosas y arcillosas.
Acuicludos	Alta	Muy baja	Nula	Arcillas
Acuifugos	Nula	Nula	Nula	Granitos, gneises, mármoles.

Fuente: Ingeniería Geológica. Vallejo, González de.

Las rocas dispuestas en la zona presentan buenas propiedades petrofísicas y es debido a la granulometría, al sistema poroso (porosidad y distribución de tamaños de poros) y la cohesión del material. El origen y la génesis del depósito contribuyen a las características intrínsecas de los elementos interactuantes. Para el caso particular, Barranco Colorado yace sobre un depósito constituido por material granular de origen fluvial, de baja compactación que fue dejado por los aportes del río Magdalena durante el desplazamiento de su cauce al occidente. En el estudio de este tipo de depósitos es de vital importancia conocer la dirección, dinámica y el tipo del río y las morfologías dejadas como producto de sus variaciones. A lo largo ya sea de la planicie de inundación ó las fajas de canal en un ambiente fluvial, se desarrollan ocho elementos arquitectónicos fluviales básicos, que son: canal, acreción lateral, flujo de sedimento por gravedad, acreción río abajo, lechos de grava, lechos de arena, arenas laminadas y finos de tope de banco (MIALL, 1988).

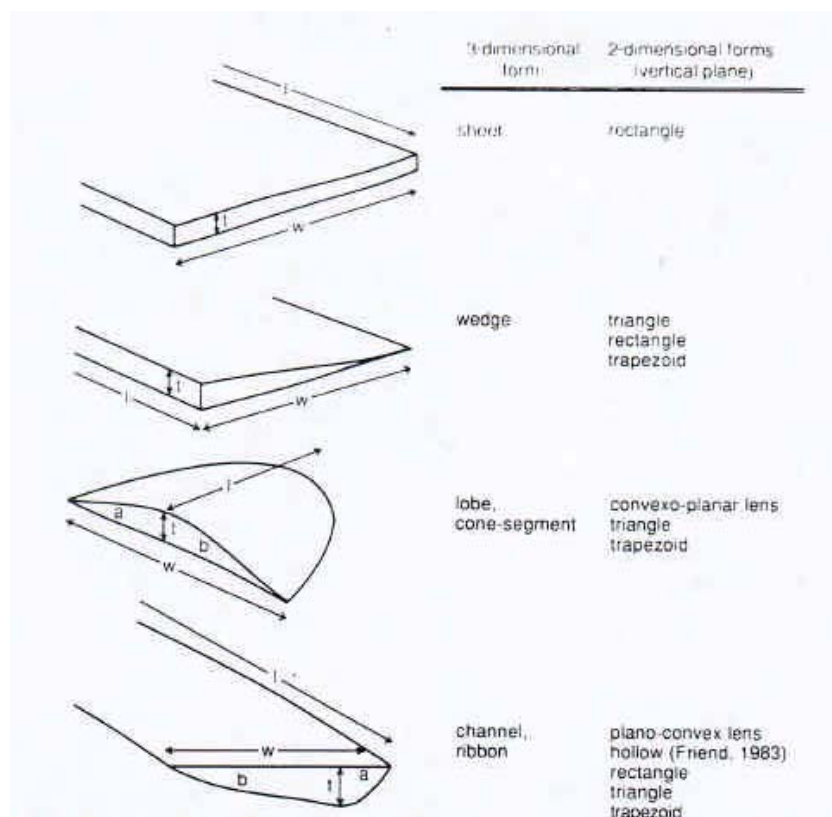
Figura 5. Los ocho elementos arquitecturales básicos en depósitos fluviales



Fuente: The Geology of stratigraphic sequences. Miall Andrewl, 1988.

Debido al régimen y a la tasa de depositación los cuerpos describen formas tales como:

Figura 6. Geometría de los bancos



Fuente: The Geology of stratigraphic sequences. Miall Andrewl, 1988.

El conocimiento del comportamiento dinámico e hidráulico de las aguas subterráneas es determinante para su óptimo aprovechamiento, por eso es vital determinar con medidas in situ y a través de formulaciones la *permeabilidad ó conductividad hidráulica (K)*, *Transmisividad (T)* y el *coeficiente de almacenamiento (S)*. La *permeabilidad* es un concepto común, se define como La facilidad con que la matriz deja atravesar un fluido, en este caso el agua. Por otro lado, el *coeficiente de almacenamiento (S)* se define como el volumen de agua que un acuífero de área unitaria y de altura, libera o drena cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.

$$K: \frac{\text{caudal (m}^3/\text{día)}}{\text{Sección (m}^2\text{)}} = K \cdot \frac{\Delta h \text{ (m)}}{\Delta l \text{ (m)}} \quad S: \frac{\text{Volumen de agua liberado}}{\text{Volumen total que ha bajado la superficie piezométrica}}$$

Donde, $\frac{\Delta h \text{ (m)}}{\Delta l \text{ (m)}}$, es el gradiente hidráulico

Por otro lado, la *Transmisividad (T)* se conoce teóricamente como la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario).

T: D.K

Donde, D es el espesor saturado del acuífero y K es la conductividad hidráulica.

Para evaluar y comprender el comportamiento del acuífero en el área de estudio es importante obtener la mayor cantidad de datos, Al dar una definición de acuífero podemos también decir que este se presenta en el medio de varias formas, los cuales juegan también un papel importante en la acumulación de agua en el subsuelo.

Los parámetros hidráulicos buscados a través de las mediciones in situ son la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. En la práctica, los ingenieros geológicos determinan esta propiedad en un acuífero mediante las pruebas de permeabilidad, contrario a la metodología utilizada por los hidrogeólogos que son los ensayos de bombeo. Ambos métodos conducen a valores similares, por eso convenientemente se realizarán ambos métodos para así comparar los datos durante la fase de análisis de resultados. Debido a que el acuífero en objeto de estudio se encuentra confinado y semiconfinado localmente se realizarán ambos métodos.

En vista de que favorece más los análisis en régimen variable por la reducción del tiempo empleado, se descarta el análisis en régimen constante para todas las

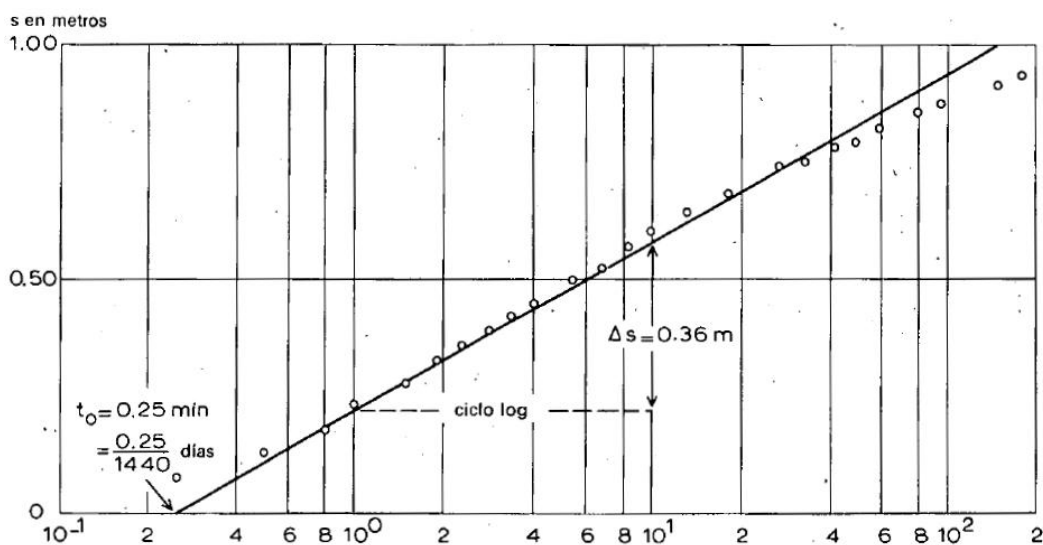
pruebas a realizar. La estimación de la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados mediante las pruebas de bombeo con régimen de flujo variable se hacen mediante el método de Jacob.

Ya que la representación del descenso s en función del logaritmo del tiempo es una línea recta (ver figura 7), tenemos³

$$s = \frac{2.30Q}{4\pi KD} \text{Log} \frac{2.25 KDt_0}{r^2 S} \quad (1)$$

Donde, Q es el caudal en $\text{m}^3/\text{día}$, KD es la transmisividad del acuífero en $\text{m}^2/\text{día}$ y S es el coeficiente de almacenamiento m^3 .

Figura 7. Curva estándar arrojada cuando se analizan los datos del ensayo por bombeo por medio del método de Jacob.



Fuente: Análisis y Evaluación de Los Datos de Ensayos Por Bombeo. Cruseman, 1970.

Si se alarga la recta hasta que corte con el eje del tiempo se obtiene para $s=0$, $t=t_0$, se obtiene,

³Tomado de Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo.

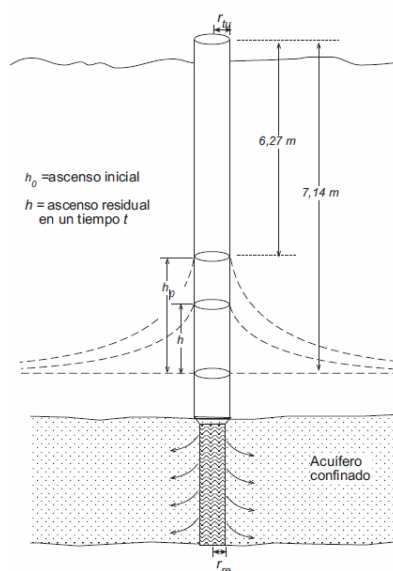
$$S = \frac{2.25 KDt_0}{r^2} \quad (2)$$

Se puede sustituir el valor de s por el de Δs , es decir la diferencia de descensos por ciclo logarítmico del tiempo, y de allí se obtiene la transmisividad.

$$KD \text{ (transmisividad)} = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s} \quad (3)$$

Los datos obtenidos en los ensayos de infiltración para acuíferos confinados a nivel variable son procesados con el método de Cooper, Bredehoeft y Papadopoulos. El cual consiste en generar un ascenso inicial (h_0) y medir los ascensos en función del tiempo. Se precisa un gráfico patrón que representa h/h_0 en función de β ($=T.t/ r_{\text{tubo}}^2$) para distintos valores de α ($=S. r_{\text{rejilla}}^2/r_{\text{tubo}}^2$) superponiendo los datos de campo sobre estas curvas se obtendrá la Transmisividad y una estimación del Coeficiente de Almacenamiento (figura 8).

Figura 8. Modelo de la elevación del nivel del agua al introducir un volumen abruptamente. Método Cooper, Bredehoeft y Papadopoulos.



Fuente: Ingeniería Geológica. Vallejo, 2002.

Para el caso de los acuíferos localmente semiconfinados serán analizados por el método en régimen variable de Walton mediante la siguiente ecuación

$$s = \frac{Q}{4\pi KD} W(u, r/B) \quad (4)$$

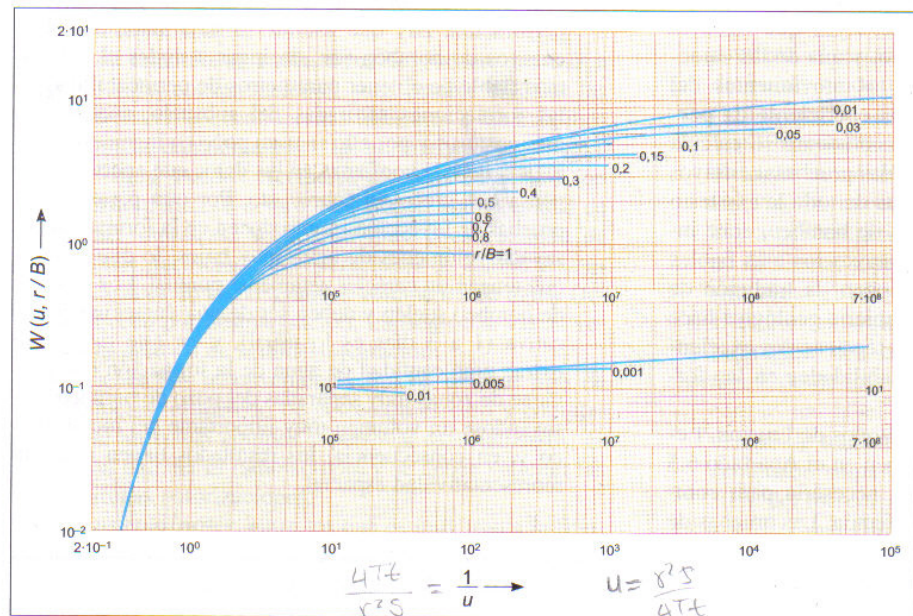
$$u = \frac{r^2 S}{4KDt} \quad (5)$$

Donde, $W(u, r/L)$ es la función de pozo, B el factor de goteo y r es el radio del pozo.

Para determinar las propiedades buscadas se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Graficar los valores de s , en función del $\text{Log } t$, así se obtiene la curva de los datos observados en el ensayo. En otra hoja de papel logarítmico, con la misma escala que la anterior.
- Superponer la curva obtenida sobre las curvas tipo (ambas deben estar en la misma escala) elaboradas por Walton en el que se observan los valores de $W(u, r/B)$ en función de los de $1/u$ para diferentes valores de r/B (ver figura 9).
- Elegir un punto de coincidencia A donde ambas hojas se solapan y leer para este punto los valores de $W(u, r/B)$, $1/u$, s y $\text{Log } t$.
- Sustituir los valores de $W(u, r/B)$ y s , junto con el valor del caudal (Q) en la ecuación (4) y obtener KD (transmisividad)
- Sustituir el valor de KD y los recíprocos de $1/u$ y $\text{Log } t$ en la ecuación (5) y deducir S .
- Con el valor numérico de r/B , correspondiente a la curva a la que mejor se ajuste la curva de datos reales, se puede obtener el valor de B y consecuentemente c , ya que $B = (KDc)^{1/2}$.

Figura 9 . Familia de curvas tipo del método de Walton, $W(u, r/B)$ en función de $1/u$ para diferentes valores de r/B .



Fuente: Ingeniería Geológica. Vallejo, 2002.

Una vez finalizado el bombeo el nivel del agua dejará de descender y comenzará a ascender hasta su posición original. Este periodo de ascenso se le conoce como la recuperación del pozo. Es posible medir dicho ascenso del nivel de agua a través del descenso residual s'' , es decir, la diferencia entre el nivel del agua previo al inicio del bombeo y el nivel actual, medida en un cierto tiempo t'' después de finalizado el bombeo. Este método permite calcular la transmisividad que sirve para comparar los resultados obtenidos con la prueba de bombeo y se conoce como el método de recuperación de Theis.

$$s'' = \frac{Q}{4\pi KD} \left[\frac{\text{Ln } 4KDt}{r^2 S} - \frac{\text{Ln } 4KDt''}{r^2 S''} \right] \quad (6)$$

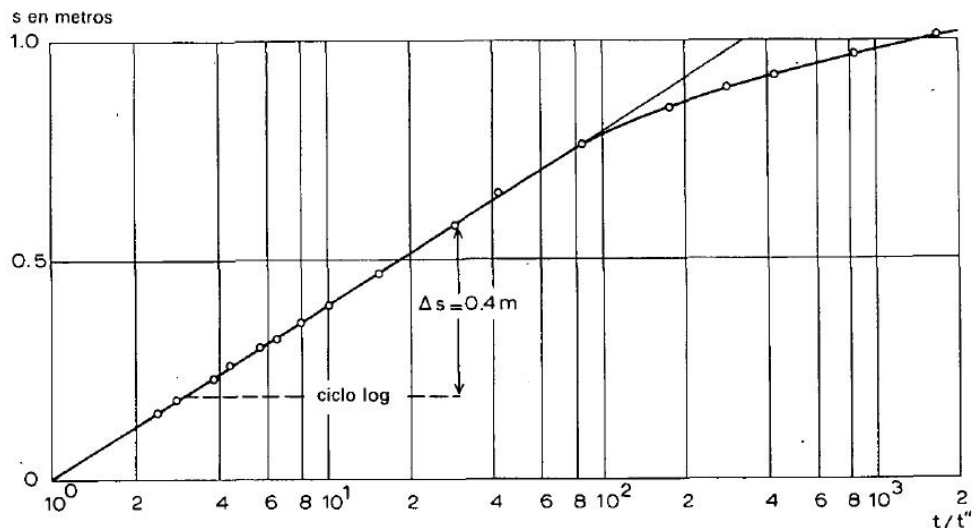
Donde, s'' es el descenso residual en m, S'' el coeficiente de almacenamiento durante la recuperación (adimensional), S el coeficiente de almacenamiento durante el bombeo (adimensional), t el tiempo desde que comenzó el bombeo (en días) y t'' el tiempo desde que terminó el bombeo (en días).

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

$$s'' = \frac{2.30Q}{4\pi KD} \log \frac{t}{t''} \quad (7), \quad KD = \frac{2.30Q}{4\pi \Delta s} \quad (8)$$

Se grafican los valores de s'' en relación con los de $\log t/t''$, por los puntos se traza una línea recta. La pendiente de esta recta es igual a $2.30Q/4\pi kD$; del gráfico se puede obtener el valor de s'' , descenso residual por ciclo logarítmico de t/t'' (ver figura 10); se sustituye dicho valor en la ecuación (8) y se obtiene la transmisividad.

Figura 10. Curva estándar arrojada cuando se analizan los datos de recuperación del pozo por medio del método de Theis.



Fuente: Análisis y Evaluación de Los Datos de Ensayos Por Bombeo. Cruseman, 1970.

De acuerdo a lo mencionado, los ensayos de bombeo permiten calcular la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S) de un acuífero, bombeando en un sondeo y midiendo descensos en otro sondeo próximo. A manera complementaria, las pruebas de permeabilidad no sustituyen a los ensayos de bombeo, porque, además de otras diferencias, éstos pueden realizarse en acuíferos profundos, mientras que las medidas puntuales de permeabilidad normalmente se realizan en perforaciones de pocos metros.

Estos ensayos se realizaron en nivel variable y consiste en introducir o extraer súbitamente un volumen de agua en un sondeo (normalmente de pequeño diámetro, 5 a 10 cm), lo que provoca un ascenso instantáneo del nivel del agua dentro de la perforación, y el fin es el de medir los descensos-tiempos a medida que se recupera el nivel.

Los métodos citados por todos los manuales de Hidrogeología son los de nivel variable de Hvorslev (1951) para acuíferos libres, de Cooper et al. (1967) para acuíferos confinados y el de Bower y Rice (1976) para acuíferos libres.

En Geotecnia e Ingeniería Geológica en general se utilizan los ensayos Lefranc y Lugeon; menos conocido es el de Gilg- Gavard. Los ensayos Lugeon se utilizan en rocas duras introduciendo agua a presiones elevadas y su ejecución no es sencilla.

Debido a la inexistencia de métodos para el procesamiento de datos de ensayos de infiltración en acuíferos semiconfinados no se puede lograr este objetivo.

4. METODOLOGIA

Tabla 3. Metodología

ETAPA	ACCIONES	HERRAMIENTAS	OBJETIVO LOGRADO	OBSERVACIONES
Preliminar	Revisión bibliográfica (mapas geológicos, libros técnicos, artículos, proyectos regionales).	Ingeominas, CAS, CDMB, bibliotecas, tesis de grado, estudios previos, recursos electrónicos. Fotografías aéreas. Imágenes digitales.		En base a este análisis, se fortalecen conceptos para poder desarrollar el modelo a seguir en la etapa de campo.
Campo	Reconocimiento de campo, identificación de estructuras geológicas, levantamiento de columna estratigráfica.	Guías técnicas de sedimentología, y geología estructural, sondeos eléctricos verticales previos. Fotografías aéreas. Imágenes digitales.	-Se realizó la cartografía geológica de la zona de estudio a escala 1:10.000, Elaborar cuatro columnas estratigráficas a partir de los ripios de los pozos excavados. - Se realizó el inventario físico de los aspectos hidrogeológicos de la zona como pozos, hidrografía, zonas de recarga, etc. - Se estableció estadísticamente la muestra representativa de pozos excavados para la realización de pruebas de bombeo y ensayos de infiltración, para determinar las	El producto a entregar en base a esta acción realizada sería un Mapa geológico escala 1:10000 que contenga la hidrología, los aspectos antrópicos y la información de campo obtenida.
	Inventario de pozos, ríos, quebradas y zonas de recarga. Estudio del balance hídrico.	Mapa topográfico de la zona de estudio, estudios hidrogeológicos previos		Determinación de la recarga.

			propiedades hidrogeológicas buscadas.	
ETAPA	ACCIONES	HERRAMIENTAS	OBJETIVO LOGRADO	OBSERVACIONES
	Ensayos de bombeo	Piezómetros, motobomba, Sondas	- Se realizaron los ensayos de bombeo en los pozos escogidos con flujo permanente y flujo variado.	Determinación de caudales bombeados y las depresiones en los conos de abatimiento.
	Pruebas de permeabilidad	Piezómetros, motobomba, Sondas.	- Se realizaron los métodos de infiltración con carga constante y carga variable en los pozos de estudio.	Determinación de la permeabilidad local con ensayos de inyección.
Oficina	Clasificación y procesamiento de datos.	Modelos matemáticos. Software,	- Se utilizaron los métodos de análisis para acuíferos libres y confinados según el caso, para los ensayos de bombeo y pruebas de permeabilidad con el fin de procesar los datos obtenidos para determinar la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento.	Interpretación de modelos matemáticos vs datos de campo.
	Formulación y análisis de resultados.	Métodos de análisis para acuíferos libres y confinados.		Compilación del proyecto, recomendaciones y conclusiones.

4.1. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para el apropiado desarrollo del estudio y en base a los objetivos planteados se desarrollaron sistemáticamente tres etapas cada una integrada por los elementos que se mencionan a continuación:

4.1.1. Etapa I

Esta etapa comprendió la recopilación de información proveniente de libros técnicos, tesis de grado, mapas geológicos, proyectos regionales, etc. que permita analizar el estado del arte en la zona objeto de estudio. En conjunto con la fotointerpretación de imágenes aéreas-satelitales y el estudio de análisis geoeléctricos previos (gestionados en el pasado por la alcaldía municipal) resultan de vital importancia para conocer las características geológicas necesarias en una etapa preliminar.

4.1.2. Etapa II

Una vez realizada la compilación bibliográfica se procedió a hacer un reconocimiento previo de la zona realizado los días 24 y 25 de octubre de 2008, para identificar las áreas de interés y las vías de acceso a ellas, debido al limitado número de afloramientos. A continuación se muestran uno a uno los trabajos realizados en campo, de acuerdo a un orden sistemático y temporal.

4.1.2.1. Inventario físico de pozos. Los días 1 y 2 de noviembre se realizó un inventario físico de pozos en el que se recorrió la vereda Barranco Colorado en toda su extensión realizando estaciones en cada una de las fincas con el fin de obtener información sobre la tipología y el funcionamiento de los pozos de agua subterránea además de la administración que se le da al recurso extraído.

Como parte fundamental se georeferenciaron cada uno de los pozos con el fin de analizar la distribución y la favorabilidad para la escogencia del

método y así determinar las propiedades hidráulicas. En este inventario se tuvo en cuenta la profundidad de los pozos y el tipo de bomba extractora, de vital importancia para el análisis del comportamiento del acuífero en distintos escenarios de explotación, además, la calidad del agua bombeada, evaluada para trabajos complementarios a posteridad. La síntesis de los resultados se muestra a continuación (ver tabla4), el inventario físico de pozos completo puede observarse en el anexo 1.

Tabla 4. Resultados del inventario físico de pozos.

FINCA	PROPIETARIO	COORDENADAS	TIPO DE POZO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	BOMBA
El Cairo	José Ignacio Marín	X: 1'044.922 Y: 1'332.226 Z: 110 msnm	Profundo 25 m	2000 lts	1 hp
Bellavista	Daniel Ducón	X: 1'046.364 Y: 1'332.930 Z: 99 msnm	Cisterna 5 m, Profundo 18 m	1000 lts	0,5 hp;1 hp
Los Guayabos	Josué Ducón	X: 1'046.373 Y: 1'332.794 Z: 85 msnm	Cisterna 5 m	1000 lts	1 hp
El Jardín	Teresa Ducón Jerez	X: 1'046.507 Y: 1'332.674 Z: 77 msnm	Profundo 18 m	1000 lts	1 hp
Nuevo Mundo	Cleotilde Jerez	X: 1'046.504 Y: 1'332.674 Z: 77 msnm	Cisterna 6 m	1000 lts	0,5 hp
La Arenosa	Martha Ducón	X: 1'046.771 Y: 1'332.186 Z: 75 msnm	Profundo 25 m	1000 lts	1 hp

El Girasol	Thomas Ducón	X: 1'046.278 Y: 1'332.690 Z: 46 msnm	Cisterna 6 m	1000 lts	0,5 hp
Carretales	Bernarda Calderón	X: 1'046.983 Y: 1'331.857 Z: 53 msnm	Cisterna 6 m	1000 lts	0,5 hp
La Copita	Delia Fonseca	X: 1'047.938 Y: 1'332.107 Z: 74 msnm	Profundo 25 m	5000 lts	2 hp
La Milagrosa	Alirio Gómez	X: 1'048.370 Y: 1'332.501 Z: 77 msnm	Cisterna 6m Profundo 25 m	2000 lts	0,5 hp; 2 hp
Puerto Olaya	Humberto Martínez	X: 1'042.116 Y: 1'333.525 Z: 72 msnm	Profundo 25 m	1000 lts	2 hp
Casezing	Alirio Gómez	X: 1'046.425 Y: 1'333.235 Z: 74 msnm	Profundo 30 m	1000 lts	1 hp

Barranco Colorado	Pedro Vargas	X: 1'045.946 Y: 1'334.707 Z: 74 msnm	Profundo 18 m	2000 lts	1/3 hp
Brisas del Rio	Rosa Díaz	X: 1'046.347 Y: 1'334.833 Z: 74 msnm	cisterna 5 m	1000 lt	0,5 hp
Las Delicias	Nidia Serrano	X: 1'045.695 Y: 1'336.105 Z: 66 msnm	Profundo 18 m	1000 lts	2 hp
La Laguna	Eduardo Aguilar	X: 1'046.203 Y: 1'335.008 Z: 76 msnm	cisterna 5 m	5000 lts	1 hp
El Portento	Nidia Serrano	X: 1'044.626 Y: 1'335.468 Z: 69 msnm	Profundo 30 m	3000 lts	3 hp
El Porvenir	Ligia Aguilar	X: 1'044.476 Y: 1'336.305 Z: 70 msnm	Profundo 30 m	1000 lts	1 hp
Los Lirios	Jorge Barón	X: 1'043.722 Y: 1'336.899 Z: 76 msnm	Profundo 32 m	1000 lts	1 hp

Los Lirios 1	Marcos Meneses	X: 1'043.419 Y: 1'337.091 Z: 75 msnm	Profundo 26 m	2000 lts	2 hp
La Esperanza	Fosión Soto	X: 1'042.730 Y: 1'338.332 Z: 66 msnm	Profundo 25 m	5000 lts	2 hp
El Edén	Antonio Ortiz	X: 1'045.793 Y: 1'333.707 Z: 68 msnm	Profundo 8 m	2000 lts	1 hp
Las Palmeras	Darío Marín	X: 1'045.475 Y: 1'334.002 Z: 77 msnm	Profundo 25 m	2000 lts	1 hp
La Floresta	Efraín Marín	X: 1'045.009 Y: 1'333.903 Z: 68 msnm	Profundo 25 m	2000 lts	1 hp
Palmeras	Norberto Santos	X: 1'044.556 Y: 1'333.584 Z: 61 msnm	Profundo 32 m	2000 lts	2 hp
El Paraíso	Pedro Vega	X: 1'043.910 Y: 1'333.544 Z: 70 msnm	Profundo 23 m	2000 lts	0,5 hp

La Fortuna	José Ortiz	X: 1'043.410 Y: 1'334.149 Z: 72 msnm	Profundo 21 m	4000 lts	1 hp
La Pradera	Bertha Ortiz	X: 1'042.869 Y: 1'334.164 Z: 73 msnm	Profundo 18 m	2000 lts	1 hp
El Paraíso	Nombre no suministrado	X: 1'042.208 Y: 1'335.252 Z: 70 msnm	Profundo 25 m	2000 lts	1 hp
El Trapiche	Rodrigo Suarez	X: 1'040.947 Y: 1'334.980 Z: 68 msnm	Profundo 20 m	2000 lts	1 hp
El Diamante	Nombre no suministrado	X: 1'040.604 Y: 1'335.037 Z: 67 msnm	Profundo 25 m	2000 lts	1 hp

Posteriormente y en los días del 11 al 21 de noviembre se realizó una fase de campo, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1.2.2. Geomorfología y estructural. Sabana de Torres y sus alrededores yace sobre un depósito constituido por material clástico de origen fluvial, que fue dejado por el río Magdalena durante el desplazamiento de su cauce al occidente. La existencia de cuerpos de aspecto simétrico y tabular, con una predominancia de material fino indica una zona de baja energía, es el caso de las llanuras aluviales situadas en la parte más suroccidental de la zona correspondiente a materiales del tipo Qal (ver fotografía 1). Asimismo es posible observar depósitos planos o ligeramente inclinados dispuestos a manera de terrazas, las cuales están limitadas por bordes escarpados generalmente de poca altura evidenciado hacia las márgenes del río Lebrija o drenajes como caño bejuco, quebrada El Caño y la quebrada Aguas Negras, estos depósitos se ubican predominantemente al margen derecho del río Lebrija y corresponden al material Qfc (ver fotografía 2)

Fotografía 1. Terraza ubicada al margen derecho del río Lebrija.



Fuente: Autores del proyecto

Fotografía 2. Morfología aluvial ubicada hacia la parte más suroccidental de la zona.

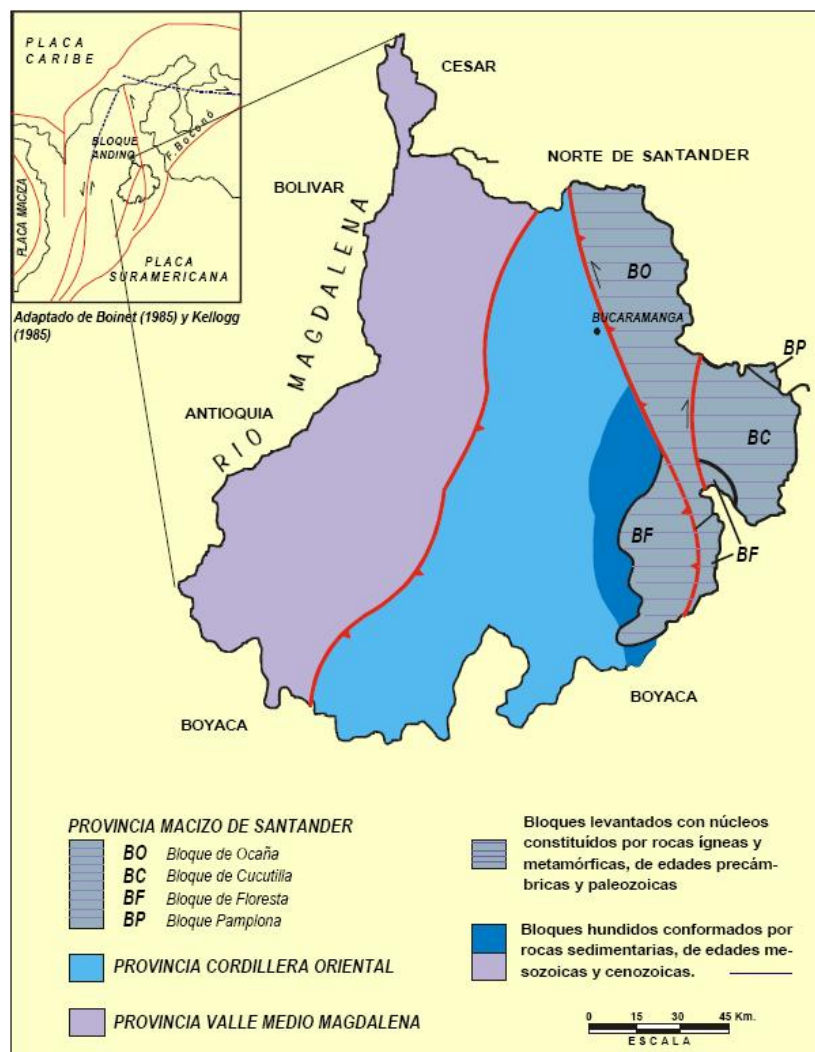


Fuente: Autores del proyecto

La historia tectónica del departamento de Santander está marcada por múltiples eventos complejos a lo largo de su formación, atribuidos a una dinámica activa resultado de la influencia entre los límites de las placas Caribe y suramericana (CLAVIJO, *et al* 2001)⁴. En la caracterización tectónica realizada por Clavijo, *et al.* (1993) se subdivide Santander en tres provincias tectónicas integradas por: “el Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental” (ver Figura 2).

⁴ MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DEPARTAMENTO DE SANTANDER. 2001. Clavijo, *et al.*

Figura 11. Esquema tectónico del Departamento de Santander



Fuente: Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander. Royero y Clavijo, 2001.

El área objeto de estudio está controlada estructuralmente al oriente por la Falla Casabe y al occidente por la Falla CantaGallo, asimismo se encuentra dentro de la Provincia Valle Medio del Magdalena, que corresponde a la región occidental estructural del Departamento de Santander, hundida, moderadamente deformada. Se encuentra representada por rocas cretácicas, terciarias y está cubierta en un 65% por sedimentos recientes (ROYERO Y CLAVIJO, 2001).

4.1.2.3. Aspectos Hidrogeológicos. El conocimiento de la recarga en un pozo es un factor crucial en el comportamiento de un acuífero. La concepción de la existencia de un equilibrio en la salida y entrada de agua es inequívoca e inalterable, ya que garantiza una vida útil de la estructura geológica y de la infraestructura del pozo. Es por ello que la identificación de las zonas de recarga en un área resulta prioritario antes de cualquier prospecto de explotación. En el caso conciso de Barranco Colorado, son varias y de extensión considerable las zonas donde se infiltra el recurso superficial y es debido a que la topografía de la zona favorece la disminución de la escorrentía y por ende la infiltración. La principal fuente de recarga de la zona es el río Lebrija, el cual atraviesa el área en sentido SE al NW, es común observar grandes volúmenes de agua almacenada en zonas aledañas al río (ver fotografía 3) lo que es favorable para los pozos de las fincas Puerto Olaya, Barranco Colorado, Brisas del Río, Las Delicias, Las Delicias 1, etc.

Fotografía 3. Zonas de recarga aledañas al río Lebrija



Fuente: Autores del proyecto

Asimismo existen fuentes de orden inferior, como es el caso de la quebrada El Caño la cual cruza parcialmente la zona en sentido SW, favoreciendo la recarga de los pozos de las fincas Los Lirios, La Esperanza, El Edén, entre otras. Por último y en dirección SW al SE aparece el Caño Bejuco, drenaje de baja escala que favorece en épocas de crecida a las fincas El Diamante, El Trapiche, entre otras.

4.1.2.4. Estratigrafía. El trabajo de campo permitió definir para las planchas 96-IV-A y 96-IV-B rocas sedimentarias del Pleistoceno. La secuencia estratigráfica aflorante en el área de estudio está conformada por depósitos del cuaternario. Los cuales corresponden a sedimentos transportados y depositados por las corrientes principales bajo regímenes y tasas de sedimentación variables. La clasificación de las unidades del cuaternario siguió la metodología en la cual los depósitos se dividen según su origen en: depósitos de terrazas aluviales (Qal) y depósitos fluviales de canal (Qfc) (Mantilla, 2006)⁵.

4.1.2.4.1 Depósitos de terrazas aluviales (Qal): Corresponden a unos niveles de arcillas de color pardo, intercaladas con limolitas de color gris y rojizo, inconsolidadas, de poco espesor (2 a 3 metros de altura), pero de gran extensión. Estos depósitos están presentes en las márgenes del río Lebrija (ver fotografía 4).

4.1.2.4.2 Depósitos fluviales de canal (Qfc): corresponde al material que actualmente es arrastrado por las dinámicas de los ríos y están confinados a sus canales, es el caso de las barras puntuales, longitudinales y transversales, diques naturales, islas e islotes (ver fotografía 5).

⁵ Cartografía Geológica de 9.600 km² de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al Conocimiento De Su Evolución Geológica. INGEOMINAS – UIS, 2006 en proceso de publicación.

Fotografía 4. Terraza aluvial ubicada sobre el escarpe derecho del río Lebrija.



Fuente: Autores del proyecto

Fotografía 5. Barra longitudinal dispuesta en el interior del canal del río Lebrija.



Fuente: Autores del proyecto

A partir de los ripios de perforación colectados (ver fotografía 6) se elaboraron las columnas de las fincas La Copita, Cazesing, El Paraíso y El Edén. Para el procesamiento de las muestras se realizaron análisis texturales y composicionales. Para el caso de la parte textural, se tamizaron todas las muestras correspondientes en el sótano de planta de aceros utilizando los tamices 10, 20, 35, 50, 100, 140 y 200, arrojando en general muestras con granos mal calibrados, esféricos, angulares a subangulares, lo que evidencia la energía del medio. Respecto a la parte composicional, se determinó la concentración en porcentaje de los componentes cuarzo, fragmento de roca y feldespato y utilizando los diagramas triangulares para la clasificación composicional de Folk, 1974. Se le asignó nombre a cada muestra. La denominación predominante fue la Litarenita feldespática en el caso de las arenas y conglomerado lítico feldespático para la fracción tamaño grava. Por otro lado y a manera de complemento se le Finalmente se elaboraron las columnas litológicas en base al formato de columnas estratigráficas detalladas⁶, y estas pueden ser observadas en el Anexo 5. A manera de complemento se les realizó un análisis de DRX a cuatro muestras de arcilla, cada una correspondiente a una muestra de un pozo, las muestras enviadas al laboratorio fueron: JDBCP8-6, JDBCP12-16, JDBCP22-19 Y JDBCP26-9. Los resultados obtenidos pueden observarse en su totalidad en el Anexo 4.

⁶ Instituto Colombiano de Geología y Minería. Ingeominas 2005.

Fotografía 6. Procedimiento de adquisición de los rípos de los pozos perforados.



Fuente: Autores del proyecto

4.1.2.5. Ensayos de bombeo. Estos procedimientos son uno de los medios más efectivos y de fácil aplicación, en la determinación de las propiedades hidráulicas de un acuífero, lo que conduce al fortalecimiento en la captación del agua subterránea.

Esta práctica consiste en bombear un caudal de agua de los pozos perforados, a un nivel constante o variable, monitoreando los niveles del agua dentro del pozo. Para medir estas variaciones de agua es posible hacerlo desde el mismo pozo de bombeo como en otros pozos cercanos.

Los datos obtenidos nos dan información acerca del pozo (construcción, caudales límites, el tipo de bomba de extracción y su ubicación), y el acuífero (transmisividad, almacenamiento, conductividad hidráulica).

Para la determinación de la muestra representativa de los pozos se aplicó la siguiente fórmula:

$$N' = \frac{S^2}{V^2} \text{ y } n' = \frac{n'}{1-n'/n}$$

En donde, n' es la muestra representativa, S es la varianza de la muestra, V la varianza de la muestra y Se es la desviación estándar de la distribución muestral.

Para una desviación estándar del 3%, arrojó:

$$S^2 = p(1-p)$$

$$S^2 = 0.99(1-0.99) = 0.0099$$

$$V = (Se)^2$$

$$V = (0.03)^2 = 0.00025$$

$$n = \frac{0.0099}{0.0009} = 11$$

$$0.0009$$

$$N' = \frac{11}{1 + 11/26} = 8 \text{ pozos}$$

$$1 + 11/26$$

Para la escogencia de los 8 pozos se utilizó el valor random, arrojando lo siguiente:

Tabla 5. Tabla de valores random para la escogencia de los pozos.

Tabla Random	Finca
5	La Copita (B8)
3	Casezing (B12)
6	El Trapiche (B20)
2	El Edén (B22)
4	El Paraíso (B26)
9	La Arenosa (B4)
6	Barranco Colorado (B13)
6	La Esperanza (B21)

Para el desarrollo de esta prueba se bombeo durante dos horas tomando los descenso del nivel del agua con el Cera-Diver. La consecución de este ensayo dejó una serie de datos para el procesamiento mediante el método de Jacob (acuífero localmente confinado) y siete series de datos para el procesamiento de Hantush y Walton (acuífero localmente semiconfinado).

4.1.2.6. Pruebas de infiltración. Los ensayos de infiltración resultan muy interesantes para determinar los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento y compararlos con los resultados de los ensayos de bombeo, teniendo una posibilidad de comprobar los datos obtenidos. Para el desarrollo de la prueba se introdujo un volumen abrupto de agua igual a 20 litros, tomando los ascensos y descensos con el Cera-Diver durante 25 minutos. Debido a la inexistencia hasta el día de hoy de formulaciones para procesar datos de pruebas de infiltración en acuíferos semiconfinados no se puede lograr este objetivo.

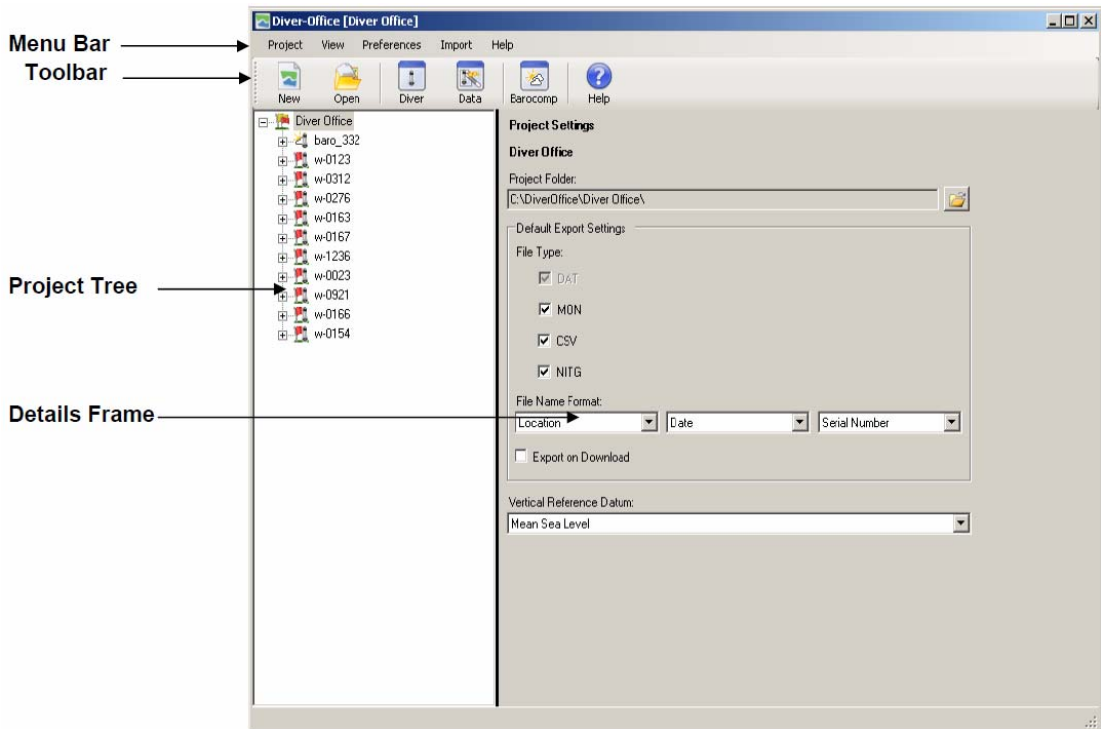
4.1.3. Etapa III

4.1.3.1. Clasificación y procesamiento de datos. Previo a la adquisición de los datos en campo, los divers (Cera Diver y Baro Diver) deben ser situados en la unidad infrarroja de lectura la cual debe estar conectada a un puerto USB del ordenador, todo esto para su debida programación. El software de gestión de datos de aguas subterráneas Diver-Office en su versión 1.0.0.13, es la herramienta que en su plataforma permite:

- Descargar las mediciones al ordenador.
- Iniciar y detener los registradores de datos Diver.
- Configurar diferentes métodos de muestreo.
- Importar y exportar los datos de monitoreo en múltiples formatos (.DAT, .MON, .CVS, .NITG).

- Importar bases de dato de registradores (LDM), bases de dato 5.x.
- Realizar compensación barométrica en los datos de lectura de agua.

Figura 12. Visualización de la interface principal del Diver-Office.



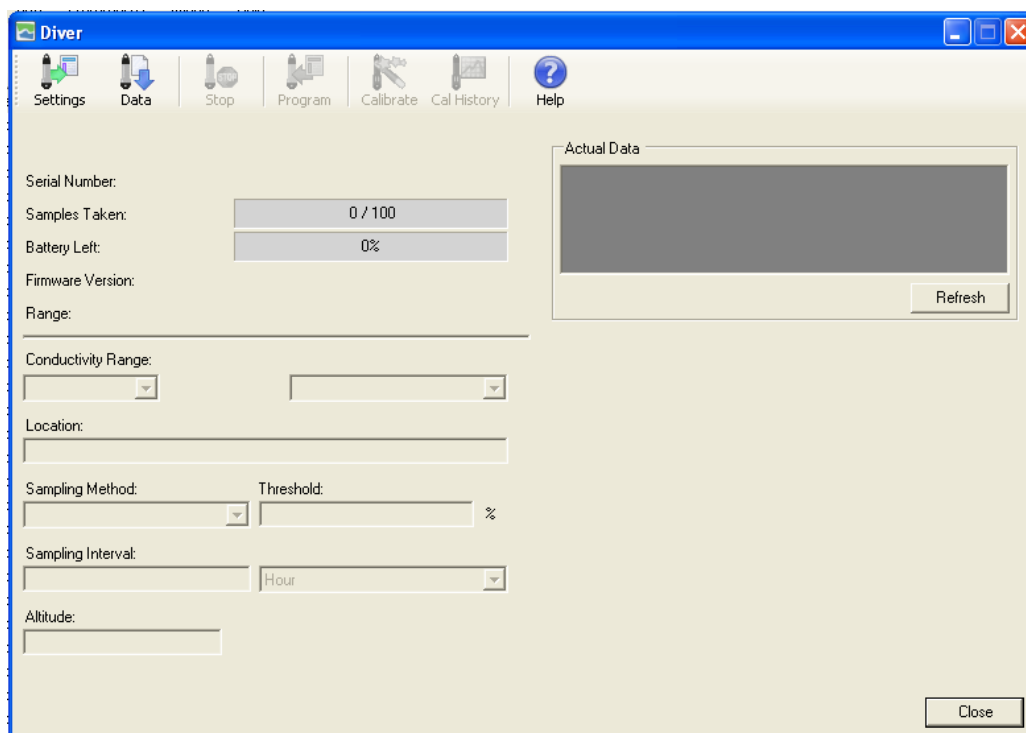
Fuente: Schlumberger Water Services.

Los archivos descargados deben ser archivados en un proyecto generado por el usuario, que será desde el momento de su creación la carpeta origen de todos los datos almacenados.

Navegando a través de las propiedades del proyecto se puede ingresar por la barra de herramientas a las opciones del Diver, allí se puede observar el número de datos almacenados, la carga de la batería y el número de serie del Diver. Además de eso es posible detener, iniciar, calibrar el Diver, asimismo configurar el método y el intervalo de muestreo y por ende el

número de muestras a obtener para cada etapa o paso (la escogencia de la cantidad de etapas es proporcional al método del usuario).

Figura 13. Visualización de las opciones del Diver



Fuente: Schlumberger Water Services.

Por ejemplo, para el caso de los ensayos de infiltración realizados en la Vereda se tomó un (1) dato cada cinco (5) segundos durante veinticinco (25) minutos, por cada prueba realizada se adquirieron 300 datos (ver figura 14), Para el caso de la prueba de bombeo acoplada con la recuperación s tomó un (1) dato cada cinco (5) segundos durante doscientos setenta minutos (270), por cada prueba realizada se adquirieron 3240 datos (ver figura 15).

Figura 14. Método utilizado en la adquisición de datos para los ensayos de infiltración.

The screenshot shows a software window titled "Pumping Test" with a blue title bar. Inside the window, there is a "Pumping Test List" section with a dropdown menu showing "Barranco Colorado Infiltración". Below this, there are fields for "Name:" (Barranco Colorado Infiltración) and "Description:" (Prueba de infiltración, Vereda Barranco Colorado, Santander). The "Base Sampling Interval:" is set to "05" and "Second". The "Samples Taken:" is "0".

Step	#Samples	# Intervals	Sample Rate (Seconds)
1	300	1	5
2	47700	250	1250
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0

At the bottom of the window, there are four buttons: "Save", "Cancel", "Close", and "Help".

Fuente: Schlumberger Water Services.

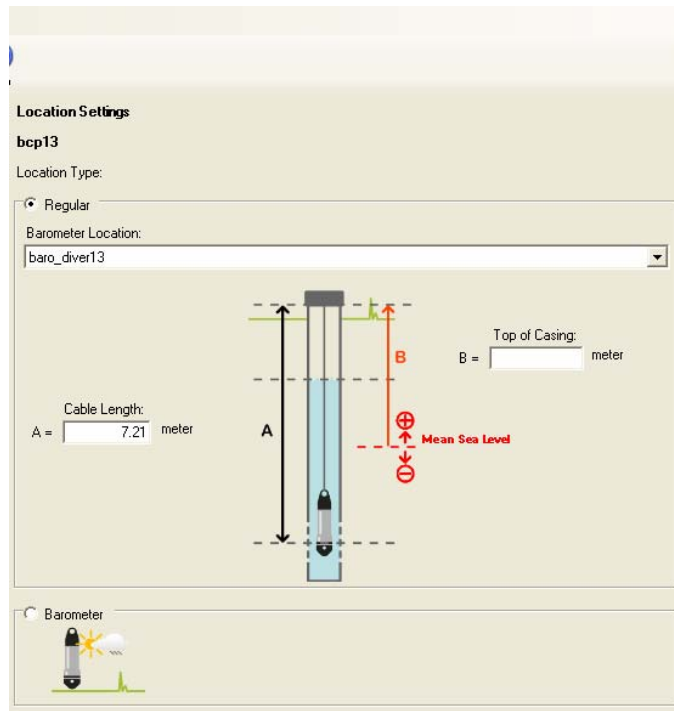
Figura 15. Método utilizado en la adquisición de datos para la prueba de bombeo acoplada a la recuperación.

Step	#Samples	# Intervals	Sample Rate (Seconds)
1	1440	1	5
2	1800	1	5
3	44760	250	1250
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0

Fuente: Schlumberger Water Services.

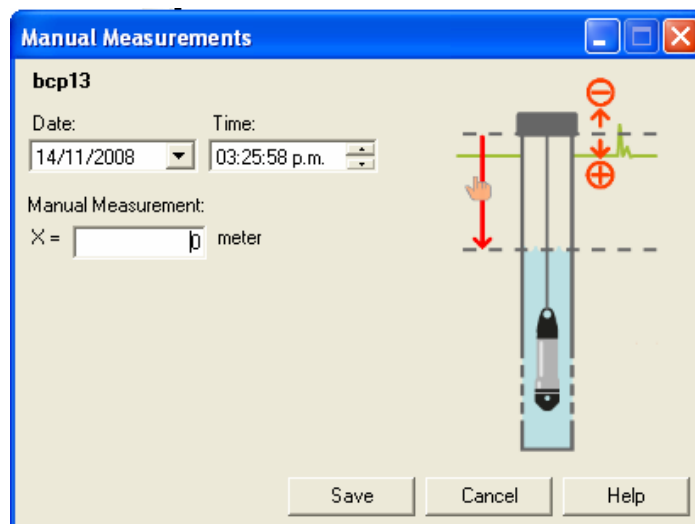
Una vez obtenidos los datos del pozo y descargados en el ordenador, estos son dispuestos a manera de árbol, donde separa los datos tomados por el Cera-Diver y Baro-Diver, donde pueden ser procesados. Como una de las herramientas del uso conjunto de los dos Divers, es posible realizar la compensación barométrica a cada serie de datos, lo que consiste en sustraer la presión barométrica (obtenida del Baro-Diver) de la presión de la columna de agua (obtenida del Cera-Diver) para manejar sólo datos de cabeza de agua, para esta acción sólo se necesita para cada pozo la longitud del cable hasta la profundidad donde estuvo el Diver (ver figura 16) y la altura inicial del nivel del agua (ver figura 17).

Figura 16. Introducción del valor de la longitud del cable del Diver para la compensación barométrica de los datos.



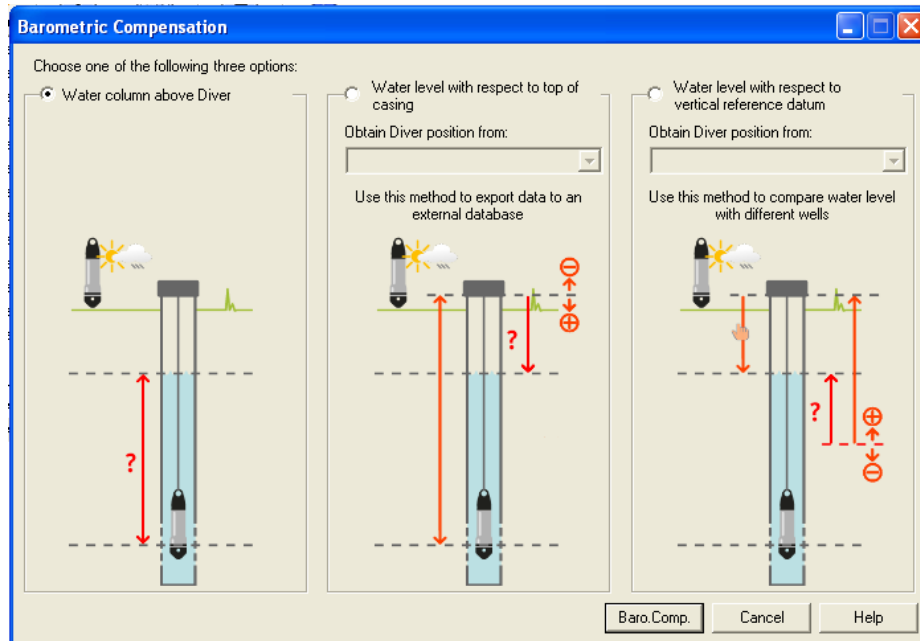
Fuente: Schlumberger Water Services.

Figura 17. Introducción del valor de la altura inicial del agua para la compensación barométrica de los datos.



Fuente: Schlumberger Water Services.

Figura 18. Procedimiento para la compensación barométrica de una serie de datos.



Fuente: Schlumberger Water Services.

Una vez compensada cada serie de valores puede ser exportada en cualquiera de los tres formatos soportados, en el caso particular, en formato .CSV (comma separated value) para poder operar los valores en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

5. FORMULACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

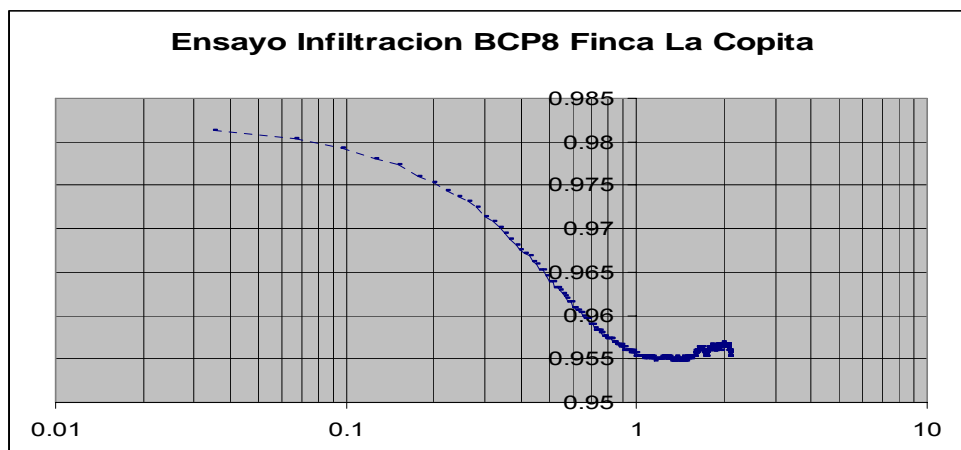
De acuerdo a los datos derivados de los tipos de acuíferos se escogió el método para procesarlos, a continuación se observa una tabla con la relación:

Tabla 6. Selección de la clase del método a partir del tipo de acuífero.

Tipo de Acuífero	Prueba	Método
Confinado	Bombeo	Jacob
Confinado	Recuperación	Theis
Confinado	Infiltración	Cooper, Bredehoeft y Papadopoulos
Semiconfinado	Bombeo	Hantush y Walton

Para la obtención de los resultados se siguió los procesos que se plasmaron en el marco teórico, estos fueron los valores obtenidos:

Figura 19. Gráfica semilogarítmica de Tiempo Vs. Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método Cooper Bredehoeft y Papadopoulos (Infiltración).



Calculo:

Superponiendo la grafica BCP 8 finca la copita, con la grafica patrón de Cooper Bredehoeft y Papadopoulos (como se observa en el anexo 3) para acuíferos confinados, se obtiene una concordancia para la curva 10^{-5} . Tomando un punto de referencia con coordenadas en la grafica patrón de Cooper (x,y)= (1.2; 0.96), se observa en la grafica de los datos de campo la pareja de datos (1:0.98), y aplicando el desarrollo propuesto por Cooper, *et al*, para acuíferos confinados como este; los datos y resultados para las pruebas de infiltración, (medidas puntuales de permeabilidad), se tiene:

$$\frac{T \cdot t}{r^2} = 1 \quad \text{Donde:}$$

$$T = \frac{1 * (0.10\text{m})^2}{0.8 \text{ min} * 1440} = 18 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Donde; T: es transmisividad del acuífero.
 t: es el tiempo correspondiente en la superposición de datos en los dos ejes cartesianos distintos (datos tomados en campo).
 r: radio de entubación del tubo.

Estimación del coeficiente de almacenamiento:

Logrando la superposición de los datos de campo con la curva patrón se obtuvo una coincidencia con la curva 10^{-5} , entonces

$$10^{-5} = \frac{S * r_{rej}^2}{r_{tub}^2}$$

Siendo:

S: coeficiente de almacenamiento
r_{rej}: radio de la rejilla = 5 pulg = 12.5 cm
r_{tub}: radio del tubo = 3 pulg = 7.5 cm

Entonces:
$$S = \frac{10^{-5} * 0.125^2}{0.075^2}$$

$$S = 2.78 * 10^{-5}$$

Ahora la conductividad hidráulica del acuífero se calcula por:

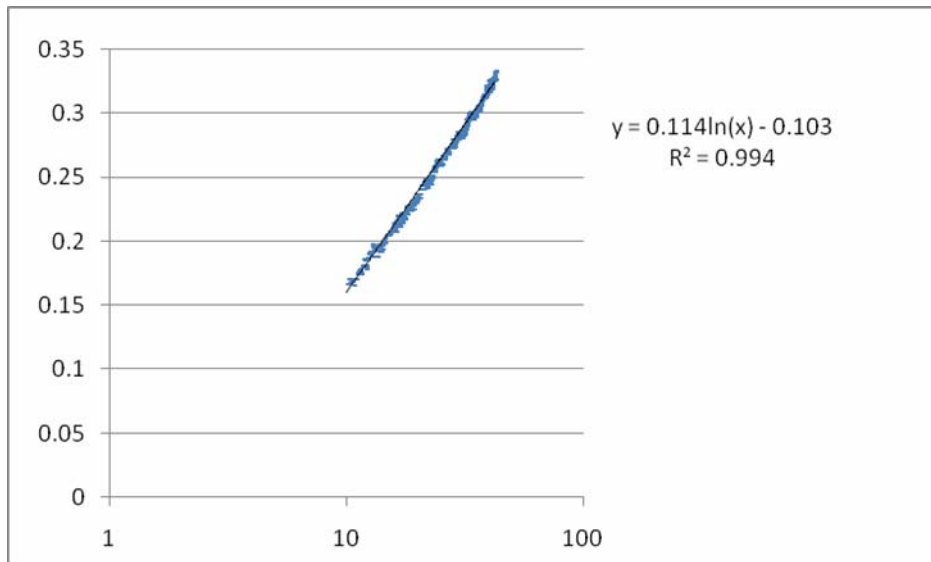
$k = T/B$ donde B es el espesor del acuífero = 7 m
T es la transmisividad.

$$K = \frac{0.288 \text{ m}^2/\text{dia}}{7 \text{ m}}$$

$$K = 0.041 \text{ m}/\text{dia}$$

Ensayo de bombeo :

Figura 20. Gráfica semilogarítmica de Tiempo Vs Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método de Jacob (bombeo).



Cálculo :

Para determinar las propiedades hidráulicas del pozo por medio de los ensayos de bombeo tenemos como herramienta el método de Jacob para acuíferos confinados, de donde tenemos :

$$d = 0.183Q \log t - 0.183Q \log t_0$$

$$y = mx - b$$

$$y = d$$

$$m = 0.183Q$$

$$x = \log t$$

para la gráfica : $y = 0.114\log x - 0.103$

y el caudal para este pozo es de : 2.56 lts/seg y un radio del tubo de 0.10m
si se calcula la transmisividad, se obtiene:

$$T = \frac{0.183Q}{m}$$

$$T = \frac{0.183(2.56)}{0.114} = 4.11 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

Ahora se determina el coeficiente de almacenamiento de la formula de Jacob:

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

$$t_0 = 0 = 0.114 \log x - 0.103$$

$$t_0 = 480 \text{ seg}$$

$$S = \frac{2.25(4.11)(480)}{(0.1)^2}$$

$$S = 443.88$$

Se deduce por formula la conductividad hidráulica $K = T/B = 0.58 \text{ m/dia}$

Comparando los resultados de los ensayos de bombeo con los de infiltración recuperación, tenemos:

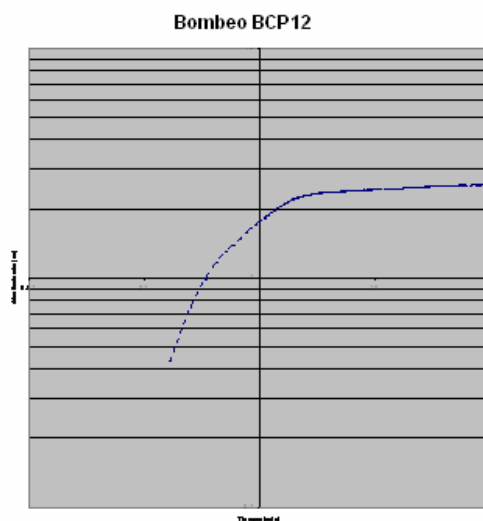
Tabla 7. Tabla comparación entre los resultados de la prueba de bombeo y el ensayo de infiltración, acuífero confinado.

	S	K m/dia	T m2/dia
Ensayo de bombeo	443.88	0.58	4.11
Ensayo de infiltración	0.028	0.041	0.288

Es de notar que los ensayos de infiltración nos muestra las características hidráulicas en las inmediaciones del pozo, es por esta razón la diferencia de las magnitudes de los resultados de los otros dos , que abarcan un área mucho más extensa y son más representativos para el acuífero. En los acuíferos semiconfinados se determinaron las propiedades hidrogeológicas a partir del método que propone Hantush- Walton para acuíferos semiconfinados. De donde se puede hallar transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica del acuitardo.

Se tiene entonces el cálculo de estas propiedades para los ensayos de bombeo de los siguientes pozos de acuífero semiconfinado:

Figura 21. Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento correspondiente a la Finca La Copita, método de Jacob (bombeo).



Para este método se utiliza la superposición de gráficas, en donde en un papel mantequilla se plasman los datos de campo y se superponen en la grafica patrón de Walton, (ver figura 8) para de ahí tomar puntos de coordenadas tanto en la grafica patrón como en la de los datos de campo, dando así para este pozo los siguientes datos:

$W(u,r/B): (3.6:0.65)$

Tiempo y descenso (s;t): (1:2)

Se sustituye la pareja de valores en la ecuación de Hantush:

Transmisividad:

$$s = \frac{Q W(u,r/b)}{4\pi T}$$
$$2 = \frac{116.208 \text{m}^2/\text{dia} * 0.65}{4\pi T} \quad T = 3.00 \text{m}^2/\text{dia}.$$

Coefficiente de almacenamiento:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$
$$1/3.6 = \frac{0.1^2 S}{4 * 3 * 1/1440} \quad S = 0.23$$

Conductividad hidráulica del acuífero: $K=T/D$

$$K = \frac{3.00}{12} = 0.25 \text{m}/\text{dia}$$

Para la conductividad se debe utilizar el valor de la curva que se ha obtenido en la superposición, para este caso se tiene que la curva dio el valor de $r/B = 1.5$.

Como $r=0.10\text{m}$ se despeja $B = r/1.5$, $B = 0.06$. $b' = 6$ espesor del acuitardo.

Finalmente en la expresión de B , se despeja K' .

$$B = \sqrt{Tb'/K'}$$

$$B = \sqrt{3*6/K'}$$

$$K' = 5.000 \text{ m/dia}$$

A manera de complemento se determinan otras propiedades para este acuífero:

Resistencia hidráulica: $c = b'/K'$

$$c = \frac{b'}{K'} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ dia}$$

Factor de filtración: $L = \sqrt{KDc}$

$$L = \sqrt{0.25 * 12 * 1.2 \cdot 10^{-3}} = 0.06 \text{ m}$$

Los cálculos para los demás pozos se representaran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Cuadro resumen donde se muestran los resultados de las propiedades hidrogeológicas.

Pozo	$W(u,r/B), 1/u$	(s,t)	r/B	Q(m ³ /dia)	T(m ² /dia)	S	K(m/dia)	k'(m/dia)	c(dia)	L(m)
BCP12	(3.6,0.65)	(1,2)	0.06	116.208	3	0.23	0.25	5000	1.2 ¹⁰⁻³	0.06
BCP13	(4.8,0.5)	(10,2.5)	0.077	82.944	1.32	0.0764				
BCP20	(6,0.75)	(10,0.5)	0.11	155.52	18.56	8.5925	1.23	7669	6.5 ¹⁰⁻⁴	0.1
BCP21	(9,0.55)	(10,3)	0.0625	211.81	3.1	0.9567				
BCP22	(5,0.55)	(10,2)	0.0625	70.9344	1.5	0.833	0.1	2688	2.6 ¹⁰⁻³	0.062
BCP26	(4.2,3)	(10,3)	0.058	35.5968	0.28	18.51				

6. CONCLUSIONES

La cartografía geológica permitió identificar dos tipos de unidades cuaternarias a partir de su origen, los depósitos de terrazas aluviales (Qal) y los depósitos fluviales de canal (Qfc). De acuerdo a las propiedades petrofísicas la unidad que más favorece el almacenamiento y el movimiento del agua es la Qfc, sin embargo las propiedades que ofrece la unidad Qal son atractivas acorde a las necesidades básicas e industriales de la región.

Las columnas litoestratigráficas fueron determinantes en la etapa de análisis de resultados, ya que los valores que se encuentran por encima del promedio son un reflejo de un apilamiento local de depósitos de canal. Asimismo y junto con los resultados del DRX practicado a las muestras JDBCP8-6, JDBCP12-16, JDBCP22-19 y JDBCP26-9, es válido inferir que la baja permeabilidad del depósito que supra yace el acuífero, es un reflejo de la presencia de arcillas, pero la aparición de Montmorillonita, en dichas arcillas al entrar en contacto con el agua se dispersa, y disuelve con facilidad. fluye con el agua generando tubificaciones en la capa confinante o sello, lo que explica el semiconfinamiento del acuífero.

El inventario físico de aspectos hidrogeológicos permitió identificar la red hidrográfica de la zona y las zonas de recarga, que contribuyen en el equilibrio del recurso hídrico dentro del acuífero. El área de estudio cuenta con una recarga acorde al volumen de extracción bombeado por la comunidad.

Las propiedades hidrogeológicas del acuífero adquiridas a través de las pruebas de bombeo, muestran valores puntuales muy interesantes, como lo es la transmisividad promedio entre 0.2 y 3, coeficiente de

almacenamiento entre 0.07 y 0.2, y conductividad hidráulica entre 0.2 y 1.2, lo que es un reflejo de las propiedades del acuífero para almacenar, transmitir y entregar agua. Cifras que sirven de parámetros de diseño y para el aprovechamiento del recurso

7. RECOMENDACIONES

Es crucial continuar con el seguimiento las propiedades hidrogeológicas del terreno para la perforación de nuevos pozos con fines de suministro para de este modo preservar las condiciones del acuífero y de la infraestructura de los pozos. Por eso se recomienda la continua preservación de los ripsos de perforación a futuras perforaciones, para modelar el acuífero y poder obtener sus propiedades hidrogeológicas.

Se recomienda que antes de entregar al usuario el pozo terminado, se le realicen pruebas de bombeo y ensayos de infiltración para la determinación de los equipos a utilizar en la extracción del recurso. Asimismo suministrarle al usuario el caudal máximo a extraer y el tiempo de encendido máximo de la bomba, esto con el fin de preservar las condiciones del acuífero y el pozo para así optimizar la administración del recurso.

Se recomienda realizar lo antes posible un estudio físico-químico del agua para determinar un adecuado tratamiento de potabilización, ya que el agua de la mayoría de las fincas presenta materiales en suspensión y en alguna se presentan aceites (Finca El Edén).

Se recomienda a la CAS elaborar un estudio(con base a la información de pozos perforados) sobre el verdadero potencial hidrogeológico de la región para poder administrar eficientemente este valioso recurso.

BIBLIOGRAFIA

- ARIAS, Alfonso y VARGAS, Rodrigo. Memoria Explicativa: Geología de las Planchas 86, Abrego y 97, Cáchira, Departamento de Norte de Santander. Santafé de Bogotá: Ingeominas, 1978. 36 p.
- AROCHA, Simón. Abastecimientos de Agua: teoría y diseño. 2 ed. Madrid: Ediciones Vega, 1980. 284 p. ISBN 84-399-8064-7.
- BAPTISTA, Pilar *et al.* Metodología de La Investigación. 1 ed. México D.F.: McGraw-Hill. 1991, 505 p. ISBN 968-422-931-3.
- CLAVIJO, Jairo *et al.* Evolución Geológica de La Serranía de San Lucas, Norte del Valle Medio del Magdalena y Noroeste de La Cordillera Oriental. En : Boletín de Geología. Vol. 30, N^o 1. P. 45-62. ISSN 0120-0283.
- COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Memoria Explicativa: Plancha 96 Bocas del Rosario Sur de los Departamentos de Bolívar y Cesar y Noroeste del Departamento de Santander. Santafé de Bogotá. 2006. 126 p.
- CRUZ, Guevara y CABALLERO, V.M. Manual de laboratorio de petrología sedimentaria. Bucaramanga. Escuela de Geología UIS, 2005.
- CUSTODIO, E y LLAMAS, M.R. Hidrología subterránea. Tomo I, II. 1 Ed. Barcelona: Omega, 1996. ISBN 84-282-0447-0.
- FETTER, Charles. Applied Hydrogeology. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1994. 691 p. ISBN 0-02-336490-4.
- JUAREZ, Badillo y RICO, Alfonso. Mecánica de suelos: flujo de agua en suelos. Tomo III. México D.F: Editorial Limusa, 1982. 409 p. ISBN 968-18-0471-6.
- KRUSEMAN, G.P y RIDDER de, N.A (1970). Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen 212 p
- MIALL, Andrew. The geology of stratigraphic sequences. Editorial Springer, 1988. 378p. ISBN 354059348-9.

- VALLEJO, Gonzales de, L. Ingeniería Geológica. 1 Ed. Madrid: Prentice-Hall, 2002. 744 p. ISBN: 84-205-3104-9.
- VILLANUEVA, M. e IGLESIAS, A. Pozos y acuíferos: Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. 1 ed. Madrid: IGME, 1984. 426 p. ISBN 84-747-4258-7.

ANEXOS

ANEXO A. INVENTARIO FISICO DE POZOS

- Finca: El Cairo
Propietario: José Ignacio Marín
Coordenadas
X: 1'044.922
Y: 1'332.226
Z: 110 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se enciende en la mañana o en la tarde durante treinta minutos hasta que se llena el tanque de almacenamiento, el agua extraída es filtrada en gravilla para liberarla parcialmente del contenido de hierro y materia orgánica.

Finca El Cairo



Izq.) Bomba de extracción de 1 Hp. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts

- Finca: Bellavista
Propietario: Daniel Ducón
Coordenadas
X: 1'046.364
Y: 1'332.930
Z: 99 msnm

Esta finca se abastece de dos pozos:

Pozo cisterna de 5 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende tres veces al día (durante el verano) durante veinte minutos hasta que se llena el tanque de almacenamiento, el agua es turbia, de color amarillento y se consume sin ser filtrada.

Pozo de 18 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende tres veces al día para llenar los bebederos del ganado. El agua es turbia, de color amarillento y está restringida para el consumo humano.

Coordenadas:

X: 1'046.349

Y: 1'332.917

Z: 83 msnm

Finca Bellavista



Izq.) Pozo cisterna de 5 m de profundidad. Der.) Bomba del pozo de 18 m de profundidad.

- Parcela: Los Guayabos
Propietario: Josué Ducón
Coordenadas:
X: 1'046.373
Y: 1'332.794

Z: 85 msnm

Pozo cisterna de 5 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante veinte minutos hasta que se llene el tanque. El agua es ligeramente amarillenta y turbia y es hervida para ser consumida.

- Finca: La Arenosa
Propietario: Martha Ducón
Coordenadas:
X: 1'046.771
Y: 1'332.186
Z: 75 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante treinta minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es turbia, amarillenta, fétida y es utilizada para abastecer los bebederos de animales. El agua para uso humano es surtida por la finca (Nuevo Mundo) limítrofe.

Finca La Arenosa



Izq.)Bomba de extracción de 1 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts

- Parcela: Nuevo Mundo
Propietario: Cleotilde Jerez
Coordenadas:
X: 1'046.504
Y: 1'332.674
Z: 77 msnm

Pozo cisterna de 6 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en dos tanques de 1000 lts cada uno. La bomba se enciende cinco veces al día durante treinta minutos mientras se llenan los tanques de almacenamiento. El agua es ligeramente amarillenta, inodora. El agua es consumida sin ser filtrada.

Finca Nuevo Mundo.



Izq.) Pozo cisterna de 6 m de profundidad. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts

- Finca: El Jardín
Propietario: Teresa Ducón Jerez
Coordenadas:
X: 1'046.507
Y: 1'332.674
Z: 77 msnm

Pozo de 18 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en dos tanques de 1000 lts cada uno. La bomba se enciende tres veces al día durante una hora mientras se llenan los tanques de almacenamiento. El agua es muy turbia con abundantes partículas de hierro y materia orgánica en suspensión, de olor fétido y es filtrada por gravedad (una vez almacenada en el tanque se deja un tiempo prudente hasta que se asiente el hierro y la materia orgánica) para abastecer los bebederos del ganado. El agua para uso humano se obtiene captando agua lluvia en un tanque de 1000 lts pero generalmente es surtida por la finca limítrofe (Nuevo Mundo).

Finca El Jardín



Izq.) Bomba de extracción 0.5 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: El Girasol
Propietario: Thomas Ducón
Coordenadas:
X: 1'046.278
Y: 1'332.690
Z: 46 msnm

Pozo cisterna de 5 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en dos tanques de 1000 lts cada uno. La bomba se enciende todos los días cada seis horas (en verano se prende cada cuatro horas) durante una hora mientras se llenan los tanques de almacenamiento. El agua es turbia, amarillenta y se consume sin ser filtrada.

Finca El Girasol



Izq.) Pozo cisterna de 5 m de Prof. y bomba de 0.5 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts

- Finca: La Copita
Propietario: Delia Fonseca
Coordenadas:
X: 1'047.938
Y: 1'332.107
Z: 74 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 5000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante veinte minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento y los bebederos de los animales. El agua es clara, inodora, de buena calidad para ser consumida.

Finca La Copita



Izq.) Bomba de extracción de 2 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 5000 lts.

- Finca: Carretales
Propietario: Bernarda Calderón
Coordenadas:
X: 1'046.983
Y: 1'331.857
Z: 53 msnm

Pozo cisterna de 6 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende cuatro a cinco veces al día durante veinte minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento y los bebederos de los animales. El agua es clara, inodora, de buena calidad para ser consumida.

Finca Carretales



Izq.) Pozo cisterna de 6 m de Prof. y bomba de 0.5 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: La Copita
Propietario: Delia Fonseca
Coordenadas:
X: 1'047.938
Y: 1'332.107
Z: 74 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 5000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante veinte minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento y los bebederos de los animales. El agua es clara, inodora, de buena calidad para ser consumida.

Finca La Copita



Izq.) Bomba de extracción de 2 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 5000 lts.

- Finca: La Milagrosa
Propietario: Alirio Gómez
Coordenadas
X: 1'048.370
Y: 1'332.501
Z: 77 msnm

El predio cuenta con tres pozos de abastecimiento:

Dos pozos cisterna de los cuales sólo uno es utilizado el cual es de 6 m de profundidad y se extrae agua con una bomba de 0.5 HP. La bomba se enciende dos veces al día durante 10 minutos mientras se llenan los bebederos de los animales. El agua es turbia, amarillenta y está restringida para uso humano.

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante veinte minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es turbia, amarillenta de olor fétido y es filtrada para ser utilizada como uso externo y de consumo.

Finca La Milagrosa



lq.) Pozo de 25 m de Prof. y bomba de extracción de 2 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: Puerto Olaya
Propietario: Humberto Martínez
Coordenadas:
X: 1'042.116
Y: 1'333.525
Z: 72 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante diez minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es clara, inodora y de buena calidad para ser consumida.

Finca Puerto Olaya



Izq.) Pozo de 25 m de profundidad. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: Casezing
Propietario: Alirio Gómez
Coordenadas
X: 1'046.425
Y: 1'333.235
Z: 74 msnm

Pozo de 30 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende cinco ó seis veces al día durante una hora mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es turbia, amarillenta e inodora y es filtrada en gravilla y arena para liberarla parcialmente de hierro y materia orgánica.

Finca Casezing



Izq.) Pozo de 30 m de Prof. y bomba de extracción de 1 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: Barranco Colorado
Propietario: Pedro Vargas
Coordenadas:
X: 1'045.946
Y: 1'334.707
Z: 74 msnm

Pozo de 18 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1/3 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante dos horas mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es de apariencia ligeramente amarillenta y en ocasiones expele olor a sedimento.

Finca Barranco Colorado



Izq.) Pozo de 18 m de profundidad. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: Brisas del Río
Propietario: Rosa Díaz
Coordenadas:
X: 1'046.347
Y: 1'334.833
Z: 74 msnm

Pozo cisterna de 5 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se enciende cuatro veces al día durante una hora mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora de buena calidad para uso humano.

Finca Brisas del Rio



Pozo cisterna de 5 m y bomba de extracción de 0.5 HP

- Finca: Las Delicias
Propietario: Nidia Serrano
Coordenadas:
X: 1'045.695
Y: 1'336.105
Z: 66 msnm

Pozo de 18 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque 1000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante 10 minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora de buena calidad para uso humano.

Finca Las Delicias



Pozo cisterna de 18 m de profundidad y bomba de extracción de 2 HP

- Finca: La Laguna
Propietario: Eduardo Aguilar
Coordenadas:
X: 1'046.203
Y: 1'335.008
Z: 76 msnm

Pozo cisterna de 5 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 5000 lts. La bomba se enciende una vez al día durante 20 minutos llenando parcialmente el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta y turbia debido al poco mantenimiento del pozo.

Finca La Laguna



Pozo cisterna de 5 m de profundidad y tanque de almacenamiento de 5000 lts.

- Finca: El Portento
Propietario: Nidia Serrano
Coordenadas:
X: 1'044.626
Y: 1'335.468
Z: 69 msnm

Pozo de 30 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 3 HP y se almacena en un tanque de 3000 lts. La bomba se enciende dos veces al día durante quince minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es ligeramente amarillenta y se filtra por medio eléctrico antes de ser consumida.

Finca El Portento



Izq.) Bomba de extracción de 3 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 3000 lts.

- Finca: El Porvenir
Propietario: Ligia Aguilar
Coordenadas:
X: 1'044.476
Y: 1'336.305
Z: 70 msnm

Pozo de 30 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 1000 lts. La bomba se prende dos veces al día durante veinte minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento y la pileta. El agua es clara e inodora y de buena calidad para uso humano.

Finca El Porvenir



Izq.) Bomba de extracción de 1 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: Los Lirios
Propietario: Jorge Barón
Coordenadas:
X: 1'043.722
Y: 1'336.899
Z: 76 msnm

Pozo de 32 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en dos tanques de 1000 lts cada uno. La bomba se prende una vez al día durante diez minutos mientras se llena el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora y de buena calidad para uso humano.

Finca Los Lirios



Bomba de extracción de 1 HP y tanques de almacenamiento de 1000 lts.

- Finca: El Trapiche
Propietario: Rodrigo Suarez
Coordenadas:
X: 1'040.947
Y: 1'334.980
Z: 68 msnm

Pozo de 20 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende dos veces al día durante veinte minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta, olor fétido y se filtra con gravilla y arena para el consumo humano.

Finca el Trapiche



Izq.) Bomba de extracción de 1 hp. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: La Esperanza
Propietario: Posion Soto
Coordenadas:
X: 1'042.730
Y: 1'338.332
Z: 66 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 5000 lts. La bomba se prende cada media hora hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es de buena calidad, clara e inodora y apta para el uso humano.

Finca la Esperanza



Izq.) Bomba de extracción de 2 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 5000 lts.

- Finca: El Edén
Propietario: Antonio Ortiz
Coordenadas:
X: 1'045.793
Y: 1'333.707
Z: 68 msnm

Pozo de 8 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende dos veces al día durante diez minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es de color amarillo por presencia de hierro y materia orgánica; el agua se consume sin filtrar ya que el propietario no conoce el funcionamiento de un filtro dejado por la alcaldía municipal.

Finca El Edén



Izq.) Filtro para agua y pozo de 8 m de profundidad. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: Las Palmeras
Propietario: Darío Marín
Coordenadas:
X: 1'045.475
Y: 1'334.002
Z: 77 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1HP

Y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende dos veces al día durante treinta minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora y de buena calidad para el uso humano.

. Finca Las Palmeras



Izq.) Bomba de extracción 1 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: La Floresta
Propietario: Efraín Marín
Coordenadas:
X: 1'045.009
Y: 1'333.903
Z: 68 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende dos veces al día durante una hora hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora y de buena calidad para el consumo humano.

Finca La Floresta



Izq.) Bomba de extracción de 1 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: Palmeras
Propietario: Norberto Santos
Coordenadas:
X: 1'044.556
Y: 1'333.584
Z: 61 msnm

Pozo de 32 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende tres veces al día durante cuarenta minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es clara e inodora y de buena calidad para el consumo humano.

Finca Palmeras



Bomba de extracción de 2 HP

- Finca: El Paraíso
Propietario: Pedro Vega
Coordenadas:
X: 1'043.910
Y: 1'333.544
Z: 70 msnm

Pozo de 23 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 0.5 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende tres veces al día durante veinte minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta debido al contenido de hierro y materia orgánica; y es filtrada por gravilla y arena para su consumo.

Finca El Paraíso



Izq.) Bomba de extracción de 0.5 HP. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts.

- Finca: La Fortuna
Propietario: José Ortiz
Coordenadas:
X: 1'043.410
Y: 1'334.149
Z: 72 msnm

Pozo de 21 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 4000 lts. La bomba se prende de tres a cuatro veces al día durante media hora hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta y de olor fétido, se filtra por gravilla y se pasa por un filtro eléctrico para su consumo.

Finca la Fortuna



Izq.) Bomba de extracción de 1 hp.

Der.) Tanque de almacenamiento de 1000 lts

- Finca: La Pradera
Propietario: Bertha Ortiz
Coordenadas:
X: 1'042.869
Y: 1'334.164
Z: 73 msnm

Pozo de 18 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende de dos a tres veces al día durante una hora hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta, turbia y fétida, se filtra para poder consumirse.

Finca la Pradera



Izq.) Bomba de extracción de 1 hp. Der.) Tanque de almacenamiento de 2000 lts

- Finca: El Paraíso
Propietario: (nombre no suministrado)
Coordenadas:
X: 1'042.208
Y: 1'335.252
Z: 70 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende de dos a tres veces durante veinte minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es amarillenta y se filtra a través de gravilla y arena, para el consumo humano.

- Finca : Los Lirios 1
Propietario: Marcos Meneses
Coordenadas:
X: 1'043.419
Y: 1'337.091
Z: 75 msnm

Pozo de 26 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 2 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende durante una hora y media para llenar el tanque de almacenamiento y para regadío. El agua es clara e inodora y de buena calidad para el uso humano.

- Finca: El Diamante
Propietario: (nombre no suministrado)
Coordenadas:
X: 1'040.604
Y: 1'335.037
Z: 67 msnm

Pozo de 25 m de profundidad en el que se extrae agua con una bomba de 1 HP y se almacena en un tanque de 2000 lts. La bomba se prende tres veces al día durante cuarenta minutos hasta llenar el tanque de almacenamiento. El agua es clara, inodora y de buena calidad para uso humano.

ANEXO B Equipos utilizados

Para llevar a cabo la práctica de los ensayos de bombeo y pruebas de infiltración se tomo en cuenta, que cuanto más precisos sean los datos de las mediciones, mejor van a ser los resultados, para determinar las propiedades hidrogeológicas del acuífero, y para este fin se investigo sobre cual serian los equipos mas apropiados para hacer dichas mediciones.

En cuanto a toma de datos y precisión de los equipos se adquirieron para este proyecto los siguientes equipos:

Cera Diver: El instrumento de monitorización de aguas subterráneas Cera-Diver está diseñado para soportar condiciones que puedan provocar corrosión en aguas subterráneas ofreciendo, al mismo tiempo, mediciones exactas y fiables del nivel y la temperatura de las aguas subterráneas.

Con 90 mm de longitud y 22 mm de diámetro, este Diver compacto de gran fiabilidad registra el nivel de las aguas subterráneas con una precisión del 0,05% (escala completa). Está equipado con una memoria capaz de almacenar 48.000 mediciones por parámetro. Una memoria suficiente para realizar una medición cada diez minutos durante un año entero.

Algunas de las aplicaciones profesionales de Cera-Diver son:

Pruebas de bombeo y de respuesta a pulso de presión.

- Áreas de recarga y cuencas hidrográficas.
- Medición de corrientes, niveles de lagos y depósitos.
- Monitorización de puertos y fluctuación de mareas.
- Monitorización de caudal de pantanos y aguas pluviales.

- Monitorización del nivel del agua a largo plazo.
- Monitorización intensiva del nivel de aguas subterráneas.
- Proyectos de monitorización de aguas subterráneas.
- Automatización de redes de monitorización de aguas subterráneas.

Baro Diver: EL Baro-Diver proporciona una medición y un registro automáticos y fiables de los datos de nivel y temperatura de las aguas subterráneas. Con 22 mm de diámetro y 90 mm de longitud, es una excelente opción para prácticamente cualquier pozo de monitorización.

Baro-Diver, basado en una tecnología demostrada e innovadora, dispone de una impresionante memoria interna, con capacidad para almacenar 24.000 mediciones por parámetro, lo que significa una medición cada diez minutos durante seis meses. Para cada medición, Baro-Diver registra automáticamente la presión barométrica, la temperatura del agua subterránea, la fecha y la hora.

El Baro-Diver se puede utilizar para lo siguiente:

- Pruebas de bombeo y de respuesta a pulso de presión.
- Áreas de recarga y cuencas hidrográficas.
- Medición de corrientes, niveles de lagos y depósitos.
- Monitorización de puertos y fluctuación de mareas.
- Monitorización de caudal de pantanos y aguas pluviales.
- Monitorización del nivel del agua a largo plazo.
- Monitorización intensiva del nivel de aguas subterráneas.
- Proyectos de monitorización de aguas subterráneas.
- Automatización de redes de monitorización de aguas subterráneas.

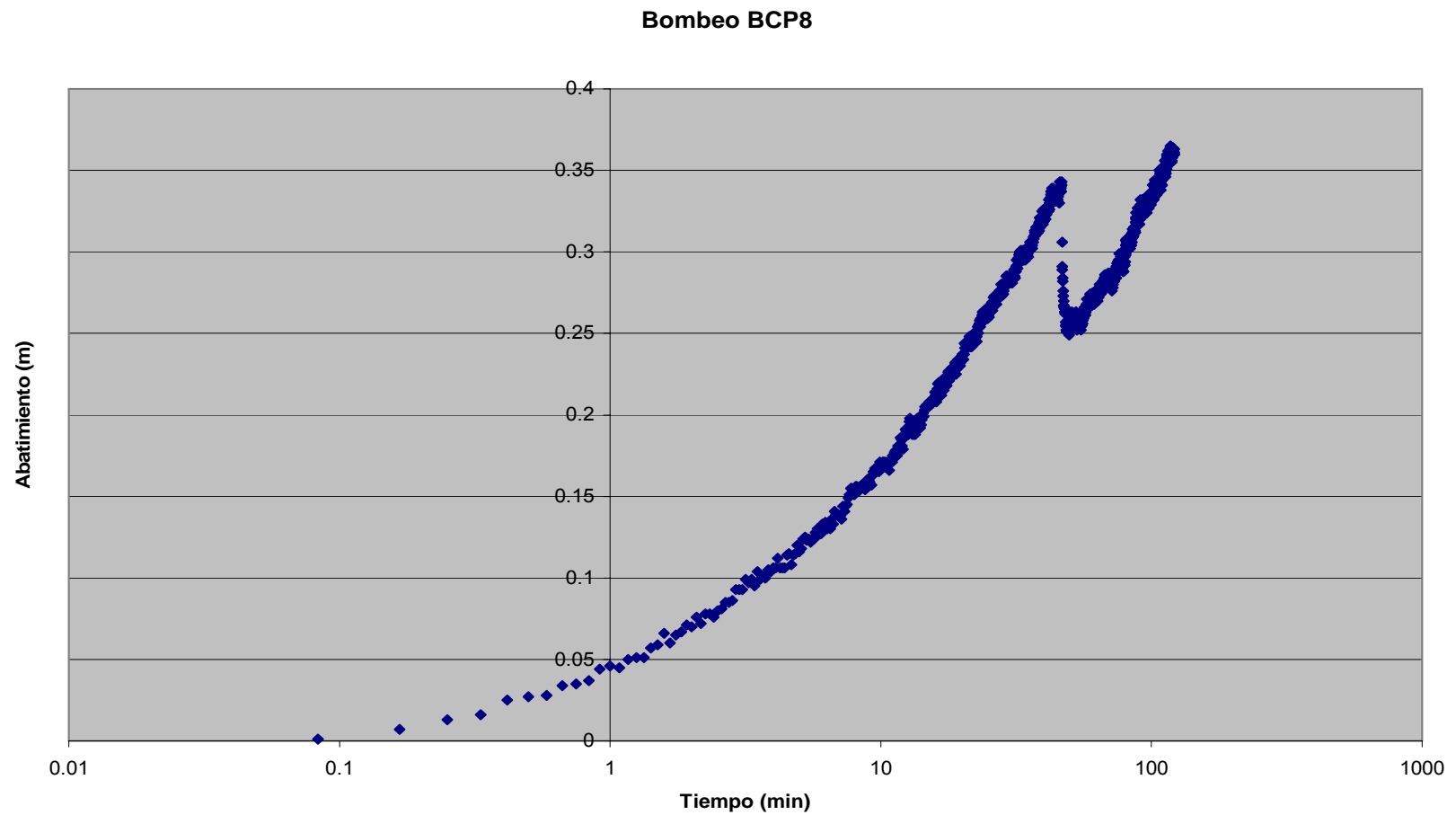
Unidad de lectura de Divers: este es un soporte para la lectura de divers, pues una vez tomado los datos en el pozo, el diver se conecta por medio infrarrojo a esta unidad, descargando los datos directamente al

computador por medio de un puerto USB de la unidad de lectura, permitiendo de esta manera una forma fácil y rápida de obtener los datos para procesarlos en el computador.

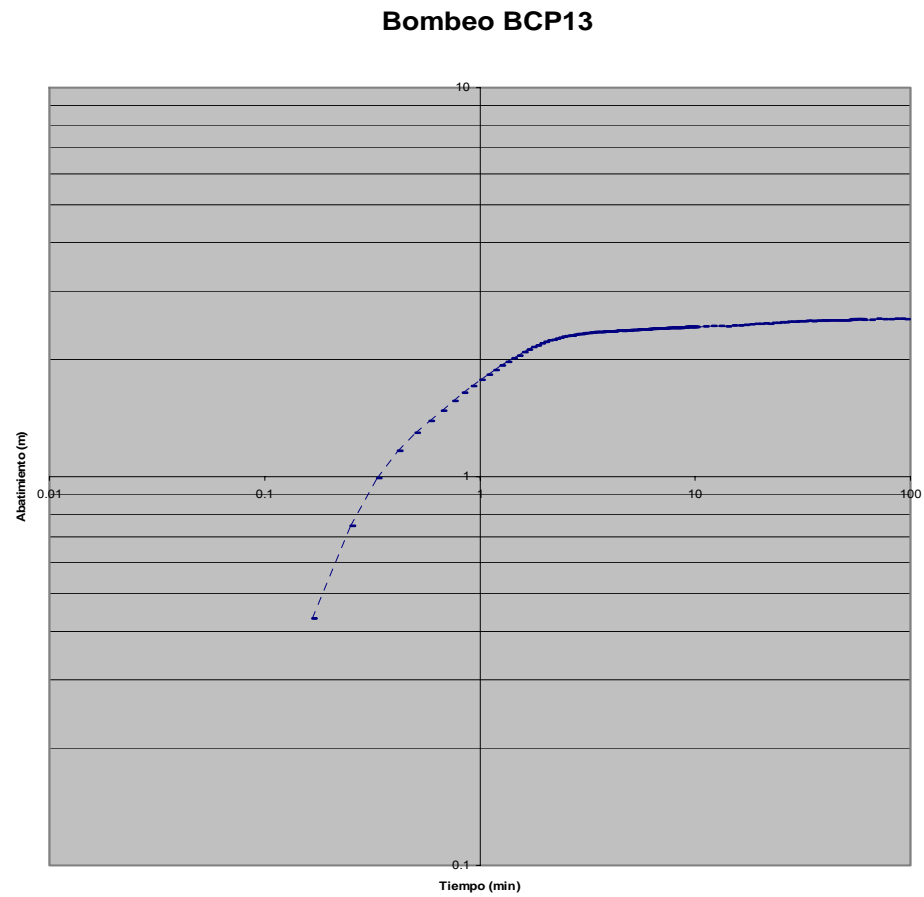
Sonda eléctrica de medida de niveles: La sonda para medir niveles de agua utiliza un sensor de acero inoxidable acoplado a una cinta plana de polietileno. A su vez el ensamble está montado en un carrete bien balanceado. Cada conductor de la cinta consta de siete hilos trenzados de acero inoxidable. Los sensores tienen un aislamiento entre electrodos. Cuando el sensor tiene contacto con el agua se completa el circuito eléctrico accionando de inmediato una señal acústica y una luz en el carrete. El nivel de agua es determinado al milímetro realizando la lectura sobre la cinta métrica. Muy útil para las mediciones en los pozos de agua subterránea.

ANEXO C. GRAFICAS DE LOS RESULTADOS

Gráfica semilogarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca La Copita, Método de Jacob (bombeo)

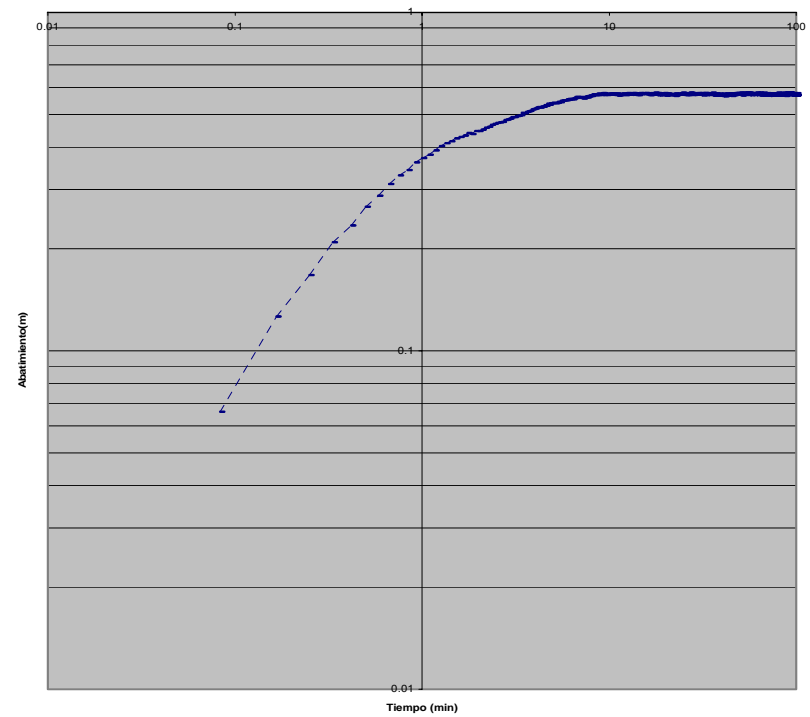


Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca Barranco Colorado, Método de Hantush-Walton (Bombeo).



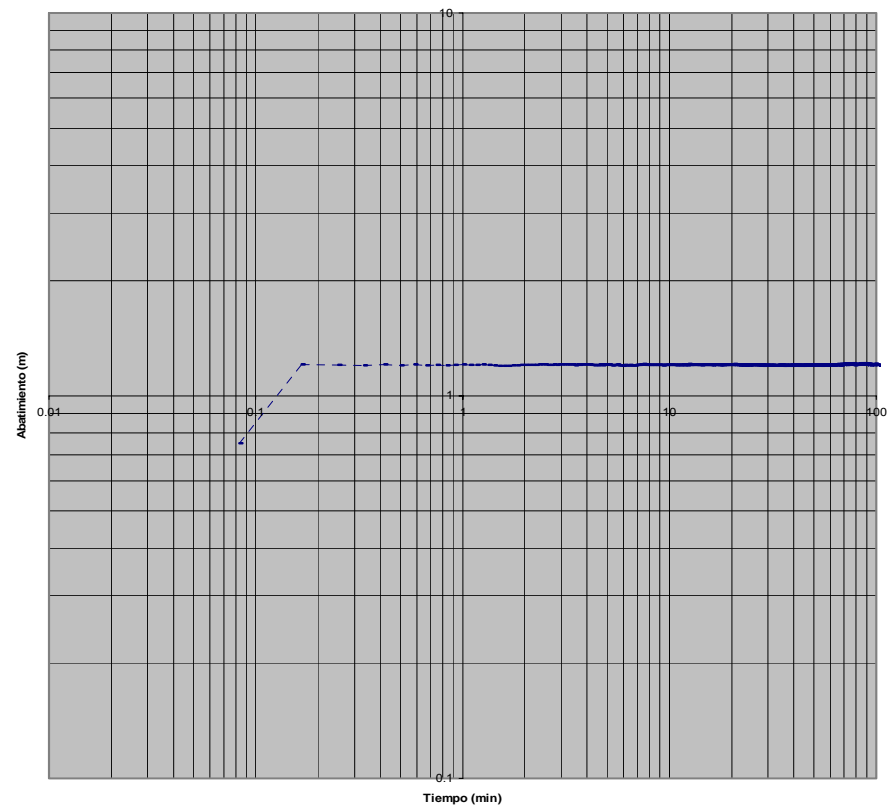
Grafica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca El Trapiche

Bombeo BCP20

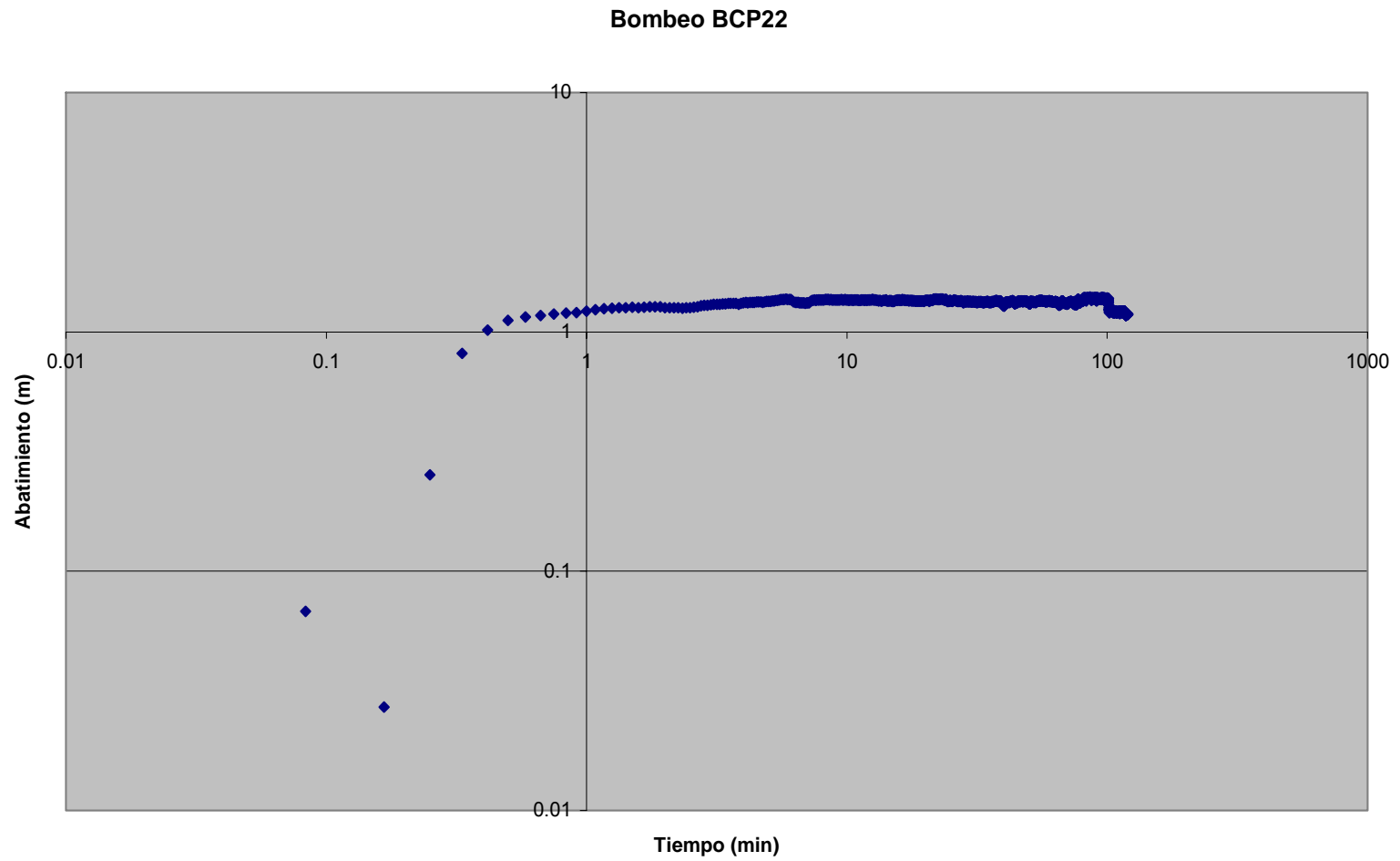


Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca La Esperanza, método Hantush-Walton.

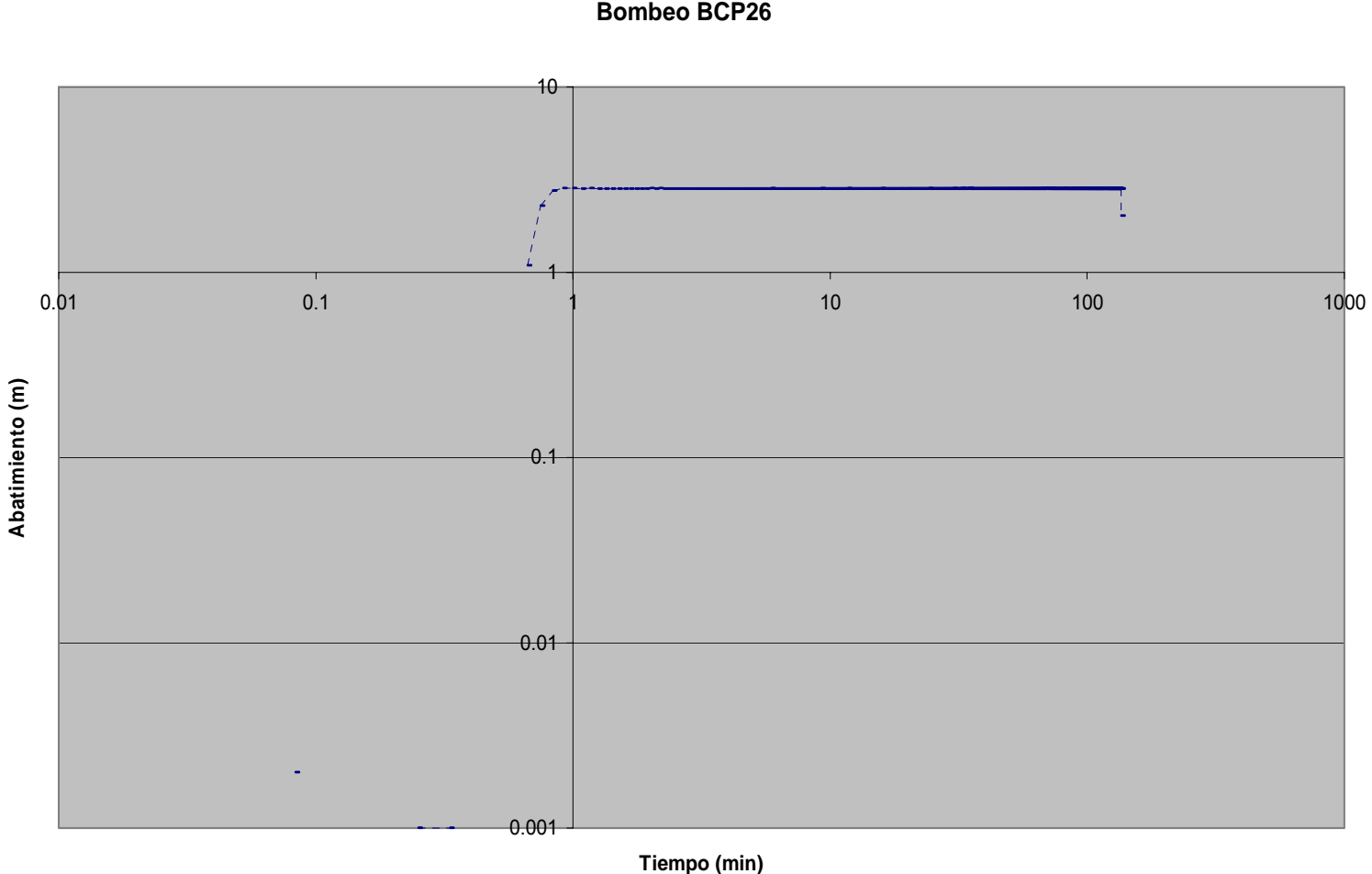
Bombeo BCP21



Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca El Edén, método Hantush-Walton.



Gráfica logarítmica de Tiempo Vs Abatimiento, correspondiente a la finca El Paraiso, método Hantush-Walton.



ANEXO D. RESULTADOS DRX

1. JDBCP8-6

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-86-1629	Cuarzo
	$\text{K}_2 (\text{Al}_{3.74} \text{Fe}_{0.26}) (\text{Si}_8 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) (\text{OH})_4$	010-76-0668	Moscovita
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-89-6426	Albita
	$\text{K Si}_3 \text{Al O}_8$	010-71-1540	Ortoclasa
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-74-1784	Caolinita
	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-03-0015	Montmorillonita
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1487	Haloisita
	$\text{Na}_{48.8} (\text{Al}_{48.8} \text{Si}_{143.2} \text{O}_{384})$	010-81-2466	Aluminosilicato de sodio

2. JDBCP12-16

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-79-1910	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2034	Moscovita
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-89-6424	Albita
	$(\text{Na}_{0.667} \text{K}_{0.333}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1631	Anortoclasa
	$\text{K}_{11.5} (\text{Al}_{11.5} \text{Si}_{20.5} \text{O}_{64})$	010-74-2935	Merlinoita
	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-58-2015	Illita
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-58-2028	Caolinita
	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-03-0010	Montmorillonita
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1487	Haloisita
	$(\text{Mg}_5 \text{Al}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-24-0506	Clinocloro

3. JDBCP22-19

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-3752	Albita
	$(\text{Na}_{0.667} \text{K}_{0.333}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	000-08-0048	Anortoclasa
	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-71-0955	Microclina
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-74-1784	Caolinita
	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-03-0010	Montmorillonita
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-13-0375	Haloisita
	$(\text{Mg}_5 \text{Al}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0853	Clinocloro

4. JDBCP26-9

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	010-76-0668	Moscovita
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-89-6423	Albita
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-58-2015	Illita
	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-76-0829	Microclina
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-58-2006	Caolinita
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-02-0233	Haloisita
	$(\text{Mg}_5 \text{Al}) (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	010-79-1270	Clinocloro

Observaciones:

- Se recomienda realizar análisis elemental a las muestras enviadas al laboratorio para corroborar la presencia de las fases reportadas.
- La fase reportada que presentó mayor coincidencia en el grupo de las esmécticas fue la montmorillonita.

ANEXO E. COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

Ver archivo adjunto en carpeta

ANEXO F MAPA GEOLOGICO

Ver archivo adjunto en carpeta

ANEXO G. MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Ver archivo adjunto en carpeta