

**MEDICION CONTINUA Y ANALISIS DE NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA
EN LOS POZOS DEL PARQUE LA FLORA EN LA PARTE ALTA DE LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA**

**SEBASTIAN YURLEVINSON GUARIN RINCON
OSCAR ALFONSO ROA PARDO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**MEDICION CONTINUA Y ANALISIS DE NIVELES DE AGUA SUBTERRANEA
EN LOS POZOS DEL PARQUE LA FLORA EN LA PARTE ALTA DE LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA**

**SEBASTIAN YURLEVINSON GUARIN RINCON
OSCAR ALFONSO ROA PARDO**

Trabajo de Grado en la modalidad de investigación para optar al título de
Ingeniero Civil

DIRECTOR
SULLY GOMEZ ISIDRO
Ingeniero Civil, PhD. – Profesor UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida, porque sin él nunca hubiese sido posible esto.

A la memoria de mi madre Alexandra Rincón, que se me acompaña desde el cielo.

A mi padre Orlando Guarín por su incondicional apoyo y sus consejos.

A mis abuelas, María Pinto y Mariela Sánchez que hicieron de mí lo que soy e inculcaron valores que me han hecho lograr metas como esta, y todas las que vienen.

A mi Abuelo Pedro Nel a quien he aprendido que con trabajo y dedicación se pueden lograr grandes cosas.

A mis tíos Vicente, Sergio, Yesid y Marco porque siempre han sido un apoyo incondicional.

A mi tía Sandra a quien sin importar la distancia siempre estuvo pendiente de mi formación, por ser esa compañera incondicional y amiga.

A mi compañero de proyecto Oscar Roa y a todos mis amigos que a través del trabajo conjunto y dedicación logramos la realizar nuestros objetivos.

Sebastián Guarín.

DEDICATORIA

A Dios primordialmente por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para ejercer este proyecto.

A mi madre FLORELBA PARDO y padre GABRIEL A. ROA, por permitirme crecer en un hogar lleno de amor, donde siempre me inculcaron las ganas de triunfar y de nunca descansar hasta llegar a la meta, además de su constante apoyo incondicional durante toda mi etapa de estudio. No hay un día en el que no le agradezca a Dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo.

A mi hermano GABRIEL H. ROA, gracias por servir de guía, por acompañarme siempre y apoyarme.

A mi novia TATIANA VELASQUEZ, compañera incondicional, gracias por tu cariño y apoyo, estos son factores fundamentales que me brindan equilibrio.

A mi compañero de proyecto de grado SEBASTIAN GUARIN, y demás compañeros, si algo me enseñó esta carrera es que existen personas valiosas, valió la pena luchar juntos por una meta, si bien a de terminar esta etapa me queda la satisfacción de haber compartido con personas tan valiosas como ustedes, les doy las gracias por su apoyo y afecto.

Oscar Roa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A nuestras familias por el apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto.

A la Ingeniera Civil PhD. – Directora del proyecto Sully Gomez Isidro, por su orientación y paciencia en el desarrollo del proyecto de investigación.

Al ingeniero Ricardo Oviedo, por colaboración en el análisis de la calidad del agua y las correcciones respectivas.

Al señor Pedro Caldas, el cual nos colaboró en el mantenimiento de las bombas peristálticas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	17
1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
1.1 DENOMINACION DE POZOS Y PROFUNDIDAD	18
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PIEZÓMETROS.	19
1.3 CARACTERISTICAS DE LOS PIEZOMETROS	20
2 GEOLOGÍA LOCAL EN LOS PIEZÓMETROS DEL PARQUE LA FLORA	21
2.1 MIEMBRO ÓRGANOS (Qbo)	21
2.2 MIEMBROS FINOS.....	22
2.3 MIEMBRO GRAVOSO (Qbg).....	22
3 HIDROGEOLOGIA.....	23
3.1 ROCAS ÍGNEAS	23
3.2 ROCAS METAMÓRFICAS.....	24
3.3 ROCAS SEDIMENTARIAS	24
4 INSTRUMENTACIÓN DE LOS PIEZOMETROS	25
4.1 EQUIPOS.....	25
4.1.1 Diver.....	25
4.1.2 Usb Diver Reading.....	26
4.1.3 Software Diver Office.....	27
4.1.4 Bomba peristáltica	27
4.1.5 Carga y funcionamiento de las bombas peristálticas	28
4.1.6 Sensor de profundidad	30
4.1.7 Conductivimetro (SevenGo™ Conductivity Meter SG3)	31
4.2 SEGURIDAD DE EQUIPOS.....	31
4.3 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LOS PIEZOMETROS	32
4.4 CALIBRACION Y ANALISIS DE ERROR DE LOS EQUIPOS.....	33
4.5 CALIBRACIÓN CONDUCTIVIMETRO SevenGo™ Conductivity meter SG3 ..	33
5. ANALISIS DE LOS NIVELES DE AGUA	34

5.1 ANÁLISIS NIVELES OCTUBRE	36
5.2 ANÁLISIS NIVELES NOVIEMBRE	36
5.3 ANÁLISIS NIVELES DICIEMBRE	37
5.4 ANÁLISIS NIVELES ENERO.	37
5.5 ANÁLISIS NIVELES FEBRERO.....	37
5.6 ANÁLISIS NIVELES MARZO.	38
6. ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA	40
7. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	41
8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS PIEZÓMETROS.....	43
8.1 RESULTADOS DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	43
8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
8.2.1 Indicador de acidez, neutralidad y alcalinidad del agua (pH).	45
8.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	46
8.2.3 Conductividad Eléctrica (CE).....	46
8.2.5 Nitritos.....	48
8.2.6 Color	49
8.2.7 Turbiedad	49
8.2.8 Solidos totales.....	50
9. CONCLUSIONES.....	52
10. RECOMENDACIONES.....	54
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características bomba peristáltica para el piezómetro superficial	28
Tabla 2. Datos anteriores proyectos.	34
Tabla 3. Lluvias mensuales acumuladas Bucaramanga.....	39
Tabla 4. Muestreo de parámetros fisicoquímicos	44
Tabla 5. Muestreo de parámetros microbiológicos.....	45
Tabla 6. Valores admisibles por las normas estandarizadas.....	46
Tabla 7. Características físicas.....	47
Tabla 8. Características microbiológicas.....	48
Tabla 9. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones en la salud humana.....	49
Tabla 10. Comparación de parámetros fisicoquímicos con la resolución 2115 de 2007. .	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Denominación de los pozos [2].	19
Figura 2. Ubicación piezómetros Parque La Flora	19
Figura 3. Disposición espacial de los piezómetros del Parque La Flora	20
Figura 4. Diver.	25
Figura 5. Baro-Diver.....	26
Figura 6. USB Diver Reading.....	26
Figura 7. 1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4T.....	27
Figura 8. 1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-24A +24-4T.	28
Figura 9. Esquema baterías recargables.....	29
Figura 10. Diagrama de Bomba piezómetro 1.....	30
Figura 11. Sensor de profundidad.....	30
Figura 12. Conductivímetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).	31
Figura 13. Antes y después de la seguridad de los piezómetros.....	32
Figura 14. Proceso de toma de muestra por la calidad del agua del piezómetro 1.....	44

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Nivel freático de los piezómetros.	35
Grafica 2. Nivel freático piezómetro profundo.	35
Grafica 3. Nivel freático piezómetro superficial.	36
Grafica 4. Temperatura piezometros.....	40
Grafica 5. Conductividad eléctrica.....	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de los piezómetros del parque La Flora [1].	60
Anexo 2. Diagrama Diver y Baro-Diver en los piezómetros.....	61
Anexo 3. Cotas nivel freático acuífero profundo de Octubre de 2013 – Abril de 2014. 62	
Anexo 4. Cotas nivel freático acuífero superficial de Octubre de 2013 - Abril de 2014....	65
Anexo 5. Temperatura acuífero superficial y profundo Octubre de 2013 – Abril de 2014.	67
Anexo 6. Métodos usados en el laboratorio para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	68
Anexo 7. Comparación de parámetros tomados de los anteriores proyectos de grado. ...	69

RESUMEN

TITULO: MEDICIÓN CONTINUA Y ANÁLISIS DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS POZOS DEL PARQUE LA FLORA EN LA PARTE ALTA DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA*

AUTORES: SEBASTIAN YURLEVINSON GUARIN RINCON; OSCAR ALFONSO ROA PARDO**

PALABRAS CLAVE: Aguas subterráneas, hidrogeología, monitoreo, acuífero, variabilidad, calidad del agua.

DESCRIPCION:

Este trabajo presenta la instrumentación, monitoreo y datos exploratorios de calidad del agua, de los piezómetros del parque La Flora de la ciudad de Bucaramanga. Los piezómetros se localizan en una formación de origen aluvial, caracterizando un acuífero libre y un acuífero confinado. Se instalaron un DIVER, equipo que toma lecturas continuas de temperatura y presión absoluta, y un BARO-DIVER equipo que registra valores de temperatura y presión barométrica con intervalos de tiempo cada 30 minutos. Para efectos del análisis de los niveles de agua en los piezómetros, se hallaron las cotas del nivel freático de los acuíferos y su fluctuación en el tiempo. Dichas cotas se obtuvieron de la diferencia de la presión barométrica y la presión absoluta, además teniendo en cuenta la longitud de las guayas y las cotas del terreno sobre las que se encuentran dichos piezómetros. El estudio se desarrolló durante seis meses comprendidos entre septiembre de 2013 y abril de 2014. Se realizaron bombeos periódicos utilizando una bomba peristáltica para extraer agua y determinar la conductividad eléctrica al estabilizarse garantizando que el agua bombeada fuera la representativa del acuífero y no la represada y acumulada en el piezómetro. Mediante un análisis de laboratorios se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de determinar si esta agua cumple con los estándares de calidad para consumo humano según las normativas vigentes.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Dir.^a Sully Gómez Isidro.

ABSTRACT

TITLE: CONTINUOUS MEASUREMENT AND ANALYSIS OF GROUND WATER LEVELS AT WELLS PARK THE FLORA IN THE UPPER PART OF THE CITY OF BUCARAMANGA *

AUTHORS: SEBASTIAN GUARIN RINCON; OSCAR ALFONSO ROA PARDO**

KEY WORDS: Groundwater, hydrogeology, monitoring, aquifer, variability, water quality.

DESCRIPTION:

This paper presents the implementation, monitoring and exploratory data quality water, piezometers in to The Flora's Park of the Bucaramanga's city. The piezometers are located in alluvial formation, characterizing a free aquifer and a confined aquifer. One DIVER team that takes continuous readings of temperature and absolute pressure, and BARO- DIVER team recorded values of temperature and barometric pressure with time intervals were installed every 30 minutes. For the analysis of water levels in the piezometers, dimensions of the level water aquifer and its fluctuation were found over time. These elevations were obtained from the difference in barometric pressure and absolute pressure, also taking into account the length of coated steel cable and the dimensions of the land on which these piezometers. The study was conducted for six months between September 2013 and April 2014. Periodic pumping were performed using a peristaltic pump to draw water and determine the electrical conductivity to stabilize ensuring that water pumped out of the aquifer and not representative of the repressed and accumulated in the piezometer. Through an analysis of the physicochemical and microbiological laboratory parameters were analyzed in order to determine if the water meets quality standards for human consumption in accordance with regulations.

* Work Degree

** School of Physics and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Dir. Isidro Gomez Sully

INTRODUCCION

Los acuíferos son un recurso hídrico de gran importancia los cuales contienen más del 95% del agua dulce disponible del planeta; la utilización de este recurso para el consumo presenta ventajas sobre otras formas de extracción, entre las que se encuentran el bajo costo que tiene la realización de pozos frente a la captación de agua y el bajo nivel de contaminación a la que está sometida, comparada con el recurso hídrico superficial.

La ciudad de Bucaramanga se encuentra en una región donde el recurso hídrico debe ser utilizado de una manera adecuada. El área metropolitana de Bucaramanga posee actualmente más de un millón de habitantes y el recurso hídrico se ha convertido en un recurso cada vez más escaso, por lo tanto se hace imprescindible llevar a cabo estudios que estén enfocados a explorar la disponibilidad y calidad del agua subterránea.

En este proyecto se obtuvieron y analizaron niveles de agua, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos además la conductividad eléctrica, para así obtener criterios de calidad teniendo en cuenta la geología, litología e hidrogeología de la zona de estudio.

1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1 DENOMINACION DE POZOS Y PROFUNDIDAD

Para el estudio de los acuíferos en la parte oriental de Bucaramanga la Universidad Industrial de Santander en conjunto con la CDMB ha construido algunos piezómetros en el Parque La Flora y Bajos de Pan de Azúcar, los cuales se han caracterizado y son útiles como indicadores de las condiciones y posibles relaciones de las dos zonas. Los piezómetros mencionados se han denominado de la siguiente forma:

Piezómetro Parque la Flora No. 1: cuenta con una profundidad de 23,93 m desde la superficie y una columna de agua de 21,14 m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero superficial.

Piezómetro Parque la Flora No. 2: cuenta con una profundidad de 50,49 m desde la superficie y una columna de agua de 20,34 m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero profundo.

Piezómetro Pan de Azúcar No. 1: cuenta con una profundidad de 19,05 m desde la superficie y una columna de agua de 8,44 m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero superficial.

Piezómetro Pan de Azúcar No. 2: el cual cuenta con una profundidad de 65,02 m desde la superficie y una columna de agua de 56,64 m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero profundo[1].

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PIEZÓMETROS.

Figura 1. Denominación de los pozos [2].

DESCRIPCIÓN PIEZÓMETRO	UBICACIÓN	COORDENADAS	COTAS-GPS	FORMACIÓN GEOLOGICA
Pan de Azúcar No. 1 (Superficial)	Bajos de Pan de Azúcar	E=1104431.516	1039.096	Roca ígnea
		N=1280788.283		
Pan de Azúcar No. 2 (Profundo)	Bajos de Pan de Azúcar	E=1105295.382	1039.324	Roca ígnea
		N=1278366.072		
Parque la Flora No. 1 (Superficial)	Parque La Flora	E=1107171.00	955.811	Aluvial (Formación Bimanga)
		N=1278000.00		
Parque la Flora No. 2 (Profundo)	Parque La Flora	E=1107283.305	955.812	Aluvial (Formación Bimanga)
		N=1278187.461		

El objeto de estudio de este proyecto son los piezómetros construidos al interior del Parque la Flora ubicado en la calle 57 entre carrera 36 y carrera 45.

Figura 2. Ubicacion piezometros Parque La Flora



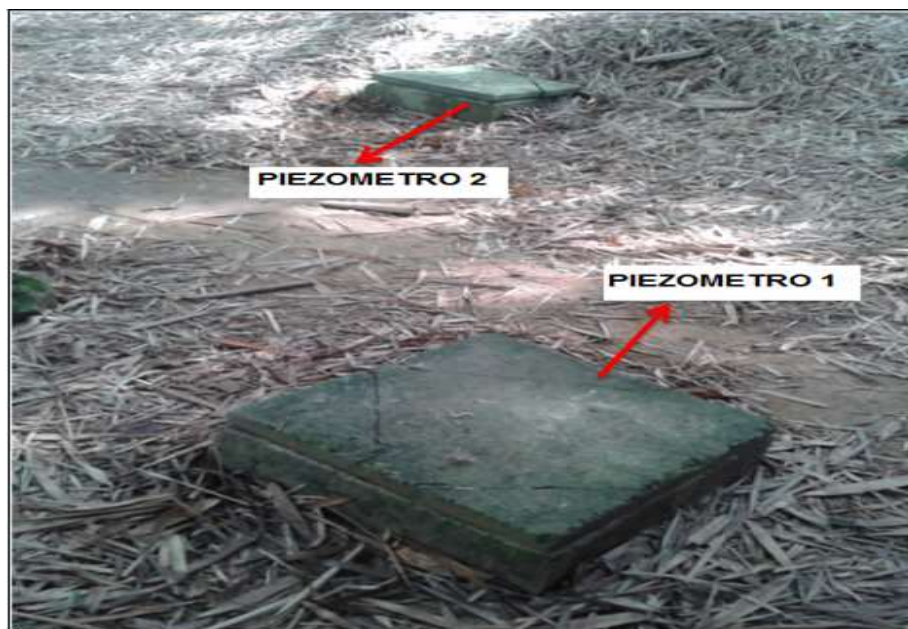
Fuente: Google Maps

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PIEZOMETROS

El piezómetro N°1 la perforación se realizó con un diámetro de 3 pulg y se revistió el piezómetro en tubería PVC de 2 pulg; los filtros tienen una longitud de 23,93 m , con un espesor de 0,5 pulg cada uno; como material de filtro contiene gravilla N°2, con un peso específico de 1,53 Ton/m³ [3].

El piezómetro N°2 con perforación de diámetro de 3” y revestida en tubería PVC de 2”; los filtros tienen una longitud de 20,4 m , con un espesor de 0,5 pulg cada uno; los cuales van desde los 30,1 m a los 50,5 m , como material de filtro contiene gravilla N°2, con un peso específico de 1,53 Ton/m³ (Ver ANEXO 1).

Figura 3. Disposición espacial de los piezómetros del Parque La Flora



2 GEOLOGÍA LOCAL EN LOS PIEZÓMETROS DEL PARQUE LA FLORA

El Área Metropolitana de Bucaramanga presenta extensiones notables de rocas sedimentarias clásticas, de edad jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al noroccidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta. La formación Girón (Jg) se ubica principalmente al occidente del Área Metropolitana de Bucaramanga, noroccidente de Piedecuesta y Norte de Floridablanca constituyendo en su mayor parte, el basamento que subyace los depósitos aluviales sobre los cuales está construida la ciudad de Bucaramanga[1].

Al norte de Bucaramanga han sido reconocidas dos unidades litológicas, de extensión bastante pequeña, denominadas formación Diamante (PCd) y formación Tiburón (TRPt). Se trata de rocas calcáreas, de edad Carbonífero y Pérmico respectivamente.

Suprayaciendo las rocas anteriores se presentan depósitos detríticos de edad Cuaternaria que geomorfológicamente conforman una terraza. Estos depósitos cubren más del 60% del área y sobre ellos está construida la mayor parte de la ciudad de Bucaramanga y su zona metropolitana.

Los depósitos Cuaternarios están formados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte de la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander. Entre estos se destaca la formación Bucaramanga conformada de base a techo por el miembro Órganos (Qbo), miembros finos (Qbf), miembro gravoso (Qbg) y miembro limos rojos (Qblr):

2.1 MIEMBRO ÓRGANOS (Qbo)

Se estima que su espesor podría superar 180 m, siendo el más potente de la formación Bucaramanga. Corresponde a una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático, en alternancia con capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura. El mayor espesor de los niveles limo arenosos se encuentra hacia la base.

Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento. Los niveles finos corresponden a arcillas arenosas y arenas arcillosas compactas con trazas de materia orgánica.

2.2 MIEMBROS FINOS

Forma capa lenticular, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos con niveles que oscilan entre 5 cm y 40 cm. La parte superior de este miembro es más arenosa y muestra alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcádicos de colores amarillentos a pardo amarillentos. Esta secuencia termina con la presencia de costras y un nivel arcilloso pardo oscuro. La parte basal de este miembro se caracteriza por ser arcillo-limoso de colores grises a verdes.

2.3 MIEMBRO GRAVOSO (Qbg)

Este miembro está ampliamente distribuido en toda la meseta de Bucaramanga. Presenta niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos de color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido con espesor variable entre 8 y 30 m. El predominio granular y el grado de meteorización medio a alto sugiere que al menos la parte superficial de este miembro tiene poca compactación y buena permeabilidad. El piezómetro superficial del parque La Flora está asentado en este miembro gravoso [1].

3 HIDROGEOLOGIA

Para tener una relación lógica del comportamiento hidroquímico del recurso hídrico en estudio es necesario hacer una descripción detallada de los componentes geoquímicos de las diferentes formaciones que se supone atraviesa el flujo. Para ello debe tomarse los componentes litológicos descritos con anterioridad en la geología y hallar su mineralogía además de su potencial de intercambio de elementos con el agua.

3.1 ROCAS ÍGNEAS

La composición química de las rocas ígneas se suele calcular como el porcentaje de los óxidos de los diferentes elementos que las componen. En función de la cantidad de sílice (óxido de silicio), componente más abundante, las rocas magmáticas pueden clasificarse en ultrabásicas, si el contenido en sílice de la roca es inferior al 45%; básicas o alcalinas (según se haga referencia a rocas plutónicas o volcánicas), si su contenido se encuentra entre el 45-52%; intermedias, cuando es entre el 52-65%; y ácidas o toleíticas (refiriéndose respectivamente a rocas plutónicas o volcánicas), cuando supera el 65%. En este caso encontramos rocas plutónicas como la cuarzomonzonita compuesta de 30 a 35% de cuarzo, 25 a 45% de plagioclasas zonada, 30 a 45% de feldespato de potasio predominantemente microclina, 3% de biotita y trazas hasta de 2% de moscovita. Los accesorios son: Apatito, óxido de hierro y Zircón, los productos de alteración son clorita, epidota y sericita. Estas son rocas con cantidades de silicio, sodio y potasio crecientes y con una mineralogía en la que predominan los feldespatos alcalinos, los piroxenos sódicos y los feldespatoides. Las rocas ígneas se dividen en básicas y ácidas se basa exclusivamente en el porcentaje de óxido de sílice. De esta manera, serán rocas básicas aquellas con menos de 55% de SiO_2 , y ácidas las que posean más del 60% en peso de SiO_2 . Otra característica distintiva de las rocas ácidas respecto a las básicas es la presencia de "cuarzo libre" o cristales de cuarzo visibles a simple vista (como en un granito). Los porcentajes presentes en esta zona ígnea son menores del 50%, situación que se ve reflejada en los pH encontrados en las aguas del área. El resto de los óxidos que componen la roca presentan un comportamiento particular respecto al porcentaje de sílice, y sus tendencias pueden ser referidas al mismo.

3.2 ROCAS METAMÓRFICAS

Su conformación es de neis semipelítico, neis hornbléndico, anfíbolita y esquisto, mármol. Se encuentran dos tipos de neis: Uno de color blanco a rosado, constituido esencialmente por plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico; el otro es un paraneis, de color gris verdoso y alternancia de bandas máficas, principalmente anfibólicas y bandas félsicas cuarzofeldespáticas. Además, hay presencia de cuarzo, moscovita, feldespatos y ferromagnesianos. La composición química volumétrica de la roca es invariante y condicionada por la química original de la roca ígnea que se presenta al oriente de la ciudad de Bucaramanga hacia el macizo de Santander.

3.3 ROCAS SEDIMENTARIAS

Existen dos grandes grupos de rocas sedimentarias: las detríticas y las de precipitación química. Otro grupo importante lo constituyen aquellas masas rocosas en las que sus constituyentes son fundamentalmente restos de organismos; estos juegan a veces papeles menos evidentes, pero no por ello menos importantes en la generación de rocas sedimentarias, muchas veces condicionando factores como el pH y eH en cuerpos de agua, y regulando entonces la precipitación química de una u otra especie mineral.

En las rocas sedimentarias detríticas es común que las partículas constituyentes se encuentren más o menos fuertemente adheridas por sustancias minerales a las que llamamos cementos. Estas sustancias llenan los vacíos que existen entre las partículas eliminando parcial o totalmente la porosidad inicial.

La zona sedimentaria del Área Metropolitana de Bucaramanga está compuesta de rocas detríticas de la siguiente manera; areniscas silíceas de grano medio del calcáreo, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo a rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los cantos están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de composición cuarzo-feldespáticamicácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de muscovita) [4].

4 INSTRUMENTACIÓN DE LOS PIEZOMETROS

Para la instrumentación de los piezómetros se utilizaron equipos que permiten el registro de presión relativa, presión absoluta, temperatura y realizando bombeos en los piezómetros tomando así el registro de la conductividad eléctrica del agua. Estos parámetros son tomados por los siguientes dispositivos:

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Diver

Es un registrador de datos que se encuentra dentro de un revestimiento cilíndrico con una argolla de suspensión en la parte superior. La argolla de suspensión se puede desatornillar, está diseñada para instalar el Diver en un pozo de monitoreo y protege el conector óptico. El material electrónico, los sensores y la batería se encuentran instaladas dentro del revestimiento y no necesitan mantenimiento. El Diver no puede abrirse, es un registrador de datos diseñado para medir los niveles de agua. Luego las mediciones se almacenan en la memoria interna del Diver. El Diver consta de un sensor de presión diseñado para medir la presión del agua, un sensor de temperatura, de una memoria para almacenar las mediciones y de una batería. El Diver es un registrador de datos autónomo que puede ser programado por el usuario (Ver figura 4).

Figura 4. Diver.



Fuente: Manual del producto

4.1.1 Baro –Diver

Este equipo mide la temperatura y la presión atmosférica. El Baro-Diver funciona como un barómetro y registra la presión atmosférica en cada sitio

de medición. Los datos de la presión atmosférica se deben utilizar para compensar las mediciones de presión registradas por los Divers para las variaciones en la presión atmosférica. Para este fin, se recomienda utilizar un Baro-Diver, que está diseñado para tomar mediciones de presión atmosférica (Ver figura 5).

Figura 5. Baro-Diver.



Fuente: Manual del producto

4.1.2 Usb Diver Reading

Dispositivo que se utiliza para conectar los equipos que se tienen en la estación hidrométrica a un PC por medio de conexión USB para poder descargar la información, reprogramar la toma de datos en la estación y para la calibración del Diver. El dispositivo cuenta con dos Terminales, uno de ellos es para conectar el Diver, el Baro Diver y el CTD Diver. El otro Terminal es una conexión USB para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador (Ver figura 6).

Figura 6. USB Diver Reading.



4.1.3 Software Diver Office

Diver office es un programa desarrollado para leer, descargar, programar y procesar la información de los equipos que se utilizan en la estación hidrométrica para la medición de niveles.

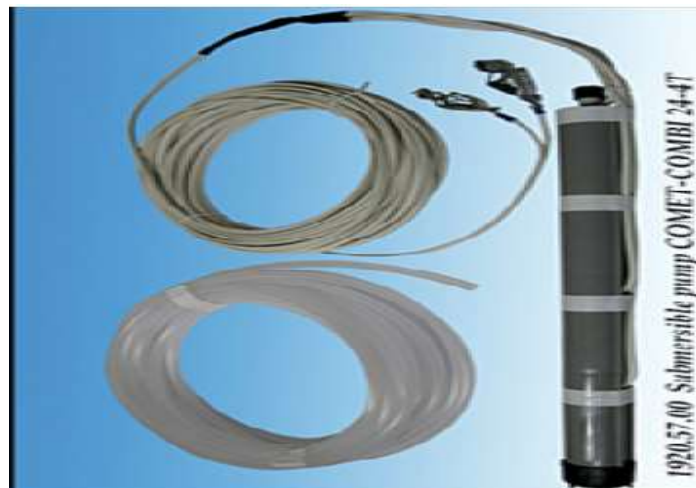
Este software fue creado por Schlumberger Wáter Services para ser utilizado con los equipos Diver, Baro Diver, CTD Diver y OTD Diver los cuales son producidos por Eijkelkamp Agrisearch Equipment. Diver-Office.

El manual para Diver-office proporciona una completa y detallada información sobre cada una de las operaciones que este ofrece y como llevar a cabo cada una de estas [5].

4.1.4 Bomba peristáltica

Los Piezómetros que se encuentran en los pozos de estudio tienen un Diámetro de 2" para ello se necesita un equipo de bombeo que pueda ser introducido sin ningún problema a dichos piezómetros para el abatimiento y limpieza de los pozos (Ver figura 7 y 8).

Figura 7. 1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4T.



Fuente: Manual del producto

Tabla 1 Características bomba peristáltica para el piezómetro superficial

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

Figura 8. 1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-24A +24-4T.



Fuente: Manual del producto

4.1.5 Carga y funcionamiento de las bombas peristálticas

El funcionamiento de la Bomba Peristáltica depende de un tipo de Baterías recargables de Gel Acido de 12 V y 12 A, los cuales se deben conectar en serie para obtener los 24 voltios que requiere cada Bomba Peristáltica. Para la bomba tipo “1920.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4T” se requiere un par de Baterías ya que su sistema cuenta con una sola bomba, por lo contrario en la bomba tipo “1930.57.00 Submersible pump COMET-COMBI 24-4A+24-T” se requieren dos pares de Baterías ya que su sistema cuenta con dos bombas (Ver figura 9).

La recarga de las baterías se debe hacer en serie, y durante un tiempo igual o superior a seis horas (recomendado por el fabricante) con su respectivo cargador.

Para cada Bomba Peristáltica el intervalo de uso recomendado es 5 minutos de bombeo del agua y 10 minutos para la refrigeración de esta.

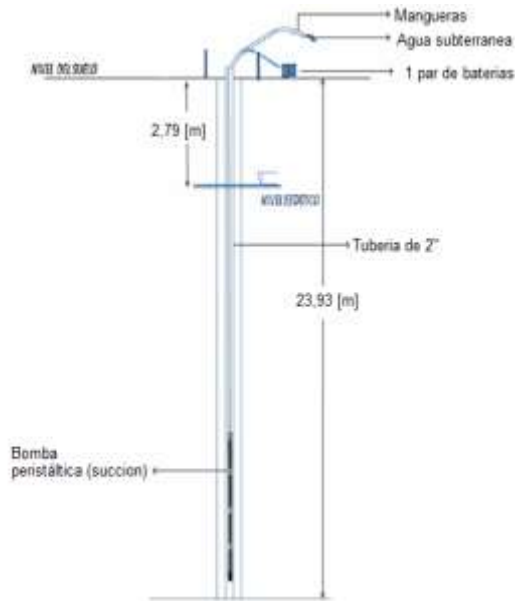
La capacidad del bombeo de agua es inversamente proporcional a la profundidad a la cual esté trabajando la bomba [2].

Figura 9. Esquema baterías recargables.



En un principio se habían planeado hacer el bombeo de los dos piezómetros para el posterior estudio de calidad de agua y su respectiva conductividad eléctrica pero hubo una serie de problemas con el funcionamiento de la bomba peristáltica de mayor profundidad (ver figura 9), ya que esta presentaba un deterioro en su mecanismo y no se pudo utilizar para tales fines, esta bomba es indispensable para el abatimiento del piezómetro profundo ya que el nivel del agua de este pozo está aproximadamente a 30 m y se necesita una bomba doble para que la primera unidad succione el agua y la segunda impulse el líquido hasta la superficie. Por lo tanto, se realizó únicamente el bombeo del piezómetro superficial cuyo nivel se encuentra a 2,79 m, para la posterior toma de muestra de la calidad del agua y conductividad eléctrica (Ver figura 10).

Figura 10. Diagrama de Bomba piezómetro 1.



4.1.6 Sensor de profundidad

Este equipo fue utilizado para hacer la medición de niveles en los piezómetros estudiados, consta de una cinta métrica con una longitud total de 100 m enrollada en su totalidad, al final de la cinta se encuentra un electrodo, el cual al tener contacto con el agua, activa un sistema de alumbramiento que tiene el sensor al lado derecho y emite un sonido monofónico “Bip”. Además el sensor cuenta con un sistema de freno en la parte izquierda del mismo para controlar la cinta en su desenrolle (Ver Figura 11).

Figura 11. Sensor de profundidad.



4.1.7 Conductivimetro (SevenGo™ Conductivity Meter SG3)

Es un medidor de conductividad eléctrico portable que toma una medida en un rango de 0.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$...500 mS/cm , con un límite de error de $\pm 0.5\%$ del valor medido, y tiene una duración de baterías mayor a 500 horas de trabajo (Ver figura 12). Este equipo es de suma importancia ya que al estabilizarse la conductividad eléctrica del agua se toma de muestra y se podrá llevar al laboratorio para su respectivo análisis, Este aparato fue utilizado a partir del mes de marzo ya que no se encontraba disponible, por lo tanto la muestra de calidad de agua fue tomada en dicho mes y la toma periódica de conductividad eléctrica del piezómetro superficial fue tomada a partir de dicha fecha.

Figura 12. Conductivimetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).



4.2 SEGURIDAD DE EQUIPOS

En los piezómetros del parque La Flora se instaló dos rejillas metálicas con sus respectivos candados para la protección contra el vandalismo y pérdida de los equipos (Ver figura 13).

Figura 13. Antes y después de la seguridad de los piezómetros.



4.3 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LOS PIEZOMETROS

Se determinó instrumentar los dos piezómetros del parque La Flora para hacer la toma de datos cada 30 minutos del 28 de septiembre de 2013 al 18 de abril de 2014, debido a que la fluctuación de los niveles de agua son mínimos [6], con este criterio se ubicaron los equipos (Baro-Diver, Diver) dentro de los piezómetros con una columna de agua sobre estos en promedio de 5 m , garantizando así que el Diver siempre estará sumergido, de acuerdo a las condiciones que se fueran presentando en los piezómetros como las variaciones bruscas de nivel, etc. De acuerdo a los registros obtenidos de presión, temperatura y conductividad, se estudiaron y analizaron para determinar su comportamiento en el tiempo.

La resta de los datos proporcionados por los Diver's da la altura de la columna de agua, ya que el Baro-Diver registra la presión barométrica o atmosférica y el Diver la presión absoluta en este caso del agua, mientras más alta sea la columna de agua, mayor será la presión medida.

$$H = P_{abs}(Diver) - P_{atm} (Baro - Diver)$$

Todos los Divers miden la temperatura, para este proyecto nos proporciona información sobre flujos de aguas subterráneas ya que el Baro-Diver nos da la temperatura ambiente y el Diver que se encuentra sumergido nos da la del flujo de agua. La temperatura se mide utilizando un sensor semiconductor, este sensor no sólo mide la temperatura, sino que también utiliza el valor de la temperatura para al mismo tiempo compensar el sensor de presión.

La longitud de la guaya de seguridad en acero inoxidable recubierta en material plástico que sostiene el Diver del piezómetro 1 es de 6.90 m y la longitud de la guaya que sostiene el Diver del piezómetro 2 es de 35 m, el Baro-Diver se encuentra a 0.1 m de la guaya del piezómetro 2; estos datos de longitud son referenciados desde el nivel de la superficie (Ver ANEXO 2).

4.4 CALIBRACION Y ANALISIS DE ERROR DE LOS EQUIPOS

Al profundizar en el tema y al realizar más pruebas, a diferentes intervalos de tiempo, inclusive en los mismos piezómetros, se llegó a la conclusión que los Diver a mayor profundidad toman datos más exactos y que estos errores son admisibles por lo tanto se instalaron en los piezómetros tomando lecturas continuas de 30 min y a una profundidad promedio de 5 m el día 28 de septiembre de 2014.

El día 28 de enero de 2014 se encontró que el Divers instalado en el piezómetro 1 se encontraba averiado y no se pudo obtener los datos registrados durante los meses de diciembre de 2013 y enero de 2014 de dicho piezómetro, por lo tanto se procedió a instrumentar otro Diver y se realizó el 18 de febrero de 2014 una prueba de toma de datos cada minuto arrojando como resultado un error promedio en los niveles de agua de 0.72% comprobando así, que se podía instalar el Divers y proceder con la toma de datos de los siguientes meses.

4.5 CALIBRACIÓN CONDUCTIVIMETRO SevenGo™ Conductivity meter SG3

Se procedió a su calibración siguiendo los pasos determinados en el manual del producto utilizando un estándar para calibración de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para cada estándar el medidor tiene programadas tablas de compensación de temperatura automática, se introduce el electrodo de conductividad en el estándar de calibración definido y por defecto, el medidor de conductividad SevenGo™ llega al punto final automáticamente una vez que la señal se ha estabilizado.

5. ANALISIS DE LOS NIVELES DE AGUA

La tabla 2 contiene un registro comparativo con los datos significativos de los anteriores proyectos de grado sobre los piezómetros del parque La Flora.

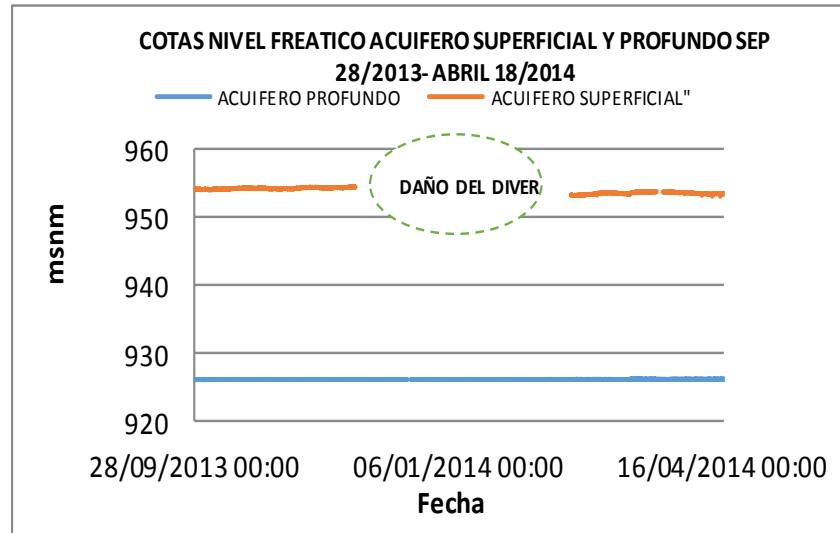
Tabla 2. Datos anteriores proyectos.

		COTAS [msnm]	
		PIEZOMETRO PROFUNDO	PIEZOMETRO SUPERFICIAL
MARTINEZ PARDO 2009	Mayo 2009-agosto 2009.	920,94 - 921,31	
JIMENEZ, COLMENARES 2009	Junio 2008.	925,70	954,87
	Agosto 2008.	925,69	954,87
	Octubre 2008.	925,62	954,90
CORREA, MONTAÑO 2011	Agosto 2010-feb 2011.	920,94 - 921,31	
BARRERA, RUIZ 2012	Junio de 2012.	925,62	955,08
GUARIN, ROA 2014	Sept 2013-Abril 2014.	925,97-926,08	954,45 - 953,04

La medición de niveles de agua se registró desde el día 28 de septiembre de 2013 hasta el día 18 de abril de 2014 en intervalos de 30 minutos para cada uno de los piezómetros del parque La Flora. Se hallaron las cotas del nivel freático, utilizando las cotas de la superficie de los piezómetros, la longitud de la guaya y la altura del nivel de agua.

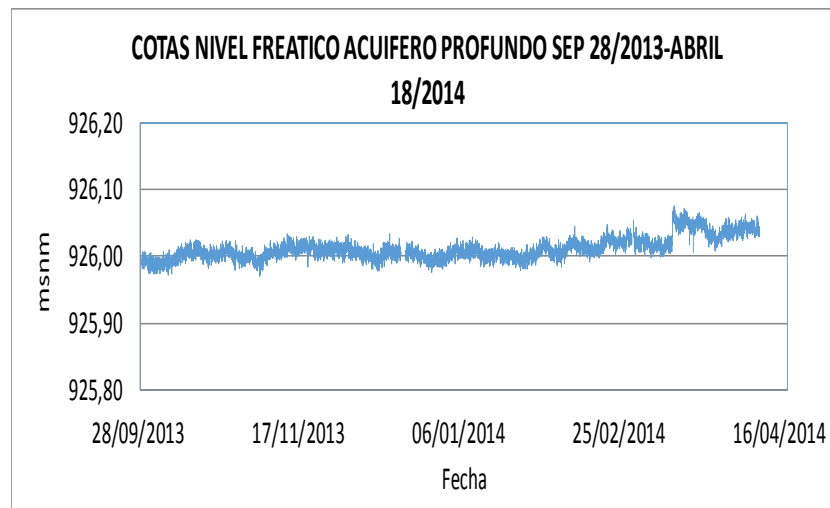
$$Cota NF = Cota P1 - L guaya + H agua$$

La diferencia de cotas del nivel freático de los dos piezómetros del parque la flora durante la toma de datos es aproximadamente de 30 metros (Ver grafica 1).



Grafica 1. Nivel freático de los piezómetros.

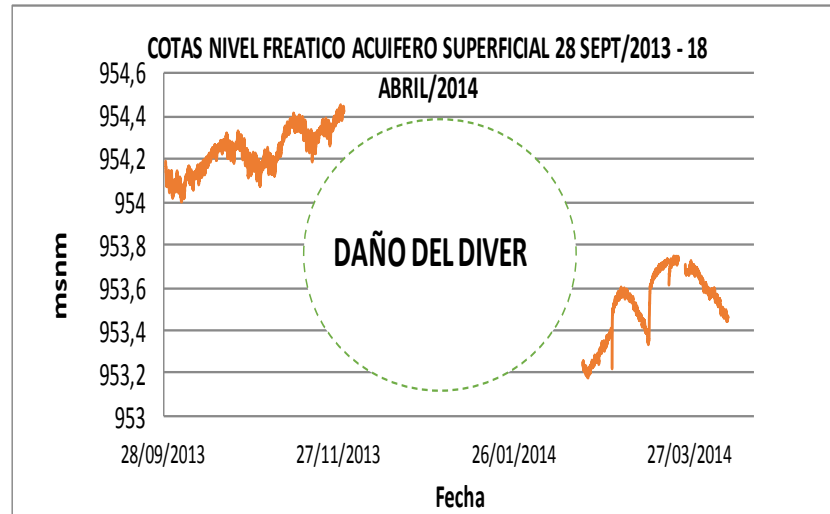
Se observa que en los datos medidos del piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.97 msnm y una cota máxima de 926.076 msnm, presentándose una diferencia de 10 centímetros en el nivel del agua, durante los meses que duró la medición del proyecto se evidencia un aumento del nivel del agua en el piezómetro (Ver grafica 2).



Grafica 2. Nivel freático piezómetro profundo.

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 953.044 msnm y una cota máxima de 954.452 msnm, presentándose una diferencia de cota de 1.408 metros durante los meses que duró la medición del proyecto.

En los meses de diciembre y enero no se tomaron datos debido al daño de uno de los equipos, y en estos meses los niveles descendieron aproximadamente en 1 metro, debido probablemente a la época de verano que se presentó (Ver grafica 3).



Grafica 3. Nivel freático piezómetro superficial.

5.1 ANÁLISIS NIVELES OCTUBRE

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.972 msnm y una cota máxima de 926.025 msnm, notándose una diferencia de 5.3 centímetros en el nivel del agua durante el mes de octubre, presentándose un leve incremento a mediados de mes (Ver ANEXO 3).

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 954.003 msnm y una cota máxima de 954.330 msnm, notándose una diferencia de 32,7 centímetros durante el mes de octubre, presentándose un incremento relativo a partir del día 4 debido presuntamente a las lluvias en este tiempo (Ver ANEXO 4).

5.2 ANÁLISIS NIVELES NOVIEMBRE.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.970 msnm y una cota máxima de 926.034 msnm, notándose una diferencia

de 6.4 centímetros durante el mes de noviembre, presentándose un leve incremento mínimo a lo largo del mes.

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 954.124 msnm y una cota máxima de 954.452 msnm, notándose una diferencia de cota de 32.8 centímetros durante el mes de octubre, presentándose un incremento relativo a partir del día 6 debido presuntamente a las lluvias en este tiempo.

5.3 ANÁLISIS NIVELES DICIEMBRE.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.976 msnm y una cota máxima de 926.034 msnm, notándose una diferencia de 5.8 centímetros durante el mes de diciembre, presentándose un leve incremento a lo largo del mes, salvo el día 18 de diciembre que se realizó un bombeo y por lo tanto la gráfica quedó dividida.

5.4 ANÁLISIS NIVELES ENERO.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.979 msnm y una cota máxima de 926.029 msnm, notándose una diferencia de 5.0 centímetros durante el mes de enero, presentándose un leve incremento a lo largo del mes, en los días 7, 16 y 31.

5.5 ANÁLISIS NIVELES FEBRERO.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.984 msnm y una cota máxima de 926.095 msnm, notándose una diferencia de 11.1 centímetros durante el mes de febrero, presentándose un leve incremento a lo largo del mes.

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 953.180 msnm y una cota máxima de 953.503 msnm, notándose una diferencia de 32.3 centímetros durante el mes de febrero, presentándose un incremento a lo largo del mes probablemente por las lluvias presentadas.

5.6 ANÁLISIS NIVELES MARZO.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 925.998 msnm y una cota máxima de 926.076 msnm, notándose una diferencia de 7.8 centímetros durante el mes de marzo, presentándose un incremento aproximado de 3 centímetros a mediados del mes.

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 953.336 msnm y una cota máxima de 953.744 msnm, notándose una diferencia de 40.8 centímetros durante el mes, presentándose un incremento en el nivel de agua del piezómetro a partir del día 12 del mes de marzo debido a las lluvias.

5.7 ANÁLISIS NIVELES ABRIL.

Se observa que en el piezómetro profundo hay una cota mínima del nivel freático de 926.024 msnm y una cota máxima de 926.068 msnm, notándose una diferencia de 4.4 centímetros durante el mes de abril, presentándose un incremento leve a lo largo del mes.

Se observa que en el piezómetro superficial hay una cota mínima del nivel freático de 953.355 msnm y una cota máxima de 953.620 msnm, notándose una diferencia de 26.5 centímetros durante el mes, presentándose un descenso en el nivel de agua del piezómetro hasta el día 13 de abril y partir de ahí se evidencia un aumento debido a las lluvias en semana santa probablemente, los cortes en la gráfica se deben a los bombeos que se realizaron para la toma de conductividad eléctrica del agua.

Los incrementos y decrementos en los niveles de cota en los acuíferos mencionados anteriormente se relacionan a las lluvias presentadas durante los meses de estudio del proyecto (Ver tabla 3).

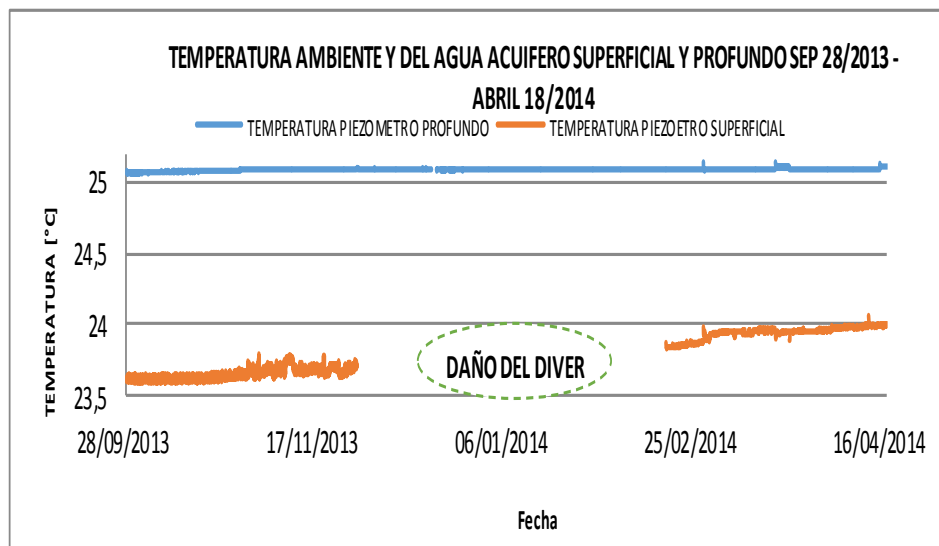
Tabla 3. Lluvias mensuales acumuladas Bucaramanga.

MES	LLUVIAS [mm]
2013	
Octubre	120
Noviembre	110
Diciembre	30
2014	
Enero	65
Febrero	150
Marzo	40
Abril	70

Fuente: Autores, IDEAM.

6. ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA

Los Diver además de presiones toman temperatura, pudiendo obtener tanto la temperatura del agua del acuífero como la temperatura ambiente hallada con del Baro-Diver, encontrándose una temperatura más elevada en el piezómetro profundo, inclusive mayor que a temperatura ambiente, y una temperatura menor en el piezómetro superficial, aunque más variable. La temperatura ambiente si tiene fluctuaciones más pronunciadas que dependen de la hora del día (Ver figura 4).



Grafica 4. Temperatura piezómetros.

La Temperatura del agua del piezómetro profundo fluctúa entre 25,14 °C y 25,06 °C con un incremento de 0,08 °C, se podría decir que la temperatura del agua en el piezómetro se mantiene constante.

La temperatura del agua del piezómetro superficial fluctúa entre 24,06 °C y 23,59 °C, encontrando un delta de temperatura de 0,47 °C, notándose un incremento variado, aunque de menor valor que el piezómetro profundo.

La temperatura ambiente tiene valores que van desde 24,78 °C a 21,66 °C, habiendo un gradiente de temperatura de 3,06 °C, la temperatura ambiente es la que más varía con el tiempo. Se evidencia que la temperatura ambiente dada por el Baro Diver es la que más fluctúa, mientras la temperatura del piezómetro superficial es la más fría y la más cálida es la del piezómetro profundo. (Ver ANEXO 5)

7. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

Como ya se ha mencionado anteriormente solo se realizó el bombeo del piezómetro superficial y los datos de conductividad eléctrica obedecen al mismo (Ver grafica 5).

El 26 de marzo del 2014 se llevó una muestra al laboratorio para analizar la calidad del agua del piezómetro superficial donde se midió la conductividad eléctrica arrojando un valor de 152,3 $\mu\text{s/cm}$.

El 9 de abril del 2014 se realizó el bombeo durante 39 minutos en el cual se sacaron 5 muestras del pozo para la posterior toma de conductividad y al estabilizarse dio un valor de 162,567 $\mu\text{s/cm}$, donde se demostró que los valores anteriores habían dado muy bajos por que no estaba calibrado el conductivimetro.

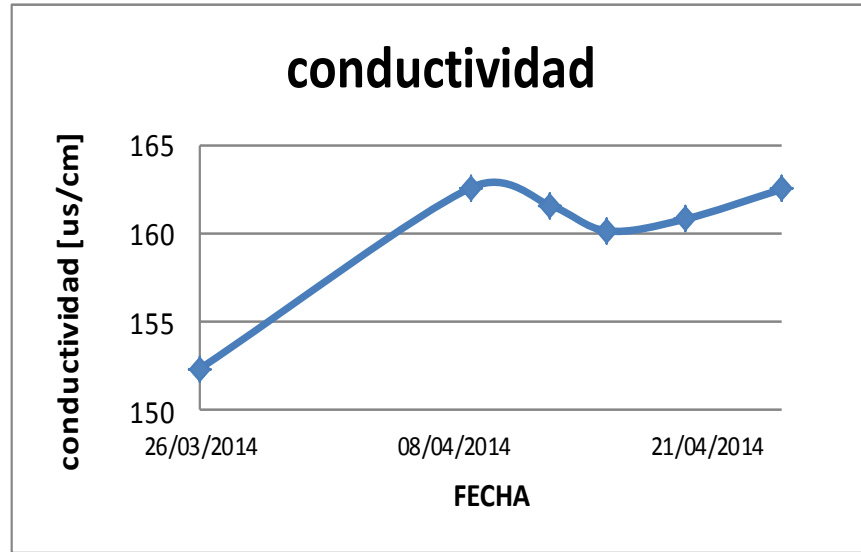
El 13 de abril del 2014 se realizó el bombeo durante 30 minutos en el cual se sacaron 4 muestras del pozo para la posterior toma de conductividad y al estabilizarse dio un valor de 161,567 $\mu\text{s/cm}$.

El 16 de abril del 2014 se realizó el bombeo durante 32 minutos en el cual se sacaron 4 muestras del pozo para la posterior toma de conductividad y al estabilizarse dio un valor de 160,1 $\mu\text{s/cm}$.

El 20 de abril del 2014 se realizó el bombeo durante 43 minutos en el cual se sacaron 5 muestras del pozo para la posterior toma de conductividad y al estabilizarse dio un valor de 160,767 $\mu\text{s/cm}$.

El 25 de abril del 2014 se realizó el bombeo durante 43 minutos en el cual se sacaron 5 muestras del pozo para la posterior toma de conductividad y al estabilizarse dio un valor de 162,467 $\mu\text{s/cm}$.

Durante la toma de conductividad a partir del 9 de abril de 2014 se logró medir con la sonda los niveles antes y después de los bombeos y se evidencia que el piezómetro superficial tiene una recarga aproximada de 28 centímetros en 6 minutos.



Grafica 5. Conductividad eléctrica.

8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS PIEZÓMETROS

La contaminación del agua puede definirse como la modificación de las propiedades físicas, químicas o biológicas que restringen su uso. Las sustancias que modifican la calidad del agua de los acuíferos se dividen en: las presentes en la naturaleza y en aquellas producidas por las actividades del hombre (antropogénicas).

Las fuentes de contaminación se pueden originar en la superficie del terreno, por ejemplo, la agricultura; en el subsuelo por arriba del nivel freático, por ejemplo, basureros a cielo abierto; y en el subsuelo por debajo del nivel freático, como es el caso de pozos abandonados.

Calidad del Agua: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

8.1 RESULTADOS DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA

Para realizar un diagnóstico de la situación actual de la calidad del agua subterránea en los piezómetros, fue necesario efectuar un muestreo en campo y un análisis de laboratorio.

El muestreo en campo se llevó a cabo el día miércoles 26 de marzo de 2014 mediante un bombeo escalonado el cual consiste en bombear durante 3 minutos y dejar descansar la bomba peristáltica durante 6 minutos, ya que la bomba no trabaja en su totalidad, porque en su mecanismo interno consta de cuatro unidades de las cuales solo funcionan dos, por lo tanto se disminuía y se limitaba el funcionamiento descrito en la especificaciones del fabricante.

Ya efectuando el bombeo se procede a la toma de conductividad eléctrica, la cual se debe estabilizar para asegurarnos que la muestra sea del acuífero en cuestión y no agua estancada o contaminada dentro del piezómetro (Ver figura 14).



Figura 14. Proceso de toma de muestra par la calidad del agua del piezómetro 1.

La tabla 4 presenta los resultados físicos, químicos y microbiológicos. Los análisis de laboratorio fueron realizados en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander, acreditado por el IDEAM según la Resolución No 1659 de 2011 y autorizado por el Ministerio de Protección Social mediante la Resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano.

Tabla 4. Muestreo de parámetros fisicoquímicos

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	(unidades de pH)	6,6
Turbiedad	(NTU)	12,5
Color	(UPC)	90
Conductividad	(us/cm)	152,3
Hierro Total	(mg Fe/L)	2,75
Nitritos	(mg NO ₂ -/L)	0,01
Sulfatos	(mg SO ₄ -2/L)	6,14
Cloruros	(mgCL-/L)	26,61
Dureza Total	(mg CaCO ₃ /L)	20,33
Alcalinidad Total	(mg CaCO ₃ /L)	40,43
Solidos Totales	(mg/L)	86
Demanda Bioquímica De Oxígeno	(mg O ₂ /L)	10

Tabla 5. Muestreo de parámetros microbiológicos.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Recuento Estandar	(UFC /100 ml)	745
Coliformes Totales	(UFC /100 ml)	740
E. Coli	(UFC /100 ml)	30

8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de establecer el grado de contaminación y determinar si las aguas subterráneas son aptas para el consumo humano, se analizan los principales parámetros físico-químicos y microbiológicos del piezómetro superficial del parque La Flora.

8.2.1 Indicador de acidez, neutralidad y alcalinidad del agua (pH).

Los valores de pH indican condiciones acidas ($\text{pH} < 7$) (ver tabla 4), que pueden ser causadas por disolución de rocas, descomposición de materia orgánica, sin embargo este valor se encuentra entre los valores admisibles por las normativas (ver tabla 6), Con base en lo anterior, se puede inferir que el pH no tiene implicación en términos de salud pública, excepto aquellos valores que estén por debajo de 3 y por encima de 11, lo cual podría causar irritación en la piel o en los ojos [7] y podría indicar la presencia de efluentes industriales.

Tabla 6. Valores admisibles por las normas estandarizadas.

Parámetros	Ras	EPA	OMS	Brasil
pH	6.5-9	6.5-8.5	6.5-9.5	6 -9 .
Nitratos	10	10	50 a corto plazo	10
OD	>4			>6
DBO	3			3
CT	0	0	0	
E.coli	0	0	0	

FUENTE: Castillo, Hernández, 2013.

8.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Este parámetro químico representa la cantidad de oxígeno necesario para que una población microbiana establezca la materia orgánica biodegradable presente en la muestra; refleja el contenido de materia orgánica en las aguas y da un indicio del consumo de oxígeno disuelto [7].

En la tabla 4 se observa que la DBO es de 10 mg O₂/L, según las normativas las fuentes se consideran de calidad deficiente si obtienen valores mayores de 3 mg O₂ /L en la DBO (Ver tabla 5).

8.2.3 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad que tienen las sales inorgánicas para conducir la corriente eléctrica, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas mayor será la conductividad. En general, la CE se incrementa conforme aumenta la temperatura.

En los resultados de laboratorio se observa un valor de 152,3 μ s/cm, según la normativa los valores admisibles de conductividad eléctrica está entre 50 y 1000 μ s/cm, (ver tabla 7) por lo tanto este valor está en el rango, aunque el resultado de este parámetro por sí solo no asegura que el agua esté contaminada.

Tabla 7. Características físicas.

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
Color Verdadero	Unidades de Platino Coblato (UPC)	≤ 15
OLOR Y SABOR		Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)	≤ 2
Sólidos Totales *	mg/L	≤ 500
Conductividad *	micromhos/cm	50 - 1000

*Valores tomados del ARTÍCULO 7º del DECRETO 445 DE 1998 (MARZO 10)

FUENTE: ARTÍCULO 2º MAVDT (2007).

8.2.4 Coliformes Totales, Recuento Estándar y E. Coli

El grupo coliformes es un indicador de contaminación fecal, se presenta en gran cantidad en las heces humanas y tienen resistencia a la mayoría de bacterias patógenas intestinales. No obstante, si una muestra señala ausencia de coliformes, ésta podría contener patógenos [8].

Los principales indicadores de contaminación fecal son: coliformes totales (CT), coliformes fecales y Escherichia Coli. Los coliformes totales comprenden ciertas especies bacterianas pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, de morfología bacilar y dentro de este grupo forman parte varios géneros; Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter. Los coliformes fecales son aquellos de origen intestinal, comprendidos dentro del grupo de coliformes totales. La Escherichia coli es la principal bacteria del grupo coliformes fecales y se encuentra en aguas residuales, efluentes tratados y aguas naturales sujetas a contaminaciones recientes. A diferencia de los coliformes totales y fecales, el E. Coli es la única que da garantía de contaminación exclusivamente fecal [8].

En el análisis microbiológico se llevó a cabo un recuento estándar que incluye coliformes totales y bacterias de origen fecal, el cual es útil para evaluar el estado del agua en su origen.

El valor aceptable, según Decreto 1594/84 y Resolución 2115 de 2007, es de 100 UFC en 100 mL de agua; por consiguiente, se puede decir que la muestra

extraída del piezómetro tiene contaminación microbiológica, ya que arrojo un valor de 745 UFC /100 ml, (ver tabla 4) Sin embargo, este resultado no garantiza la presencia de contaminación fecal.

La presencia de coliformes totales y E. Coli, indica que el agua contiene materia fecal de seres humanos u otros animales de sangre caliente, y por tanto, existe contaminación en el agua subterránea que puede ocasionar enfermedades a quienes consumen el recurso en el área de estudio.

Se observó que la muestra tiene indicios de contaminación por materia fecal ya que los coliformes totales fueron de 740 UFC /100 ml y E. Coli de 30 UFC /100 ml (ver tabla 5), y según la normativa el valor admisible es cero para el abastecimiento doméstico (Ver tabla 6 y 8), por tanto la muestra de agua, según esta consideración, no es apta para el consumo humano directo y su calidad es deficiente.

En general, se observa la existencia de un foco de contaminación por materia fecal, debido presuntamente a la absorción de tanques sépticos, también se puede atribuir al arrastre de materia fecal de forma natural hacia la fuente en época de invierno, basureros a cielo abierto, o infiltraciones del sistema de alcantarillado, etc.

Tabla 8. Características microbiológicas.

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

FUENTE: ARTÍCULO 11º MAVDT (2007).

8.2.5 Nitritos

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno, los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En aguas subterráneas, el incremento de los niveles de nitratos se debe a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas [13].

Según el muestreo la cantidad de nitritos en el agua es de 0,01 mg/L (ver tabla 4) y la normativa dice que el valor admisible es de 0,1 mg/L (ver tabla 9), por lo tanto cumple con esta norma.

Tabla 9. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones en la salud humana.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos y sus implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO ₂ -	0,1
Nitratos	NO ₃ -	10
Fluoruros	F-	1

FUENTE: ARTÍCULO 6º MAVDT (2007).

8.2.6 Color

El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus o turbas, de plancton, restos vegetales y residuos industriales. El color aparente del agua engloba no solo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión; este se evalúa en la muestra original, sin filtrado ni centrifugado. El color real es el que se obtiene tras la filtración de la muestra y es medido con un espectrofotómetro [14].

Según el resultado del laboratorio en cuanto al color la muestra de agua no cumple con la normativa ya que presenta un valor de 90 UPC y según el artículo 2 de la resolución número 2115 (junio 22 de 2007) el valor admisible para el color es menor o igual a 15 UPC (ver tabla 6).

8.2.7 Turbiedad

Se entiende por turbidez o turbiedad debido a la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión presente el agua más sucia parecerá ésta y más alta será su turbidez.

Este parámetro se considera un buen indicador de la calidad del agua, a medida que la turbidez aumenta, menor será su calidad. Un alto nivel de turbidez puede presentar graves problemas para la salud y generar dificultades en su proceso de tratamiento [15].

Según el resultado del laboratorio en cuanto a la turbiedad la muestra de agua no cumple con la normativa ya que presenta un valor de 12,5 Unidades nefelométricas de turbidez (UNT) UPC y según el artículo 2 de la resolución número 2115 (junio 22 de 2007) el valor admisible para la turbiedad es menor o igual a 2 Unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (Ver tabla 7), sin embargo en el agua subterránea la turbiedad es afectada por una mala limpieza del pozo o porque las rejillas de los piezómetros dejan pasar los materiales finos de la formación geológica.

8.2.8 Sólidos totales

Los sólidos totales disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor [16].

Según el resultado del laboratorio en cuanto a los sólidos totales la muestra de agua cumple con la normativa ya que presenta un valor de 86 mg/L y según el artículo 7 del decreto 445 de 1998 (marzo 10) el valor admisible para los sólidos totales es menor o igual a 500 mg/L (Ver tabla 7).

La tabla 10 muestra los diferentes valores admisibles por el ARTÍCULO 7º de la resolución número 2115 (junio 22 de 2007) del ministerio de la protección social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en comparación con los valores obtenidos en el laboratorio para la calidad del agua del piezómetro superficial del parque la flora, donde se evidencia que los parámetros ALCALINIDAD TOTAL, CLORUROS, DUREZA TOTAL Y SULFATOS cumplen con la normativa, en contraste con el parámetro HIERRO TOTAL que no cumple con esta normativa.

Tabla 10. Comparación de parámetros fisicoquímicos con la resolución 2115 de 2007.

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)	resultado laboratorio	cumple
Calcio	Ca	60		
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200	40,43	SI
Cloruros	Cl ⁻	250	26,61	SI
Aluminio	Al ³⁺	0,2		
Dureza Total	CaCO ₃	300	20,33	SI
Hierro Total	Fe	0,3	2,75	NO
Magnesio	Mg	36		
Manganeso	Mn	0,1		
Molibdeno	Mo	0,07		
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250	6,14	SI
Zinc	Zn	3		
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5		

Los métodos por los cuales el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander, se basaron para realizar el muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son señalados en el anexo 6.

En el anexo 7 se evidencia la disminución de contaminantes o la mejora de la calidad del agua del piezómetro superficial del parque La Flora en comparación con los anteriores proyectos de grado, en cuanto a algunos parámetros de calidad de agua.

9. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se instrumentaron y monitorearon desde septiembre del 2013 hasta abril del 2014 los dos piezómetros construidos por la CDMB con asesoría del grupo GPH-UIS en el Parque La Flora de Bucaramanga. Los equipos utilizados para ello fueron un Baro-Diver que registra la presión atmosférica y en cada piezómetro un Diver para la medición de presiones absolutas y temperatura de los niveles de agua, estos datos se tomaron con un intervalo de 30 minutos. Se evidencia un descenso en el nivel del agua del piezómetro superficial aproximadamente de un metro entre los meses de diciembre de 2013 y enero de 2014 probablemente debido a la época de verano que se presentó, e indicando la posibilidad que este acuífero responde de manera directa a la recarga de la precipitación local, este piezómetro registro durante la toma de datos una cota mínima del nivel freático de 953,044 msnm y una cota máxima de 954,452 msnm, presentándose una diferencia de cota de 1,408 metros.

Analizando los datos tomados entre septiembre de 2013 y abril de 2014 se observa que los niveles de agua en el piezómetro profundo presenta un ascenso de 10 centímetros, obteniéndose una cota mínima del nivel freático de 925,97 msnm y una cota máxima de 926,076 msnm. La pequeña fluctuación puede deberse a que este acuífero no depende de manera directa de las precipitaciones locales y su recarga se presenta sobre los 1800 msnm según (Gómez-Colegial, 2003).

Se constató que la temperatura en el piezómetro profundo se mantuvo en un valor relativamente constante de 25,06 °C a 25,14 °C, siendo esta temperatura mayor que la temperatura ambiente que varía entre 24,72 °C y 21,66 °C, además de ser mayor que la registrada en el piezómetro superficial fluctuando esta entre 23,59 °C y 24,06 °C, esto se debe al gradiente geotérmico que presenta el agua subterránea con la profundidad.

La conductividad eléctrica del agua del acuífero superficial oscila alrededor de los 160 $\mu\text{s}/\text{cm}$, este valor está ha tenido una variabilidad de acuerdo a los anteriores proyectos de grado desde 164 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dado por (ARRIETA, REYES 2004), hasta 222 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dado por (JIMENEZ, COLMENARES 2009), podría concluirse que en este acuífero el contenido de minerales y sales disueltas es bajo.

Se observó que la muestra tiene indicios de contaminación por materia fecal ya que los coliformes totales fueron de 740 UFC /100 ml y E. Coli de 30 UFC /100 ml, y según la normativa el valor admisible es cero para el abastecimiento

doméstico, por tanto la muestra de agua tomada en el piezómetro superficial, no es apta para el consumo humano, a menos que se le realice un tratamiento adecuado para su potabilización. Esto indica que el agua subterránea en este sitio está afectada por efecto antrópico, puesto que ella en su estado natural presenta buena calidad.

A pesar de la contaminación microbiológica, el agua de este acuífero podría ser utilizada en otros usos, como lo son el riego de plantas en el mismo parque y el lavado de sanitarios, inclusive para el lavado de vehículos o limpieza de calles, etc.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda una verificación constante del sistema de la guaya para que no se puedan presentar alteraciones que modifiquen las condiciones reales del agua en el piezómetro.

Se aconseja buscar un equipo de bombeo que proporcione una limpieza eficiente en la profundidad del piezómetro superficial y además un equipo que permita bombear el piezómetro profundo, ya que con los que se encuentran disponibles no están en la capacidad de bombear este pozo.

Se recomienda realizar un estudio más detallado sobre la calidad del agua, no solo la obtenida del piezómetro realizado en este trabajo, sino también en todas las corrientes superficiales y profundas existentes en la zona.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pulido M y Nieto M. Obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2010
- [2] .Barrera M y Ruiz D. Pruebas de bombeo en pozos ubicados en zona oriental de la ciudad de Bucaramanga y análisis de uso de software. Universidad industrial de Santander, 2012.
- [3] Gómez S. y Colegial J. (2003), Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos: Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” Colciencias, observatorio Colombiano de ciencia y tecnología OCyT, Bucaramanga, Colombia.
- [4] Arrieta Reyes. Análisis y caracterización hidroquímica de aguas subterráneas en el área metropolitana de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2004.
- [5] Aguilar J. y Caballero C. Calibración e instalación de un CTD DIVER en la estación hidrométrica automática de río de oro, Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2010.
- [6] Martínez J y Pardo M. Calibración e instalación de un CTD DIVER en piezómetro para medición continua del agua subterránea en la zona alta de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2009.
- [7] Castillo E y Hernández D. Integración de nueva información en un SIG de puntos de agua subterránea y datos de calidad, en la zona alta de las cuencas del río de Oro, río Toná y río Frio. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2013.
- [8] Von Sperling M. Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales, primera edición, universitaria, universidad de Nariño, San Juan De Pasto 2012, capítulo 1, p. 17, 33, 155, 113,115.
- [9] Vergara López. Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas cristalinas fracturadas del macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga, 2004.

[10] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007).

[11] Decreto 445 de 1998 (marzo 10) MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

[12] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS – 2000 SECCION II TÍTULO B. pág. B.44

[13] WÁTER TREATMENT SOLUTIONS LENNTECH.
<http://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>. [Citado 16 de Abril de 2014].

[14] Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html>. [Citado 16 de abril, 2014].

[15] Turbidity. <http://www.uwgb.edu/watershed/data/monitoring/turbidity.htm>. [Citado 16 de abril de 2014].

[16] Parámetros físico-químicos: Solidos disueltos totales. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/.../p2-tds.pdf>. [Citado 16 de abril de 2014].

[17] Jiménez J y Colmerales S. Medición de parámetros físico químicos y biológicos del agua subterránea en la zona de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2009.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR J. y CABALLERO C. Calibración e instalación de un CTD DIVER en la estación hidrométrica automática de río de oro, Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2010.

ARRIETA REYES. Análisis y caracterización hidroquímica de aguas subterráneas en el área metropolitana de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2004.

BARRERA M y RUIZ D. Pruebas de bombeo en pozos ubicados en zona oriental de la ciudad de Bucaramanga y análisis de uso de software. Universidad industrial de Santander, 2012.

CASTILLO E y HERNÁNDEZ D. Integración de nueva información en un SIG de puntos de agua subterránea y datos de calidad, en la zona alta de las cuencas del río de Oro, río Toná y río Frio. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2013.

Decreto 445 de 1998 (marzo 10) MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

GÓMEZ S. y COLEGIAL J. (2003), Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos: Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” Colciencias, observatorio Colombiano de ciencia y tecnología OCyT, Bucaramanga, Colombia.

Jiménez J y Colmerales S. Medición de parámetros físico químicos y biológicos del agua subterránea en la zona de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2009.

Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html>. [Citado 16 de abril, 2014].

MARTÍNEZ J y PARDO M. Calibración e instalación de un CTD DIVER en piezómetro para medición continua del agua subterránea en la zona alta de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander, 2009.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE,
VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22
JUN 2007).

Parámetros físico-químicos: Solidos disueltos totales.
<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/.../p2-tds.pdf>. [Citado 16 de abril de
2014].

PULIDO M y NIETO M. Obtención y análisis de perfiles de parámetros
fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga.
Universidad industrial de Santander, 2010

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
BASICO. RAS – 2000 SECCION II TÍTULO B. pág. B.44

Turbidity. <http://www.uwgb.edu/watershed/data/monitoring/turbidity.htm>.
[Citado 16 de abril de 2014].

VELEZ OTALVARO María Victoria. Hidráulica de aguas subterráneas.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 2004.

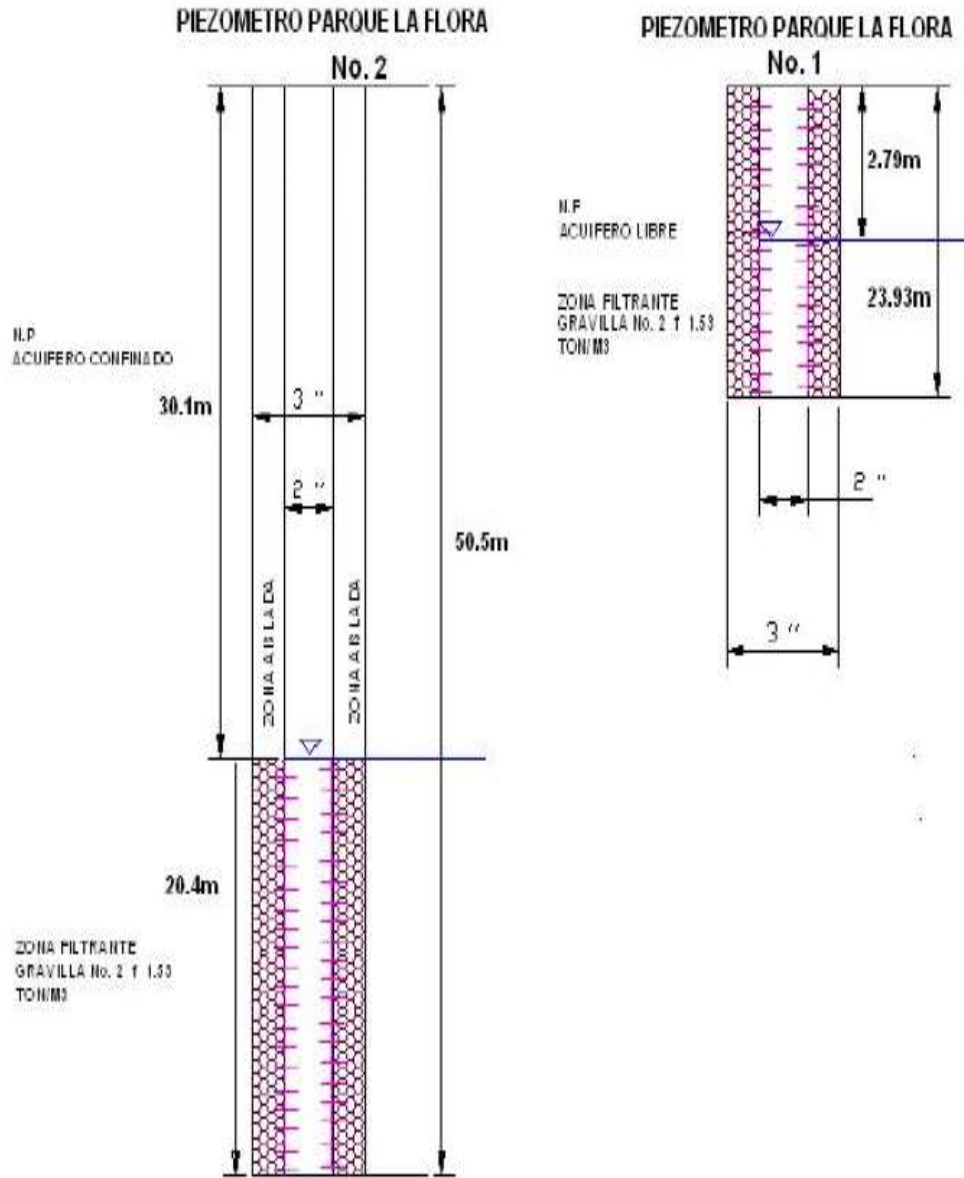
VERGARA LÓPEZ. Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas
cristalinas fracturadas del macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga,
2004.

Von Sperling M. Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas
residuales, primera edición, universitaria, universidad de Nariño, San Juan De
Pasto 2012, capítulo 1, p. 17, 33, 155, 113,115.

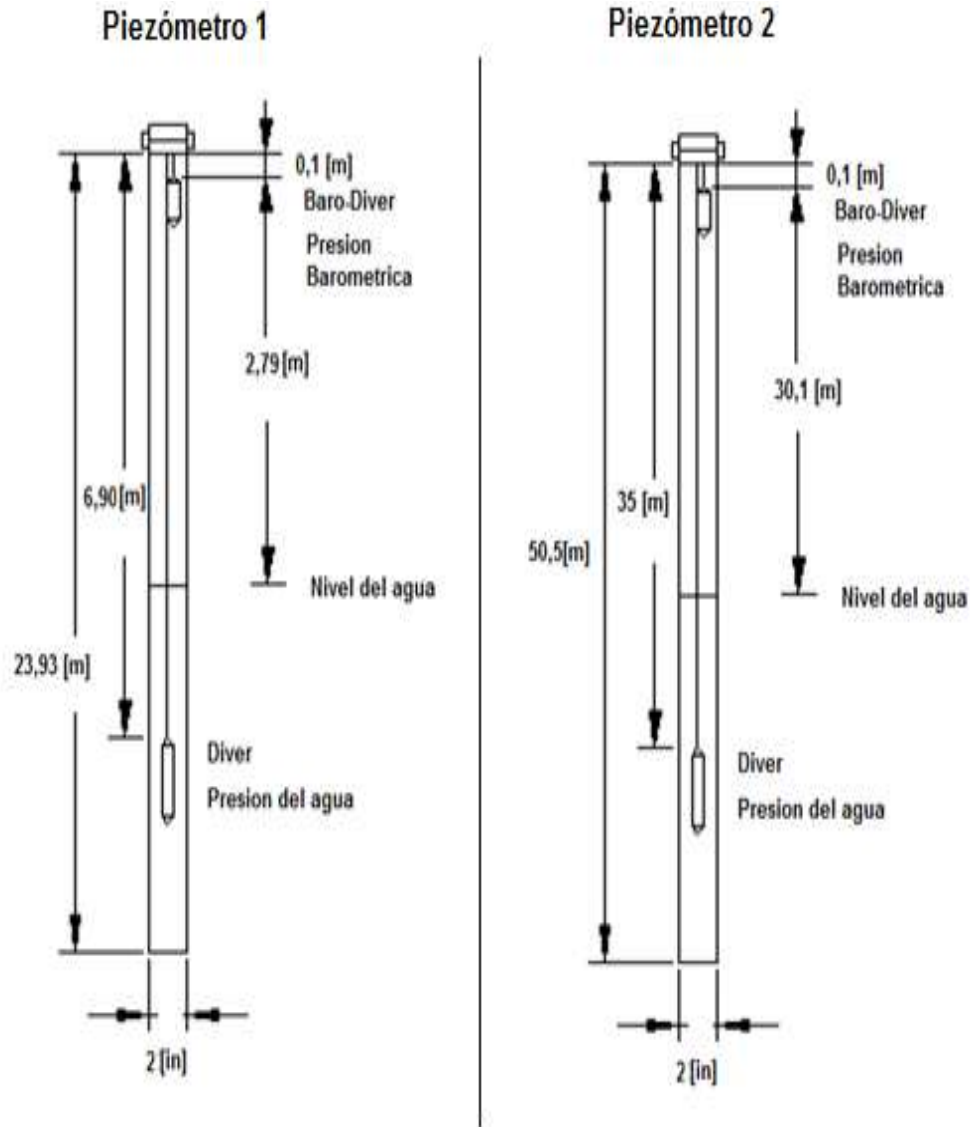
WÁTER TREATMENT SOLUTIONS LENNTECH. <http://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>. [Citado 16 de Abril de 2014].

ANEXOS

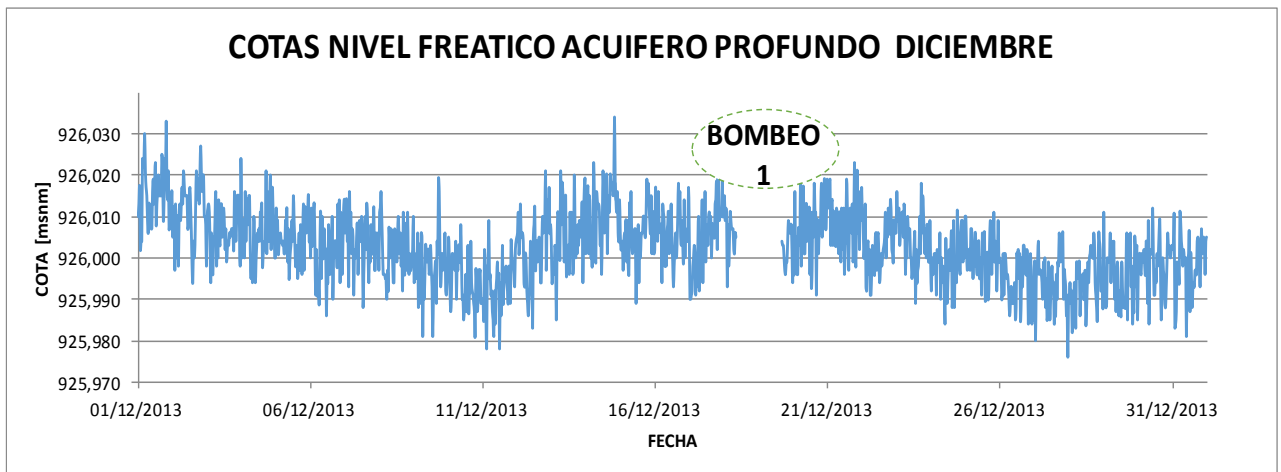
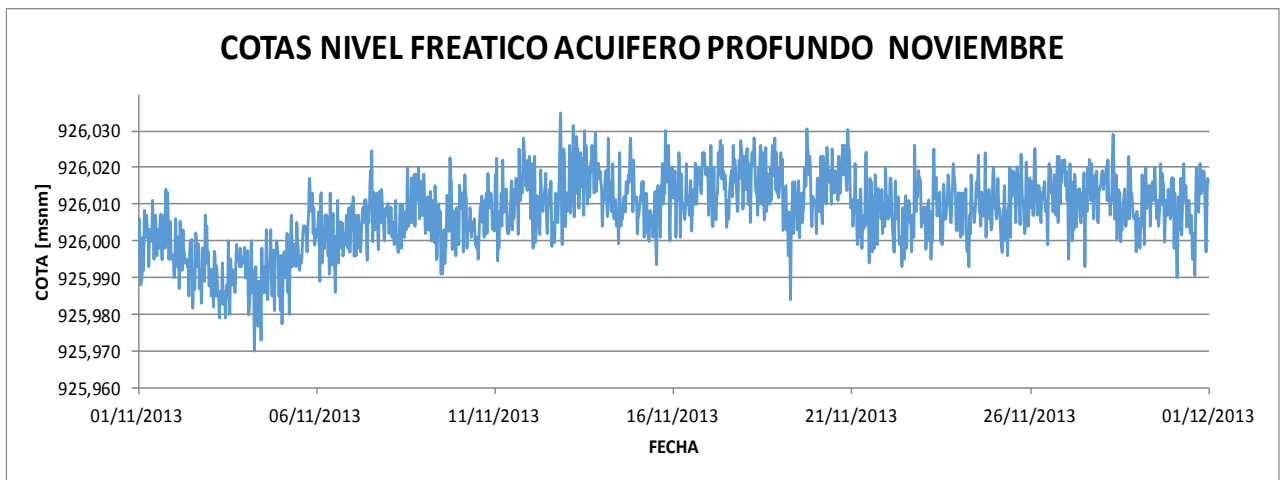
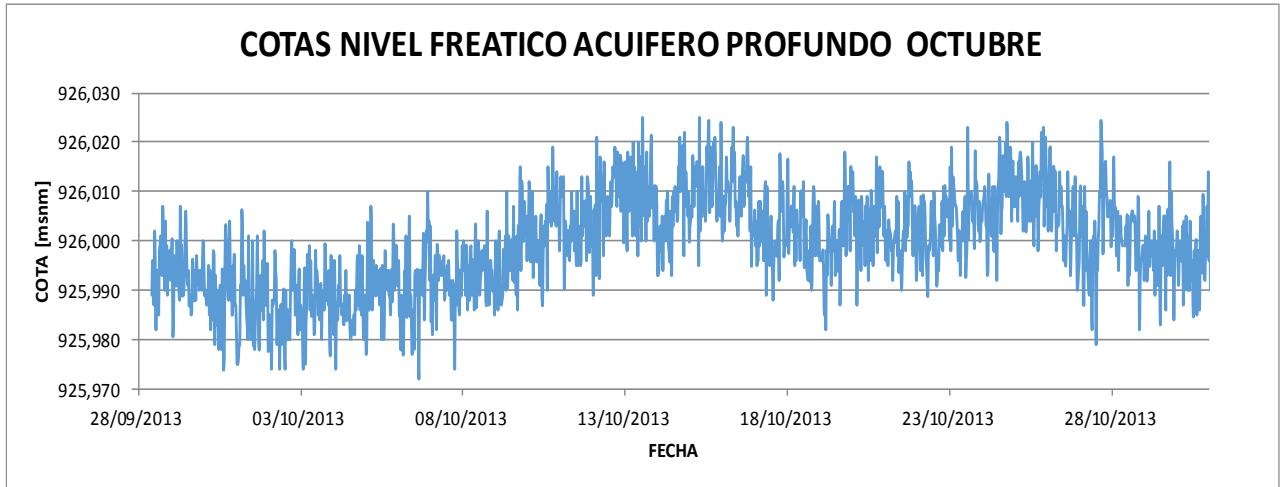
Anexo 1. Esquema de los piezómetros del parque La Flora [1].

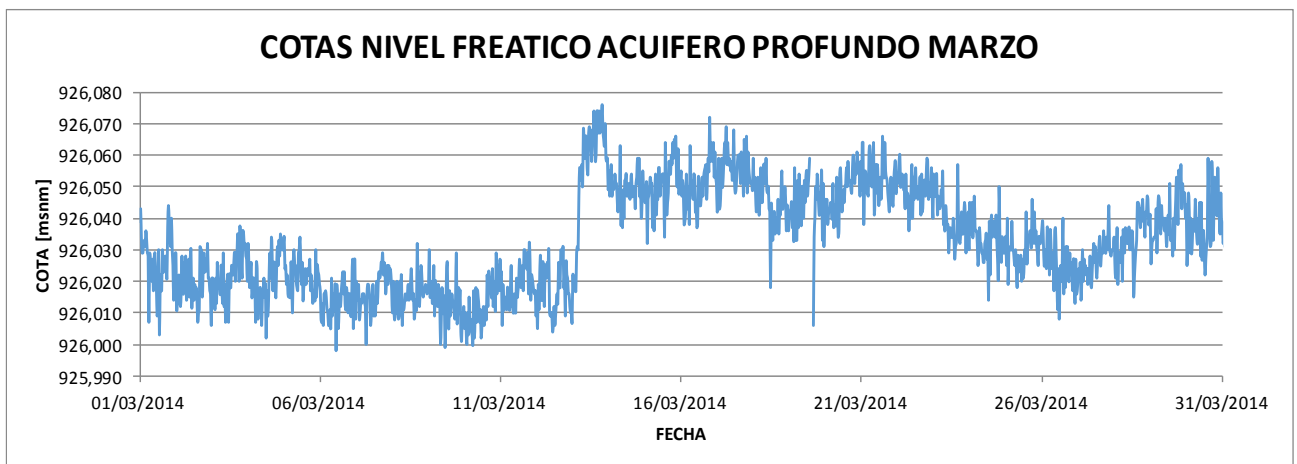
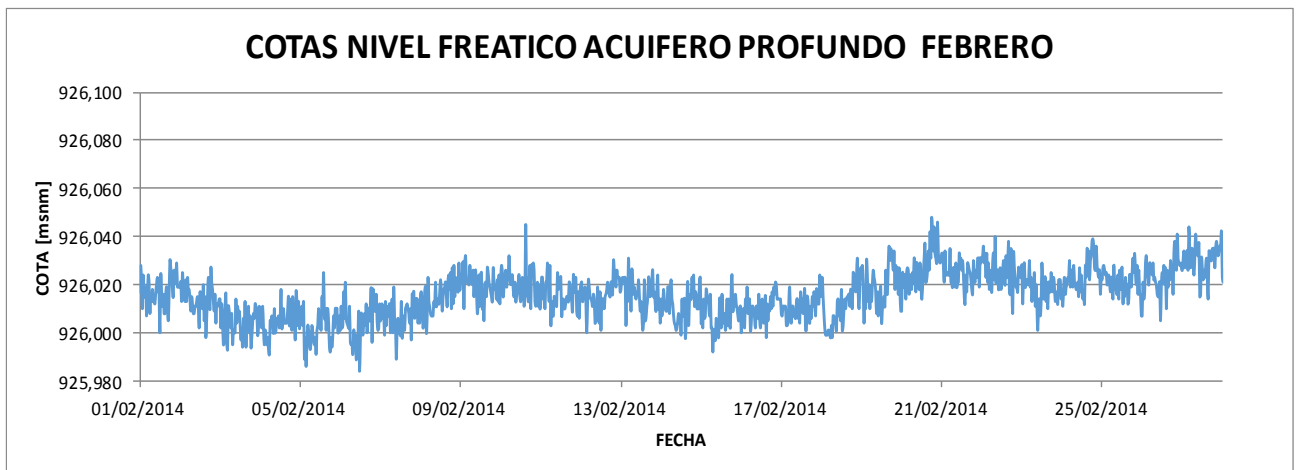
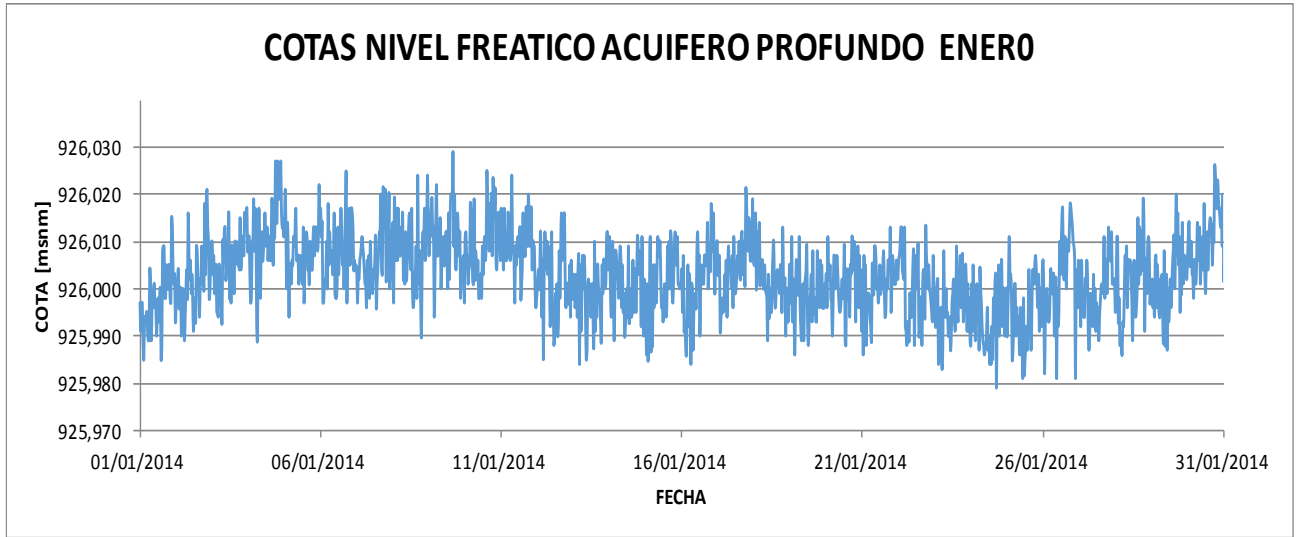


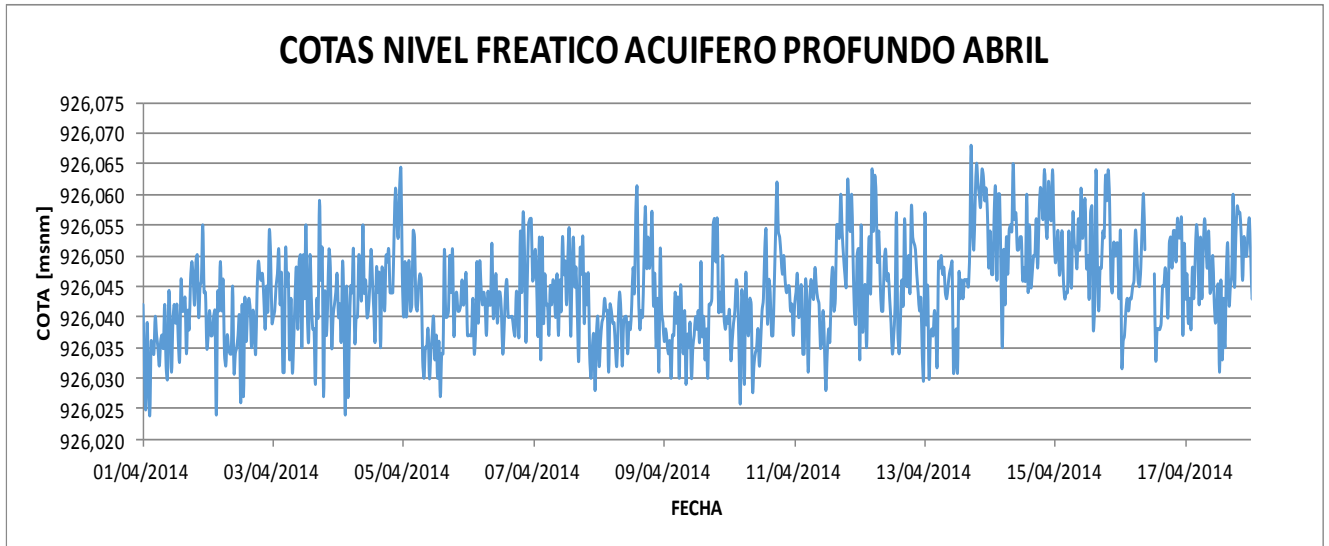
Anexo 2. Diagrama Diver y Baro-Diver en los piezómetros.



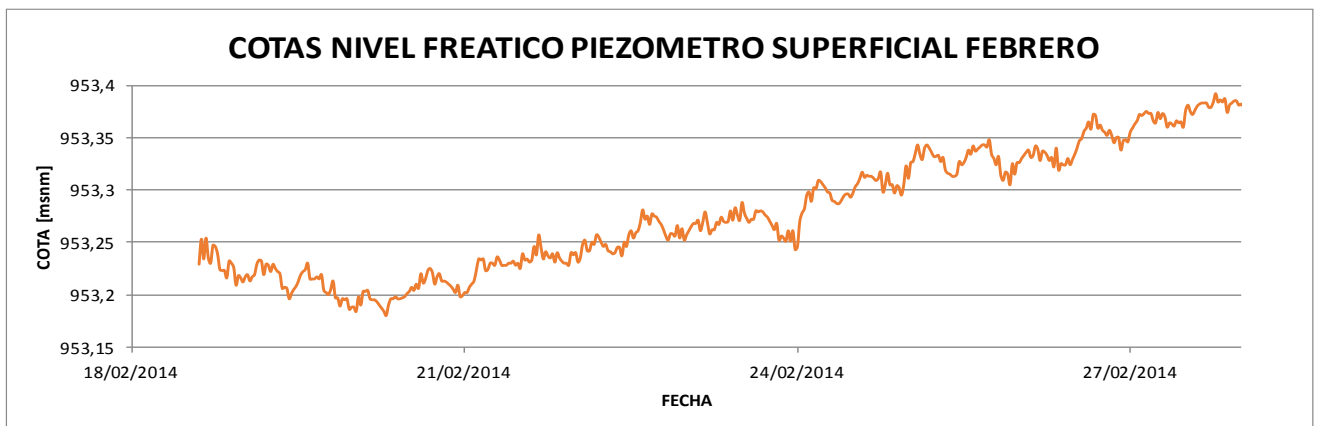
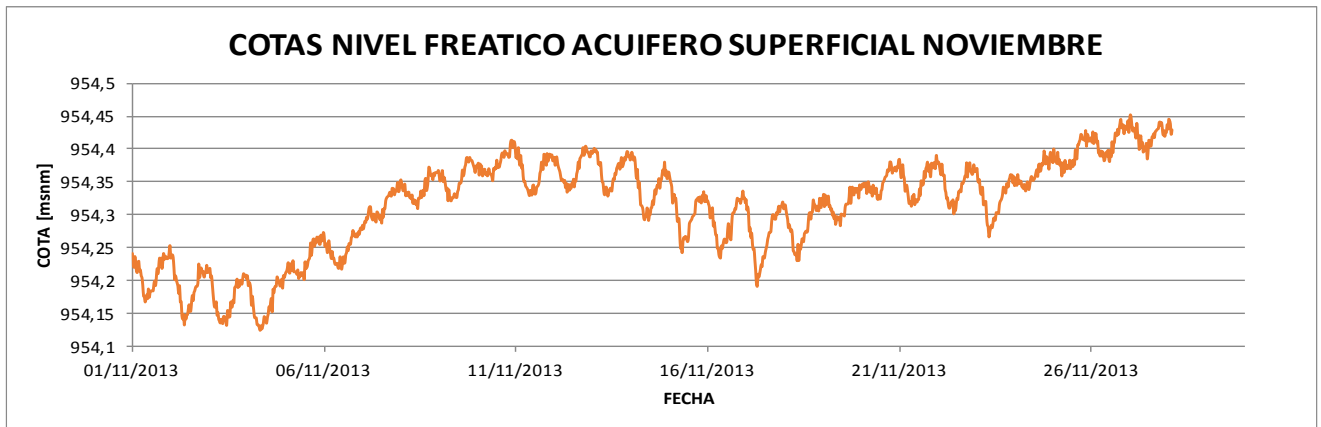
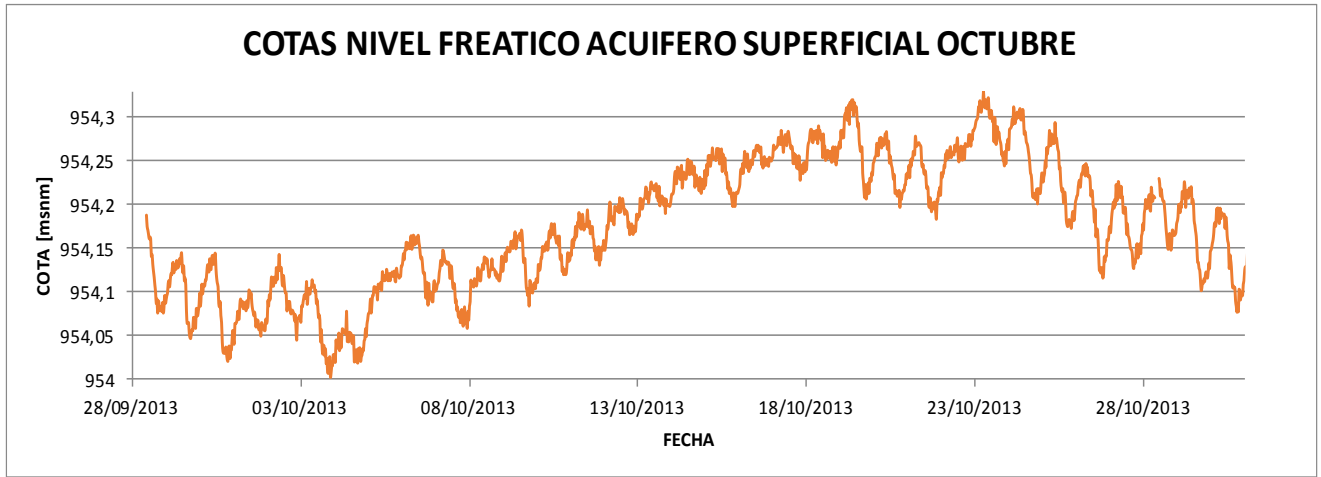
Anexo 3. Cotas nivel freático acuífero profundo de Octubre de 2013 – Abril de 2014.

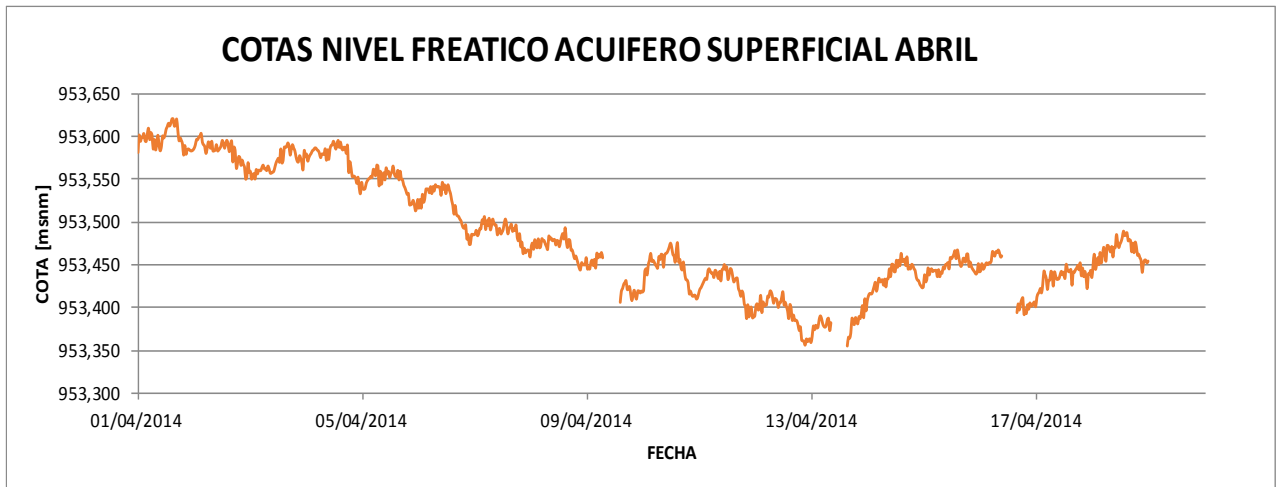
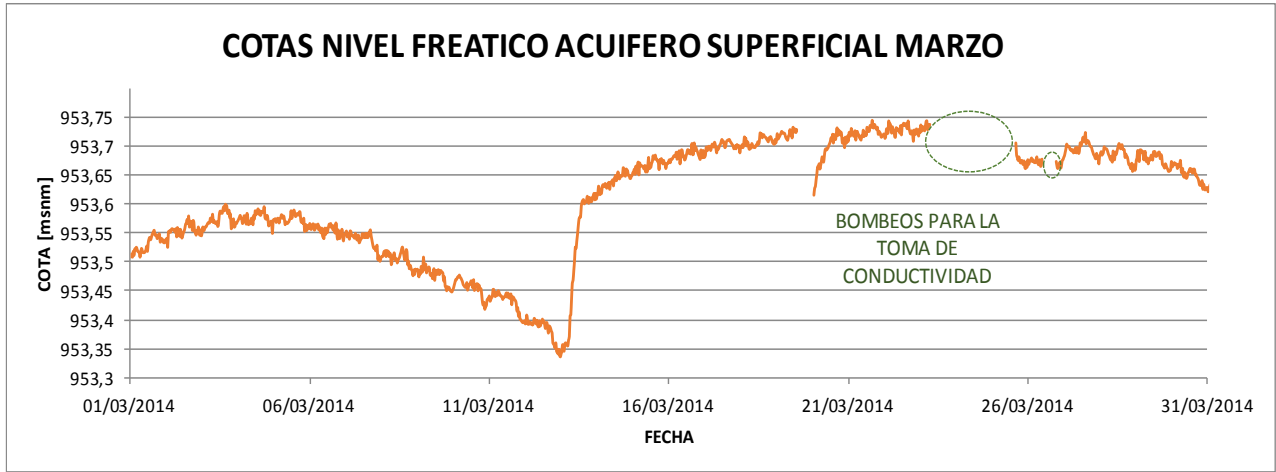




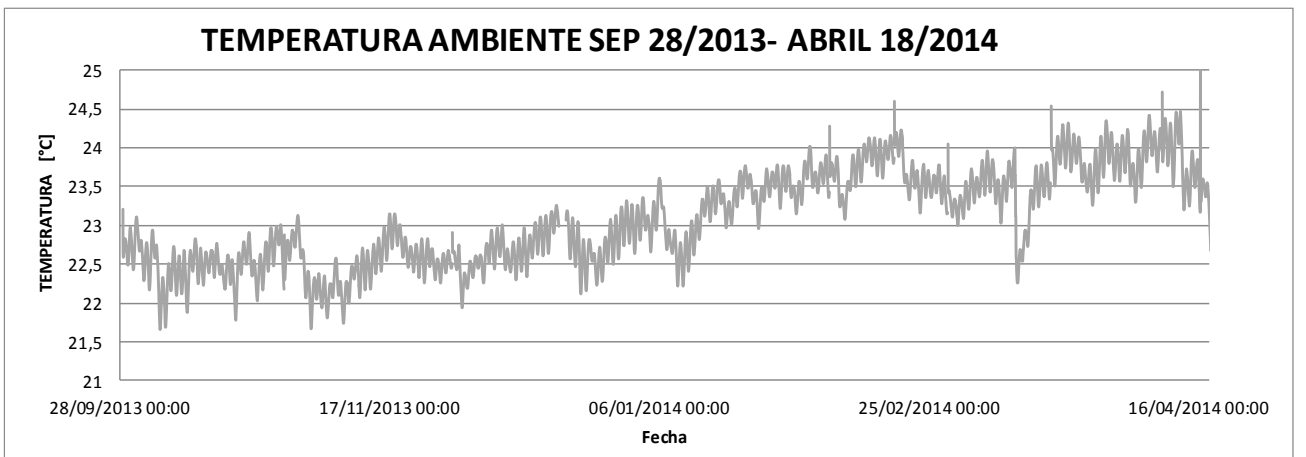
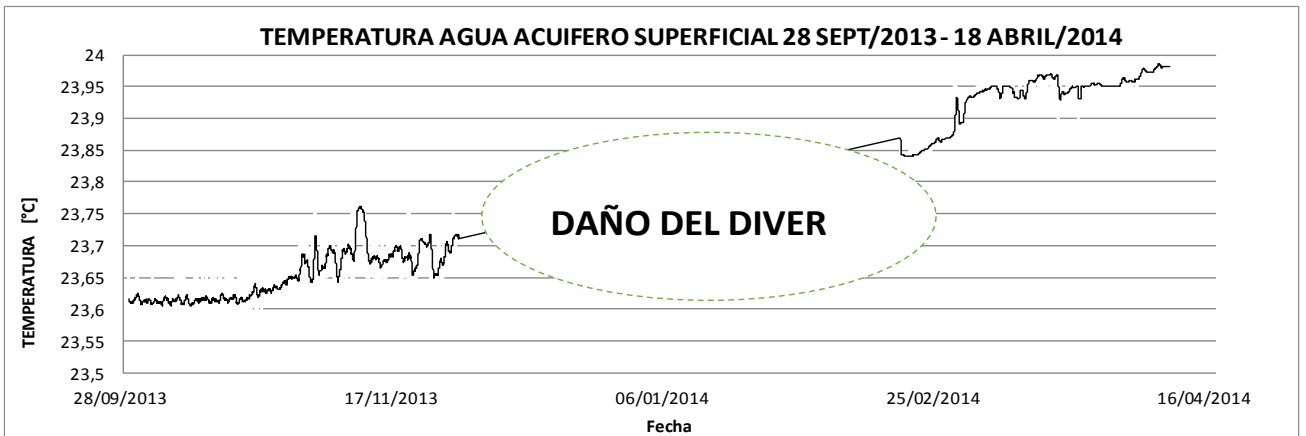
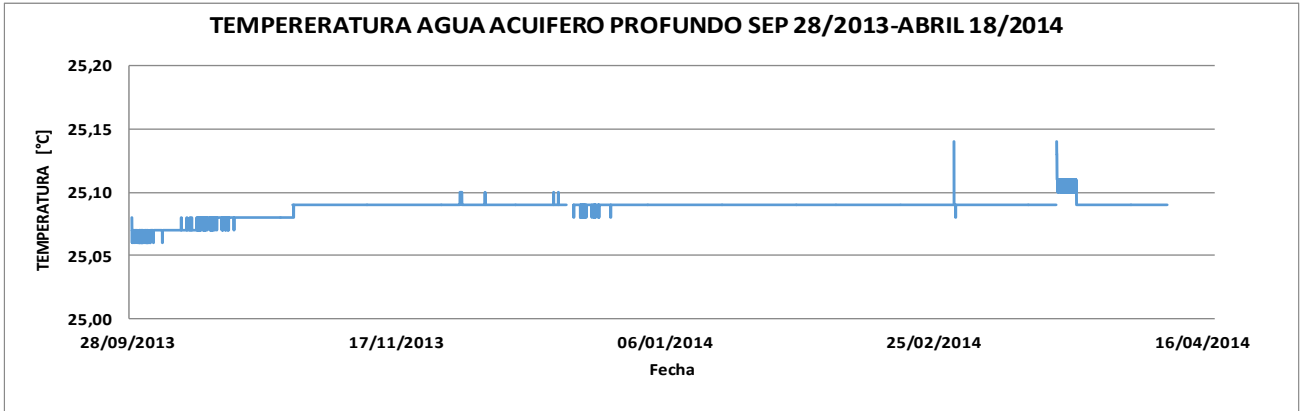


Anexo 4. Cotas nivel freático acuífero superficial de Octubre de 2013 - Abril de 2014.





Anexo 5. Temperatura acuífero superficial y profundo Octubre de 2013 – Abril de 2014.



Anexo 6. Métodos usados en el laboratorio para análisis de parámetros físicoquímicos y microbiológicos.

ANALISIS FISICOQUIMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	METODO/NORMA
pH	(unidades de pH)	Potenciometrico/SM 4500-H+ B
Turbiedad	(NTU)	Nefelometrico / SM 2130 B
Color	(UPC)	Espectrofotometrico / SM 2130 B
Conductividad	(us/cm)	Conductivimetrico / SM2510
Hierro Total	(mg Fe/L)	Espectrofotometrico / SM 3500-Fe
Nitritos	(mg NO ₂ -/L)	Espectrofotometrico / SM 4500 B
Sulfatos	(mg SO ₄ -2/L)	Espectrofotometrico / SM 4500 E
Cloruros	(mgCL-/L)	Argentometrico m/SM 4500-Cl- B
Dureza Total	(mg CaCO ₃ /L)	Tritimetrico- EDTA / SM 2340 C
Alcalinidad Total	(mg CaCO ₃ /L)	Tritimetrico / SM 2320 B
Solidos Totales	(mg/L)	Gravimetrico / SM 2540 B
Demanda Bioquimica De Oxigeno	(mg O ₂ /L)	Respirometrico / SM 5210 D

ANALISIS BIOLOGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	METODO/NORMA
Recuento Estandar	(UFC /100 ml)	Filtracion por Membrana / SM 9222B
Coliformes Totales	(UFC /100 ml)	Filtracion por Membrana / SM 9222B
E. Coli	(UFC /100 ml)	Filtracion por Membrana / SM 9222B

Anexo 7. Comparación de parámetros tomados de los anteriores proyectos de grado.

		ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO					
		ARRIETA, REYES 2004	MARTINEZ, PARDO 2009	JIMENEZ, COLMENARES 2009	PULIDO, NIETO 2010	CORREA, MONTAÑO 2011	GUARIN, ROA 2014
PARAMETRO	UNIDAD	2004	MAYO-AGOSTO 2009	OCT 2008- FEB 2009	mar-09	AGOSTO 2010-FEB 2011	SEPT 2013-ABRIL 2014
A C U I F E R O S U P E R F I C I A L	Temperatura	°C		15,1	24,11-24,66	24,7	
	pH	(unidades de pH)	6		3,8		6,6
	Turbiedad	(NTU)			18,4		12,5
	Color	(UPC)			152		90
	Conductividad	(us/cm)	164		222	165	152,3
	Hierro Total	(mg Fe/L)					2,75
	Nitritos	(mg NO ₂ -/L)					0,01
	Sulfatos	(mg SO ₄ -2/L)					6,14
	Cloruros	(mgCL-/L)					26,61
	Dureza Total	(mg CaCO ₃ /L)					20,33
	Alcalinidad Total	(mg CaCO ₃ /L)					40,43
	Sólidos Totales	(mg/L)				997,3	86
	Demanda Bioquímica De Oxígeno	(mg O ₂ /L)			10		10
	Nitrogeno amoniacal	mg NNH ₃ /L			2,79		
	Nitrogeno Total	mg NT/L			5,58		
	Redox	mV			140		
Recuento Estandar						745	
Coliformes Totales				2240		740	
E. Coli				2240		30	
ACUIFERO PROFUNDO	Temperatura	°C	22-23,4			23,6	25,060-25,140
	Conductividad	(us/cm)		320		270	250-370