

**OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS
EN PIEZÓMETROS DE LA ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE
BUCARAMANGA.**

**MIGUEL ANGEL PULIDO RAMOS
MANUEL ALEJANDRO NIETO CARDENAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

**OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS
EN PIEZÓMETROS DE LA ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE
BUCARAMANGA.**

**MIGUEL ANGEL PULIDO RAMOS
MANUEL ALEJANDRO NIETO CARDENAS**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

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

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2010

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la directora del proyecto, la doctora Sully Gómez Isidro, por su apoyo, acertada y valiosa orientación.

A nuestros compañeros del Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH, y a todos aquellos que de una u otra forma siempre creyeron en nosotros y contribuyeron a la realización de esta meta.

A JAH

A mi madre, María Isabel

A mis abuelos, Domingo y María de Jesús

A mi hermana, María Angélica

MIGUEL

Agradezco a mi Dios por haberme permitido terminar satisfactoriamente mi carrera

A mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional

A mi abuela, mis hermanos, por sus consejos y apoyo,

Y a todos mis amigos que siempre estuvieron presentes con su apoyo incondicional.

Manuel A Nieto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
2. COMPOSICIÓN FISCOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	24
2.1 COMPOSICION QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA	24
2.2 CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS	26
2.2.1 Temperatura, θ	26
2.2.1.1 Aporte de calor interno. Gradiente geotérmico	26
2.2.2 Conductividad eléctrica (C)	27
2.2.3 Sólidos disueltos totales (TDS)	29
2.2.4 Salinidad.....	30
2.2.5 Densidad, δ	31
2.3 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	31
3. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS	33
3.1 GENERALIDADES DEL TRABAJO EN CAMPO	33
3.2 EQUIPOS PARA EL TRABAJO EN CAMPO	34
3.2.1 OBTENCION DE PERFILES.....	34
3.2.2 NIVEL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	35
3.2.3 PURGA DE LOS PIEZÓMETROS.....	36
4. MARCO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DEL PROYECTO	39
4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DEL PROYECTO EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	39

4.2 UBICACIÓN Y REFERENCIA GEOGRÁFICA DEL PROYECTO	41
4.3. GEOLOGÍA LOCAL Y DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS EN BAJOS DE PAN DE AZÚCAR	42
4.3.1 GEOLOGÍA LOCAL BAJOS DE PAN DE AZÚCAR	43
4.3.2 DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS BAJOS DE PAN DE AZUCAR	44
4.4 GEOLOGÍA LOCAL EN LOS PIEZÓMETROS DEL PARQUE LA FLORA	45
5. INFORMACIÓN DE PERFILES OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
5.1 SITIO DE MUESTREO: BAJOS DE PAN DE AZUCAR	51
5.1.1 Temperatura	51
5.1.2 Conductividad	53
5.1.3 Salinidad	55
5.1.4 Sólidos disueltos totales TDS	57
5.1.5 Densidad	60
5.2 SITIO DE MUESTREO: PARQUE LA FLORA	62
5.2.1 Contaminación piezómetro Parque La Flora No.2	62
5.2.2 Temperatura	63
5.2.3 Conductividad	64
5.2.4 Salinidad	66
5.2.5 Sólidos Disueltos Totales TDS	68
5.2.6 Densidad	70
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXO A	81

ANEXO B93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA. 1 TRABAJO DE CAMPO CON LA SONDA MULTIPARÁMETRO	34
FIGURA. 2 SENSOR DE PROFUNDIDAD.....	35
FIGURA. 3 BOMBA PERISTÁLTICA.....	36
FIGURA. 4 DIAGRAMA DE CAPACIDAD DE LA BOMBA PERISTÁLTICA.....	37
FIGURA. 5 BATERÍA RECARGABLE DE GEL ACIDO.....	38
FIGURA. 7 UBICACIÓN PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR Y PARQUE LA FLORA EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.....	42
FIGURA 8. DISEÑO DE PIEZÓMETROS BAJOS DE PAN DE AZÚCAR (GÓMEZ, COLEGIAL, 2003.).....	45
FIGURA 9. ESQUEMA PIEZÓMETROS “PARQUE LA FLORA”	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. INTERVALOS TÍPICOS DE LA CONDUCTIVIDAD PARA AGUAS (GERARD KIELY, 1999)	28
TABLA 2. RANGOS DE VARIACIÓN DE LA SALINIDAD EN EL AGUA. (WWW.WIKIPEDIA.COM)	30
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BOMBA PERISTÁLTICA.....	36
TABLA 4. DENOMINACIÓN DE LOS POZOS (GÓMEZ -COLEGIAL 2003)	41
TABLA 5. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA POZOS PAN DE AZÚCAR FUENTE: (GÓMEZ, COLEGIAL, 2003)	43
TABLA 6. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV 2003 PARQUE LA FLORA (GÓMEZ, COLEGIAL 2003)	48
TABLA 7. FECHAS CAMPAÑAS DE MUESTREO PIEZÓMETROS BAJOS DE PAN DE AZÚCAR Y PARQUE LA FLORA.....	50
TABLA 8. CÁLCULO % Δ CONDUCTIVIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR NO. 2	54
TABLA 9. CÁLCULO % Δ SALINIDAD PIEZÓMETRO PAN DE AZÚCAR NO. 2..	56
TABLA 10. CÁLCULO % Δ TDS PIEZÓMETRO PAN DE AZÚCAR NO. 2	59
TABLA 11. CÁLCULO % Δ DENSIDAD PIEZÓMETRO PAN DE AZÚCAR NO. 2	61
TABLA 12. CÁLCULO DE CONDUCTIVIDAD PROMEDIO PIEZÓMETRO NO.1 PARQUE LA FLORA	69
TABLA 13. CUADRO RESUMEN PARÁMETRO DE TEMPERATURA.....	72
TABLA 14. CUADRO RESUMEN DE CONDUCTIVIDAD, SALINIDAD, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES TDS Y DENSIDAD	73

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
GRAFICA 1. PERFIL TENDENCIA DE TEMPERATURA PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR. (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	52
GRAFICA 2. PERFIL TENDENCIA CONDUCTIVIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR. (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1, PIEZÓMETRO NO.2)	53
GRAFICA 3. PERFIL TENDENCIA SALINIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	55
GRAFICA 4. PERFIL TENDENCIA SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES TDS PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2).....	57
GRAFICA 5. PERFIL TENDENCIA DENSIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	60
GRAFICA 7. PERFIL TENDENCIA TEMPERATURA PIEZÓMETROS LA FLORA (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2) ..	64
GRAFICA 8. PERFIL TENDENCIA CONDUCTIVIDAD PIEZÓMETROS PARQUE LA FLORA (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	65
GRAFICA 9. PERFIL TENDENCIA SALINIDAD PIEZÓMETROS PARQUE LA FLORA (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	66
GRAFICA 11. PERFIL TENDENCIA DENSIDAD PIEZÓMETROS PARQUE LA FLORA (DE IZQUIERDA A DERECHA PIEZÓMETRO NO.1 PIEZÓMETRO NO.2)	70

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MANUAL PARA LA OBTENCION DE PERFILES DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN PIEZOMETROS	81
OPERACIÓN GENERAL	82
ANEXO A1. ASPECTO GENERAL DE LA SONDA CON CADA UNO DE SUS COMPONENTES	82
ANEXO A2. ASPECTO DEL SENSOR TIPO MPS-D3	82
A.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PRODUCTO	83
A.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	84
A.1.2 COMPONENTES Y ACCESORIOS DE LA SONDA DE CONTACTO ELÉCTRICO TIPO KLL-Q-2.	84
A.2 PRECAUCIONES ESPECIALES PARA CON EL EQUIPO.....	85
A.2.1 DEBIDO A DEFECTOS EN EL CABLE	85
A.2.2 DEBIDO A AGUAS PELIGROSAS.....	86
A.2.3 MANIPULACIÓN DURANTE LAS MEDICIONES.....	86
A.2.4 FORMA DE DETERMINAR SI ALGÚN COMPONENTE DE LA SONDA SE ENCUENTRA DAÑADO.	86
A.2.1 ACOPLAMIENTO DEL SENSOR AL CABLE DE MEDICIÓN (BASE)	87
ANEXO A3. DIAGRAMA CONEXIÓN BASE – SENSOR (MPS-D3)	88
ANEXO A4. TABLERO DE MANEJO	89
ANEXO A5. MENÚ DE OPERACIÓN SONDA DE CONTACTO ELÉCTRICO	90
ANEXO A6. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIÓN MODO MANUAL/AUTOMÁTICO	90
ANEXO A7. DIAGRAMA DE FLUJO MODO “DIPPER”	91
ANEXO A8. PRECISIÓN EN PARÁMETROS DE MEDICIÓN	92
ANEXO B. PROTOCOLO PARA LA OBTENCION DE PERFILES DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN PIEZOMETROS	93
ANEXO B1. REGISTRANDO PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	94

B. 1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	94
B.2 NÚMERO Y FRECUENCIA DE LAS MUESTRAS	95
B.3 EQUIPOS Y MATERIALES	96
B.3.1 EQUIPO PERSONAL	96
B.3.2 MATERIAL DE MUESTREO	96
B.4 CONSIDERACIONES PREVIAS.....	97
B.4.1 SITIO DE MUESTREO.....	97
B.5 TOMA DE DATOS (TRABAJO EN CAMPO)	97
B.5.1 DESCRIPCION PRIMERA ETAPA.....	97
ANEXO B2. EN CAMPO PURGANDO LOS PIEZÓMETROS.....	98
B.5.2 DESCRIPCION SEGUNDA ETAPA	99
B.5.3 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS.....	99
B.5.4 TALENTO HUMANO.....	101
B.6 FORMATOS PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	101
ANEXO B3. FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO	102

RESUMEN

TITULO:

OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS EN PIEZÓMETROS DE LA ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.*

AUTOR:

MIGUEL ANGEL PULIDO RAMOS
MANUEL ALEJANDRO NIETO CARDENAS**

PALABRAS CLAVES:

Piezómetro, perfiles, parámetros fisicoquímicos, sonda de contacto Eléctrico tipo KLL-Q-2 multiparámetro.

DESCRIPCIÓN:

En la zona oriental de Bucaramanga en el barrio Bajos de Pan de Azúcar y el Parque La Flora se estudian parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad. De esta manera se cuenta con cuatro piezómetros que ofrecerán información sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del acuífero y preparar un protocolo del proceso a seguir para la realización de los perfiles en cada uno de los piezómetros (“La Flora” y “Bajos de Pan de Azúcar”) a partir de la experiencia adquirida durante este trabajo.

Los autores del presente proyecto de grado instrumentaran con una Sonda de contacto Eléctrico tipo KLL-Q-2, equipo que toma lecturas puntuales de temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad y así caracterizar fisicoquímicamente el agua subterránea de las formaciones acuíferas presentes en los piezómetros objeto de este proyecto (“La Flora” y “Bajos de Pan de Azúcar”) obteniendo perfiles en profundidad de cada parámetro y relacionarlos con las condiciones de los acuíferos, teniendo en cuenta las diferentes implicaciones que podrían tener factores como son las formaciones geológicas que se presentan en cada uno de los sitios que fueron objeto de este proyecto de grado. Se realizó un monitoreo en campo de marzo de 2009 a marzo de 2010 de parámetros fisicoquímicos.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Directora: Sully Gómez Isidro.

ABSTRACT

TITLE:

COLLECTION AND ANALYSIS OF PROFILES PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN THE PIEZOMETERS EASTERN CITY OF BUCARAMANGA.*

AUTHOR:

MIGUEL ANGEL PULIDO RAMOS
MANUEL ALEJANDRO NIETO CARDENAS**

KEYWORDS:

Piezometer, Profiles, physicochemical parameters, Contact Probe Type Electric KLL-Q-2 multiparameter

DESCRIPTION:

In the eastern zone of Bucaramanga in Bajos de Pan de Azúcar and Parque La Flora studied the physicochemical parameters such as temperature, electrical conductivity, salinity, TDS total dissolved solids and density. This will have four piezometers provide information on physical and chemical water parameters of the aquifer and prepare a protocol process for the realization of the profiles in each of the piezometers ("Parque La Flora" and "Bajos de Pan de Azúcar") from the experience gained during this work.

The authors of this draft grade instruments with an electrical contact probe type KLL-Q-2, specific equipment that takes readings of temperature, electrical conductivity, salinity, TDS total dissolved solids and density and to characterize groundwater physicochemically formations aquifers present in the piezometers to this project ("Parque La Flora" and " Bajos de Pan de Azúcar ") getting in-depth profiles of each parameter and relate to the conditions of the aquifers, taking into account different factors that could have implications as geological formations are presented in each of the sites that were the subject of this draft grade. Monitoring was conducted in the field June 2009 to March 2010 physicochemical parameters.

*Graduation Project

**Faculty of Physical-mechanical Engineerings, School of Civil Engineering, Director: Sully Gómez Isidro.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bucaramanga se encuentra en una región donde el recurso hídrico debe ser utilizado de una manera sensata. El área metropolitana de Bucaramanga posee actualmente más de un millón de habitantes, en donde el agua se ha convertido en un recurso cada vez más escaso, por lo tanto se hace imprescindible llevar a cabo estudios que estén enfocados al estudio del agua superficial y también del agua subterránea. La zona de estudio sobre el cual este proyecto se ejecuto se encuentra enmarcada en la llamada Cuenca Superior del Río Lebrija (CSRL) conformada por la unión del Río de Oro y el Río Suratá y donde el origen de la recarga de los acuíferos de la Meseta de Bucaramanga ha sido identificado en la zona montañosa del Macizo de Santander hacia las cotas 1800 a 2000 msnm (Gómez, Colegial, 2003).

La Universidad Industrial de Santander en conjunto con La CDMB han construido algunos piezómetros en la parte alta de la ciudad de Bucaramanga (Parque la Flora y en Bajos de Pan de Azúcar). En este proyecto se obtendrán y analizaran perfiles de parámetros fisicoquímicos mediante una sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2 (cuyas características y modo de uso se describen en el Anexo A), este equipo toma parámetros de temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad, los cuales son útiles como indicadores de las condiciones y posibles relaciones de las dos zonas en donde se lleva a cabo nuestro estudio (Parque La Flora y Bajos de Pan de Azúcar). Es así como se han obtenido perfiles (mediciones en profundidad) que nos ofrecen información sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en los acuíferos, y sobre las condiciones que deben presentarse en otras zonas de estudio para ser aplicado en estos y obtener información confiable y de alta calidad.

Se han obtenido parámetros fisicoquímicos de cuatro piezómetros, los cuales se han denominado como piezómetro Pan de Azúcar No. 1 el cual 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; piezómetro Parque la Flora No. 1 el cual 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 el cual 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. Se determinó hacer tomas de datos con intervalos de tiempo variables de acuerdo a las condiciones que se fueran presentando en los piezómetros (variaciones bruscas de conductividad, etc.), y con registro de datos cada 50 cm, logrando un buen registro de las condiciones del agua medida en el piezómetro.

De acuerdo a los registros obtenidos de temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad, se estudiarán y analizarán para determinar su comportamiento en profundidad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Obtener y analizar parámetros fisicoquímicos en función de la profundidad del agua subterránea, en piezómetros ubicados en la zona oriental del área metropolitana de Bucaramanga, mediante el uso de una Sonda de contacto Eléctrico tipo KLL-Q-2, con el fin de obtener mayor conocimiento del agua subterránea.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Medir y estudiar en función de la profundidad (perfiles) del agua subterránea observada en los piezómetros, los parámetros fisicoquímicos como: temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales y densidad.
- Preparar un protocolo del proceso a seguir para la realización de los perfiles en cada uno de los piezómetros (“La Flora” y “Bajos de Pan de Azúcar”) a partir de la experiencia adquirida durante este trabajo.
- Presentar una guía de uso y cuidado de la Sonda de contacto Eléctrico tipo KLL-Q-2, a partir del manual del fabricante y de la experiencia adquirida durante este trabajo.
- Revisar la información hidrogeológica e información general de las perforaciones, que permitan identificar los tipos de acuíferos presentes y posible comunicación entre ellos.

- Caracterizar fisicoquímicamente el agua subterránea de las formaciones acuíferas presentes en los piezómetros objeto de este proyecto (“La Flora” y “Bajos de Pan de Azúcar”) y relacionarlas con las condiciones de los acuíferos.

2. COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la calidad del agua subterránea existen varios factores que afectan la composición natural de la misma, desde los aportes hechos por la atmósfera, hasta el suelo y las reacciones agua-roca (ocurre cuando el agua se infiltra y entra en contacto con la roca). Otros factores pueden ser los aportes provenientes desde fuentes de contaminación tales como minas, áreas despejadas, agricultura, lluvias ácidas, residuos domésticos e industriales.

El movimiento relativamente lento del agua a través del suelo indica que los tiempos de permanencia de las aguas subterráneas están generalmente dentro de órdenes de magnitud mayores que los de las aguas superficiales haciendo que su estudio en la escala de tiempo de alguna manera sea más exhaustivo que en el caso de la calidad de las aguas superficiales. El estudio es difícil simplificarlo a unos pocos parámetros, sin embargo, se ha realizado una selección de unos cuantos parámetros importantes (Temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales (TDS) y densidad), que pueden usarse para evaluar, fenómenos, procesos o tendencias significativas que pueden presentarse en el agua subterránea.

En este capítulo se presentaran los conceptos fundamentales sobre la composición fisicoquímica del agua y en particular del agua subterránea.

2.1 COMPOSICION QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, físico, bacteriológico, isotópico, etc. La composición química entendiéndose por tal el conjunto de sustancias incorporadas al agua por procesos naturales o artificiales; La composición química del agua subterránea se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por

medio de la concentración de cada constituyente analizado. La incorporación de los constituyentes al agua en variedad y concentraciones diferentes es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación, esta incorporación de sustancias al agua comienza incluso antes de que se incorpore al sistema de flujo subterráneo propio de cada acuífero, sustancias como gases, aerosoles, polvo y sales diversas presentes en la atmósfera. Una vez infiltrada con unas características químicas definidas originadas en la atmósfera o en la superficie del terreno por evapotranspiración el agua puede sufrir modificaciones drásticas en su composición como consecuencia de un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas complejas con el medio, los factores que condicionan entonces, la composición del agua subterránea son múltiples (Kield 1999, Trombe1986), entre ellos cabe citar:

- Naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto,
- Superficie (características intrínsecas de medio) y tiempo de residencia del agua en el subsuelo,
- Posible mezcla de diferentes tipos de agua,
- Existencia de yacimientos minerales,
- Temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables y tal vez una de las más importantes la contaminación por actividades por efecto antrópico.

Como consecuencia de su composición y de acciones naturales externas el agua presenta una serie de características fisicoquímicas que junto con sus constituyentes se analizan en los párrafos que siguen.

2.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

El agua subterránea, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: Temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales (TDS) densidad etc. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo.

A continuación se describen los parámetros fisicoquímicos que se midieron en este proyecto de grado.

2.2.1 Temperatura, θ

El agua de lluvia que recarga los acuíferos tiene una temperatura algo inferior a la temperatura ambiente local (medida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y en los países anglosajones en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)), y si el agua que se infiltra es agua de río normalmente tiene una temperatura solo ligeramente diferente a aquella.

Una vez el agua se ha infiltrado en el terreno, intercambia calor con el mismo. En este proceso, el elevado calor específico del agua (1 cal/g) frente al del terreno seco (0,2 Cal/g) juega un papel muy importante ya que actúa como un importante regulador de la temperatura. El terreno recibe calor solar y calor interno además de algunas contribuciones menores muy poco importantes, (Schoeller, 1962).

2.2.1.1 Aporte de calor interno. Gradiente geotérmico

El origen del calor no está muy bien definido, pero muy probablemente una gran parte del mismo procede de la desintegración de sustancias radiactivas (K-40, radioelementos de la serie del U y Th), que tienden a acumularse en la corteza terrestre, las reacciones fisicoquímicas asociadas a la formación de rocas cristalinas en condiciones de presión y temperaturas muy elevadas también puede

contribuir a este desprendimiento de calor, así como los esfuerzos mecánicos asociados al movimiento de las placas continentales.

El gradiente geotérmico se define como la profundidad a la cual la temperatura media de las aguas aumenta 1°C. Es variable por lo menos en los primeros Km de corteza terrestre. El valor medio terrestre es de alrededor de 33m, pero puede variar entre 20 y 40 m, en la mayoría de los casos. Estas variaciones dependen del espesor de la corteza terrestre en cada punto (Custodio, Llamas, 1996). El agua subterránea aumenta su temperatura en profundidad y por debajo de las zonas de variaciones por acción externa crece regularmente salvo que existan zonas de circulación preferenciales (mezclas con aguas de diferentes temperaturas). Los pozos profundos suelen proporcionar aguas más calientes cuanto más profundos debido al efecto del gradiente geotérmico.

2.2.2 Conductividad eléctrica (C)

La conductividad eléctrica (eC) o generalmente llamada conductividad (C), es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica y tiene unidades de 1 microsiemens/cm $\left(\frac{\mu S}{cm}\right)$ o micromhs/cm

$\left(\frac{\mu mhos}{cm}\right)$ o $\mu\Omega^{-1}/cm$. La corriente eléctrica es conducida en la solución

mediante el movimiento de los iones y así cuanto mayor es el número de iones (es decir mayor concentración de sales disueltas) mayor es la movilidad iónica y en consecuencia mayor es la conductividad. Químicamente el agua no conduce la corriente eléctrica debido a que los únicos iones presentes son el H⁺ o OH⁻ y por eso la conductividad del agua muy pura es aproximadamente 0,05 $\mu S/cm$ (microsiemens/cm). Por otro lado el agua de mar con alto contenido de sales tiene una conductividad de aproximadamente 40.000 $\mu S/cm$. (Kiely 1999).

La conductividad crece con la temperatura y es preciso tomar una temperatura de referencia, que suele ser 18°C o 25°C (ver tabla 1), y crece 2 %/°C al aumentar la temperatura.

A una misma temperatura, la conductividad de un agua influye no solo la concentración iónica, sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etcétera).

Agua	Intervalo de conductividad $\mu\text{S/cm}$ (a 18°C)
Químicamente pura	0.05
Destilada	0.1-4
Agua de lluvia	20-100
Agua blanda	40-150
Agua dura	200-500
Ríos	100-1000
Agua subterránea	200-1500
Agua de estuario	200-2000
Agua de mar	40000

Tabla 1. Intervalos típicos de la conductividad para aguas (Gerard Kiely, 1999)

La conductividad eléctrica, en gran parte es debida a la disociación de compuestos inorgánicos como de compuestos orgánicos, estos ultimo en menor medida, entonces una medida positiva de la conductividad es la indicativa de la concentración de las sales inorgánicas disueltas.

En el análisis de la calidad del agua, la conductividad se ha usado para determinar otros parámetros, ya que es fácil de medir. Por ejemplo la salinidad y sólidos disueltos totales.

Salinidad: en mg NaCl/L= $C \times f_s$

Donde f_s =factor de conversión ($\approx 0.52-0.55$)

C = conductividad eléctrica en $\mu\text{S/cm}$

Sólidos disueltos totales: en mg STD/L= $C \times f_{std}$

Donde f_{std} =factor de conversión ($\approx 0.55-0.7$)

C= conductividad eléctrica en $\mu\text{S/cm}$

2.2.3 Sólidos disueltos totales (TDS)

El término sólidos disueltos totales (abreviado como TDS, por sus siglas en inglés *total dissolved solid*), es una expresión para el contenido de materia inorgánica y orgánica suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables a través de un tamiz o membrana con poros de dos micrómetros ($2.0 \mu\text{m}$). Los sólidos 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 sabor para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, cada país establece normas con valores máximos que pueden contener las aguas potables. El uso principal del TDS está en el estudio de calidad del agua para corrientes, ríos y lagos y en nuestro caso para el agua subterránea, los análisis de sólidos disueltos son importantes como indicadores de la efectividad de los procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

Ciertos sólidos disueltos totales naturales se presentan del desgaste de rocas y de suelos. Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva. Un tratamiento prolongado con compuestos del cloro en una piscina por ejemplo aumenta la cantidad de sólidos disueltos y la conductividad en el tiempo. Se ha encontrado que existe una correlación directa entre conductividad y concentración de sólidos disueltos totales

para cuerpos de agua dulce. Dicha correlación no se extiende a ambientes "hipersalinos" (salinidad > 5%), donde la conductividad es afectada por la composición específica de iones presentes en el agua. En dichos ambientes, aún cuando la salinidad de dos estaciones pudiera ser la misma, la conductividad puede ser significativamente diferente, dado que las diferentes especies iónicas presentan niveles de conductancia específica diferentes.

2.2.4 Salinidad

La salinidad se refiere a la cantidad total de sustancias disueltas. La medidas de la salinidad mide ambos componentes como dureza (concentraciones disueltas de iones de magnesio y calcio) y alcalinidad (habilidad del agua para mantener estable el pH), así también sustancias como el sodio.

La salinidad normalmente se expresa en términos de peso específico, la relación entre el peso de una solución y el peso del mismo volumen de agua destilada. Dado que el agua se dilata cuando se calienta (cambiando su densidad), generalmente se usa como temperatura de referencia los 20 °C. Las aguas dulces o continentales también tienen sales disueltas, aunque en una proporción mucho menor que el agua del mar. Su denominación como aguas dulces no es, por tanto, correcta, si no es por comparación con el agua del mar, mucho más salino.

La salinidad de las aguas dulces o continentales es variable. Las aguas dulces más puras tienen solo 0,5 g de sales por kilogramo de agua. Las más salinas contienen aproximadamente 3 g de sales por kilogramo (ver tabla 2)

Salinidad del agua			
Agua dulce	Agua salobre	Agua de mar	Salmuera
<0.05%	0.05% - 3%	3 - 5%	> 5 %

Tabla 2. Rangos de variación de la salinidad en el agua. (www.wikipedia.com)

Las sales presentes en el agua son también muy diversas, y dependen del terreno por donde discurre el agua, del tiempo de viaje y de la edad de las rocas por donde viaja. Debido a su gran poder disolvente, el agua es capaz de cargarse de sales muy variadas, obtenidas de las rocas por las que pasa.

2.2.5 Densidad, δ .

La densidad absoluta (δ) de un cuerpo se define como la relación entre su masa (m) y el volumen (V) que ocupa, es decir, es la masa por unidad de volumen;

$$\delta = \frac{m}{V}$$

En el sistema internacional (SI), la densidad se mide en Kg/m^3 o en gr/cm^3

Por lo general, la densidad varía para una misma sustancia líquida en función de la temperatura (a mayor temperatura menor densidad), de la presión (a mayor presión mayor densidad) y de la salinidad (a mayor salinidad mayor densidad). Puesto de manera sencilla, si la masa es la medida de cuánto 'material' tiene un objeto, entonces la densidad es la medida de cuán compactado está ese 'material'.

2.3 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

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). Dentro de las primeras se encuentran: arsénico, flúor y elementos radiactivos, entre otros (Nielsen, 1991); mientras que en las segundas se incluyen bacterias, virus, nitratos, orgánicos sintéticos e hidrocarburos (solventes, pesticidas, etc.) y materiales pesados.

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.

Los acuíferos costeros pueden contaminarse por intrusión salina y las fosas sépticas son, quizá, las fuentes de aguas residuales que más contribuyen a la contaminación del agua subterránea.

3. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

El Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH de la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuenta con los equipos a continuación mencionados para la obtención y posterior análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros construidos en la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga:

- **Sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2**, cuyas características se describen y su respectivo manual, obtenido durante el desarrollo de este trabajo el cual se presenta en el anexo A.
- **Bomba peristáltica** “1920.57.00 sumergible COMET-COMBI 24-4T”, descrita en el numeral 3.2.3.

Mediante el uso de estos equipos es posible obtener los perfiles de propiedades fisicoquímicas de aguas subterráneas muestreadas en piezómetros.

En el presente capítulo se hará una descripción de los aspectos más relevantes del trabajo y procedimientos llevados a cabo en campo.

3.1 GENERALIDADES DEL TRABAJO EN CAMPO

Se realizaron cerca de siete campañas de medición y obtención de perfiles de parámetros fisicoquímicos en cuatro piezómetros en total, dos piezómetros ubicados en el barrio Bajos de Pan de Azúcar llamados Piezómetro Pan de Azúcar N°. 1 (Superficial) y Pan de Azúcar N°. 2 (Profundo), y dos Piezómetros ubicados en el Parque La Flora llamados Piezómetro Parque La Flora No.1 (Superficial) y Piezómetro Parque La Flora No. 2 (Profundo). Las tomas de datos se iniciaron el día tres (3) de marzo de 2009, hasta el día dieciséis (16) de marzo de 2010, lo cual permitió tener muestras e información representativa de cerca de un año.

3.2 EQUIPOS PARA EL TRABAJO EN CAMPO

El trabajo de toma de datos en campo (muestreo) requiere que se emplee equipos específicos que se describirán a continuación, estos equipos son todos aquellos implementos que son útiles para suministrar las condiciones adecuadas en la toma de datos.

3.2.1 OBTENCIÓN DE PERFILES



Figura. 1 Trabajo de campo con la Sonda Multiparámetro

Para la obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga, se cuenta con la **sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2**, el uso de este instrumento fue considerado tan primordial para el desarrollo del presente proyecto de grado, que se ha hecho un manual de uso específico para el instrumento en cuestión (por favor remítase a los anexo A de este trabajo). Este equipo fue adquirido para llevar a cabo una serie de muestreos en la región.

Este es un equipo portátil, fácil de manejar, tiene una buena precisión (ver tabla Anexo A1), lo que hace que la efectividad del trabajo de campo sea muy satisfactoria y así obtener resultados inmediatos y de alta calidad, ya que este

sirve como laboratorio móvil para la medición de parámetros de calidad del agua subterránea.

3.2.2 NIVEL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El equipo especializado para este fin es el **sensor de profundidad**, el cual fue diseñado como una cinta métrica y que en su punta tiene un electrodo que al entrar en contacto con el agua produce un sonido monofónico tipo “**Bip**”.



Figura. 2 Sensor de Profundidad.

Igualmente el control y monitoreo del nivel de las aguas subterráneas puede ser realizado con la **sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2**, la cual cuando se encuentra en la función “**DIPPER MODE**” (ver **ANEXO A7**) produce un sonido monofónico tipo “**Bip**” cuando entra en contacto con el agua, y gracias a sus características (cable con graduación y marcas decimétricas y métricas) es posible tomar el nivel de las aguas subterráneas.

3.2.3 PURGA DE LOS PIEZÓMETROS

“1920.57.00 sumergible COMET-COMBI 24-4T”, es el nombre técnico y referencia de fabrica de la **bomba peristáltica**; esta es una bomba utilizada para el abatimiento y limpieza (purga) de piezómetros, las características técnicas de este equipo se observan en la tabla numero 3.



Altura: 480mm

Figura. 3 Bomba Peristáltica

	VALOR	UNIDAD
Altura de la Bomba "h"	480	mm
Diámetro	20	mm
Longitud del cable	40	m
Longitud de la Manguera	40	m
Voltaje	24	V= (Voltios)
Amperaje	11.5	A (Amperios)
Peso	5.3	Kg
Altura máxima entrega agua	36	m

Tabla 3. Características técnicas Bomba Peristáltica.

En la figura 3 se observa la bomba peristáltica, a continuación en la figura 4 se presenta el diagrama de capacidad de la bomba peristáltica, y posteriormente las condiciones de carga y el funcionamiento de esta.

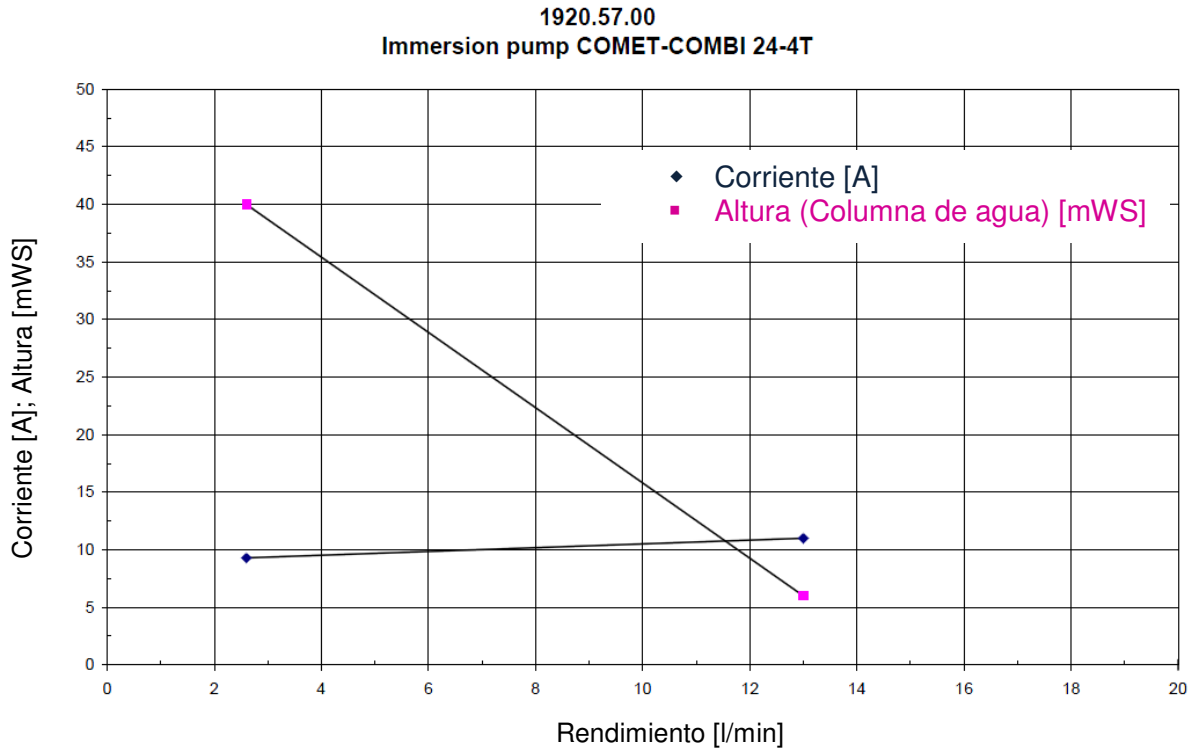


Figura. 4 Diagrama de capacidad de la bomba peristáltica.

1 mWassersäule (columna de agua) (mWS) = 0,0980665 bar

1 mmWS = 0,0980665 mbar = 9,80665 Pa

- Estas bombas se fabrican para el muestreo de las aguas subterráneas y no son adecuadas para el funcionamiento continuo.
- Para la **bomba peristáltica** se recomienda un intervalo de uso de 5 minutos de extracción de agua y 10 minutos para la refrigeración de esta. (<http://www.comet-pumpen.de>).
- La capacidad de extracción de agua es inversamente proporcional a la profundidad a la cual este trabajando la **bomba peristáltica** (Ver Figura 4).

- La alimentación de la **bomba peristáltica** es a través de dos baterías recargables de gel ácido de 12V= y 12A (Ver Figura 5), las cuales se deben conectar en serie para obtener los 24 voltios que requiere la **bomba peristáltica**, se debe tener especial cuidado en esto, ya que de otro modo se coloca en peligro la integridad y el buen funcionamiento de la **bomba peristáltica**.



Figura. 5 Batería recargable de gel ácido.

- La carga de las baterías dura un promedio teórico de trabajo de cuatro (4) horas, cumpliendo los intervalos recomendados de extracción y refrigeración de la **bomba peristáltica**.
- La recarga de las baterías se debe hacer en serie, y durante un tiempo igual o superior a seis (6) horas (recomendado por el fabricante) con su respectivo cargador.
- Durante la purga de los piezómetros se debe tener especial cuidado con las aguas extraídas por la bomba, ya que al trabajar con elementos eléctricos se tiene el peligro constante de una descarga eléctrica.
- Siempre las baterías se deben colocar sobre una superficie limpia y seca.

4. MARCO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El área de estudio está ubicada en la región de la Cordillera Oriental, en el Nororiente de Colombia, más específicamente en Área Metropolitana de Bucaramanga, limitados por las coordenadas topográficas:

El área de estudio se ubica ente las coordenadas planas

X : 1.105.000 X : 1.123.000

Y : 1.276.000 Y : 1.282.000

De las planchas: 120 – II – B, 121 – I –A y 119 –IV – D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X:1´000.000 y Y:1´000.000, ubicado en la ciudad de Bogotá . Políticamente el área de estudio pertenece al municipio de Bucaramanga. En este capítulo se presenta la localización exacta de los piezómetros y su geología local.

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DEL PROYECTO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

La estructura determina, en buena parte, la situación de las capas permeables dentro de la cuenca. Puede dar lugar a que un acuífero quede o no conectado con un determinado curso de agua, o hacer que el agua que procede de un acuífero, fluya hacia un manantial que a su vez alimente la corriente principal de una cuenca, tenga su origen en la infiltración de lluvia que se produce en un afloramiento de la misma formación permeable situado en otra cuenca, a veces ni siquiera colindante con la del manantial. Como consecuencia de lo anterior se da el hecho de que en muchas ocasiones la cuenca superficial no coincide con la cuenca de aguas subterráneas, esta situación depende en buena parte de la estructura geológica.

En la región de investigación la estructura geológica compleja dada por uno de los mayores accidentes estructurales del país, como es la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y sus fallas asociadas, genera condiciones y sistemas hidrogeológicos complejos. La zona de estudio se divide en dos regiones bien diferenciadas: la zona oriental que presenta un relieve montañoso y pronunciado compuesto por rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander (Cuarzomonzonita, granito y Neis respectivamente), la zona occidental con un relieve más suave, que contiene formaciones denominadas “mesas”, correspondientes a depósitos cuaternarios (Meseta de Bucaramanga) y rocas sedimentarias. Estas dos zonas se encuentran separadas por la falla Bucaramanga la cual pasa por los costados orientales de los cascos urbanos de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta. El sector occidental está dividido, a su vez, en dos subsectores debido a la presencia de la falla denominada de Girón o Suárez - Río de Oro. Estos subsectores son La Mesa de Lebrija al occidente y la Terraza de Bucaramanga al oriente, que comprende el área de la Meseta de Bucaramanga, en donde se asienta la ciudad e incluye, a su vez, la Mesa de Ruitoque y el Valle del Río de Oro, los dos sistemas de falla principales generan la conocida dovela de Bucaramanga. (Gómez, Colegial 2003).

A continuación en la figura 7 se presenta una aproximación a un esquema de meteorización en el cuerpo intrusivo del macizo de Santander entre los puntos de interés (Bajos de Pan de Azúcar – La Flora), se observa el contacto entre la zona de transición ígnea metamórfica y la formación aluvial, igualmente se observa la identificación de dos niveles de agua diferentes.

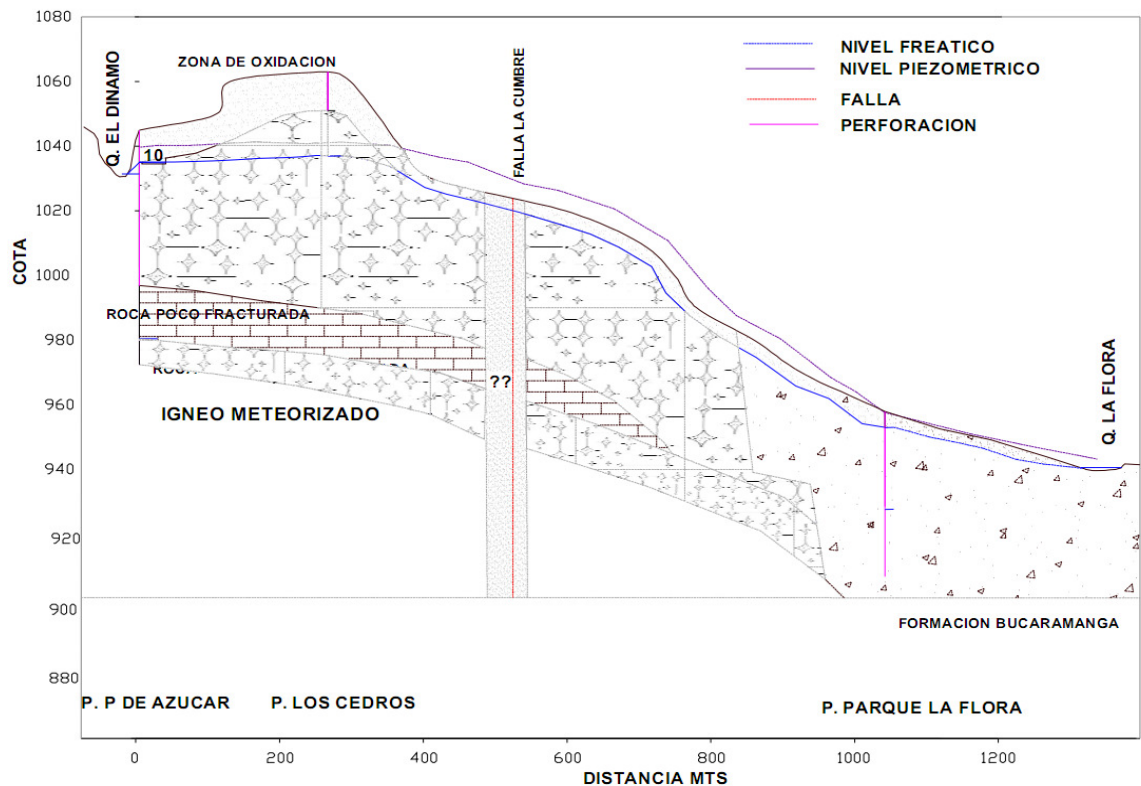


Figura 6. Aproximación a un Esquema de meteorización en el cuerpo intrusivo del Macizo de Santander. Pan de Azúcar – La Flora. (Gómez, Colegial 2003).

4.2 UBICACIÓN Y REFERENCIA GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

A continuación se presenta la ubicación geográfica del proyecto.

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 B/manga)
		N=1278000.00		
Parque la Flora No. 2 (Profundo)	Parque La Flora	E=1107283.305	955.812	Aluvial (Formación B/manga)
		N=1278187.461		

Tabla 4. Denominación de los pozos (Gómez -Colegial 2003)

Los dos piezómetros del barrio Bajos de Pan de Azúcar se encuentran ubicados en la carrera 56 con calle 51 de la ciudad de Bucaramanga, igualmente en la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga se encuentran los otros dos piezómetros al interior del Parque la Flora ubicado en la calle 57 entre carrera 33 y carrera 36.



Figura. 7 Ubicación piezómetros Pan de Azúcar y Parque la Flora en la ciudad de Bucaramanga.

4.3. GEOLOGÍA LOCAL Y DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS EN BAJOS DE PAN DE AZÚCAR

Un piezómetro o pozo de observaciones es una excavación vertical, en la que se introduce adecuadamente un tubo (Ver figura 8), que puede ser de PVC, cuyo extremo inferior se encuentra unido a un acuífero de tipo libre o confinado, y por esto permite el ascenso de agua por su propia presión hidrostática. Dependiendo del tipo de acuífero cambiará el diseño y construcción del piezómetro.

Estos piezómetros fueron perforados por la Corporación de defensa para la meseta de Bucaramanga (CDMB), con la asesoría de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Permitiendo conocer los niveles de agua en la zona aportando

nuevos datos en la construcción de modelo conceptual del flujo hacia la mesta de Bucaramanga. Los objetivos de la perforación tenían por fin la investigación de las condiciones hidrogeológicas del subsuelo e inicialmente la ubicación de un piezómetro, el transcurso de la perforación, se logro identificar dos acuíferos, lo cual hizo necesario separar dichos niveles freáticos. (Gómez, Colegial, 2003.)

4.3.1 GEOLOGÍA LOCAL BAJOS DE PAN DE AZÚCAR

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

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

Tabla 5. Descripción litológica pozos Pan de Azúcar Fuente: (Gómez, Colegial, 2003)

4.3.2 DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS BAJOS DE PAN DE AZÚCAR

Los piezómetros se diseñaron teniendo en cuenta la columna litológica encontrada en cada perforación y la aparición de niveles de agua que fueron adecuadamente Diferenciados.

Para el piezómetro N°1 una vez terminadas las operaciones de perforación en un tamaño de 3" y una profundidad total de 20 metros con un nivel freático a los 10 metros. Se revistió el piezómetro en tubería PVC de 2"; los filtros se realizaron en toda su longitud. Como material de filtro se instalo gravilla n°2, con un peso específico de 1.63 ton/m³. a los 50 cm se instalo un sello sanitario en concreto y tapa en hierro (Gómez, colegial, 2003.), este piezómetro tiene como finalidad mostrar el comportamiento del acuífero superficial. (Ver figura 8).

Para el Piezómetro N°2 ubicado a una distancia de 2.5 metros del piezómetro N°1 hacia el oriente se perforo un segundo piezómetro. Al igual que el piezómetro N°1 la perforación se realizo con un tamaño de 3" y una profundidad total de 70 metros con un nivel freático a los 6.6 metros. Se revistió el piezómetro en tubería PVC de 2"; los filtros tienen una longitud de 12 metros los cuales van desde los 58 a los 70 metros. Como material de filtro se instalo gravilla N°2, con un peso específico de 1.63 Ton/m³ sobre esta una transición de arena gruesa y arena fina y sobre esta un sello de bentonita. A los 50 cm se instalo un sello sanitario en concreto y tapa en hierro. (Gómez, Colegial, 2003.), a continuación en la figura 8 se observa un esquema del diseño de los dos piezómetros perforados en el barrio Bajos de Pan de Azúcar.

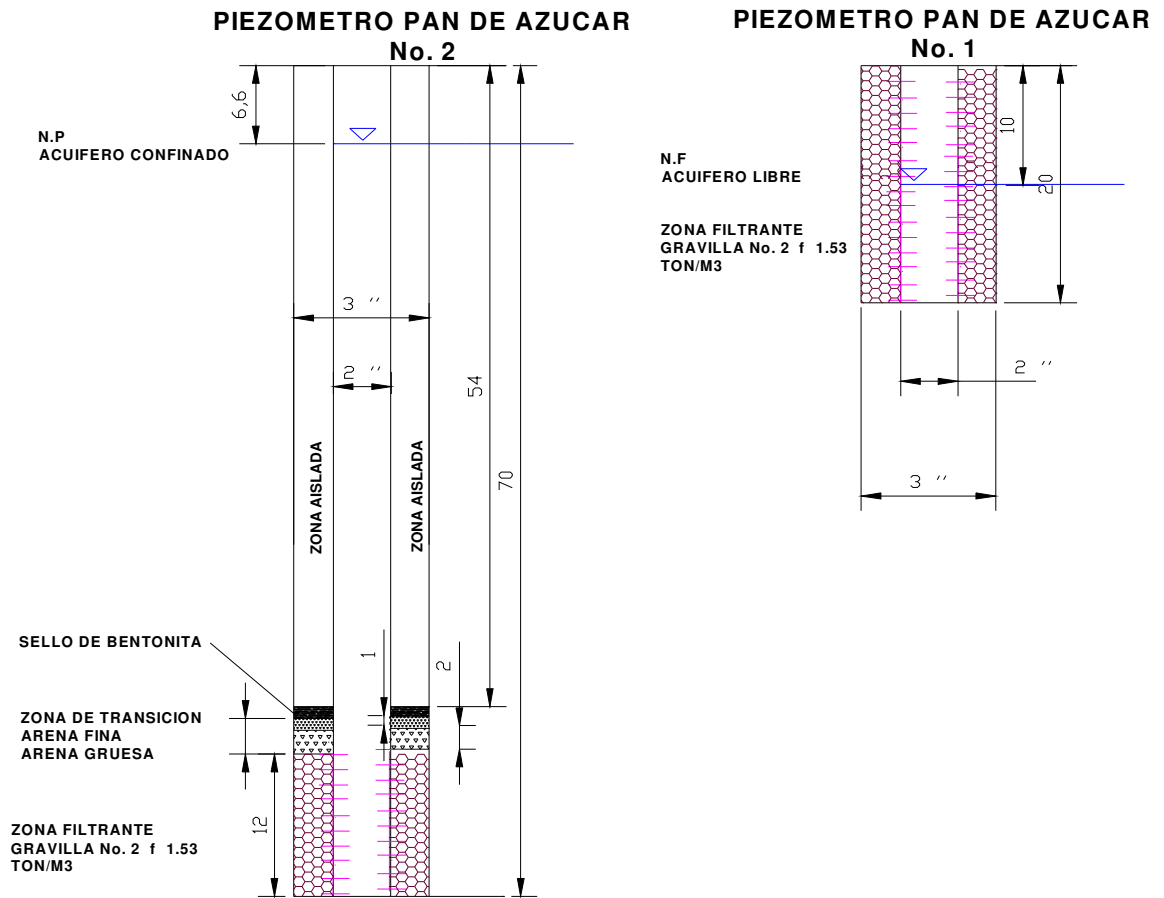


Figura 8. Diseño de piezómetros Bajos de Pan De Azúcar (Gómez, Colegial, 2003.)

4.4 GEOLOGÍA LOCAL EN LOS PIEZÓMETROS DEL PARQUE LA FLORA

Rodeando el perímetro del Área Metropolitana de Bucaramanga, se presentan 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.

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 las poblaciones de Girón, Floridablanca y Piedecuesta. 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 Organos (Qbo), miembros finos (Qbf), miembro gravoso (Qbg) y miembro limos rojos (Qblr):

- Miembro Organos (Qbo)

Se estima que su espesor podría superar los 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.

- 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 y 40 cm.

La parte superior de este miembro es mas arenosa y muestra alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcóscicos 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.

- Miembro Gravoso (Qbg)

Este miembro esta 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. (De Bermoudes, Vásquez, 2004).

Se tiene a continuación en la tabla 6, de acuerdo a un sondeo eléctrico vertical SEV hecho en el año 2003 la Columna Estratigráfica del Parque La Flora (Gómez, Colegial, 2003).

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

Tabla 6. Columna Estratigráfica Sondeo Eléctrico Vertical SEV 2003 Parque La Flora (Gómez, Colegial 2003)

Este sondeo muestra la roca ígnea por debajo de los 10 metros, con una buena porosidad secundaria debido al fracturamiento y meteorización, lo cual indica que este nivel se encuentra saturado de agua, a continuación en la figura 9 se muestra el esquema en perfil de los piezómetros construidos en el Parque La Flora

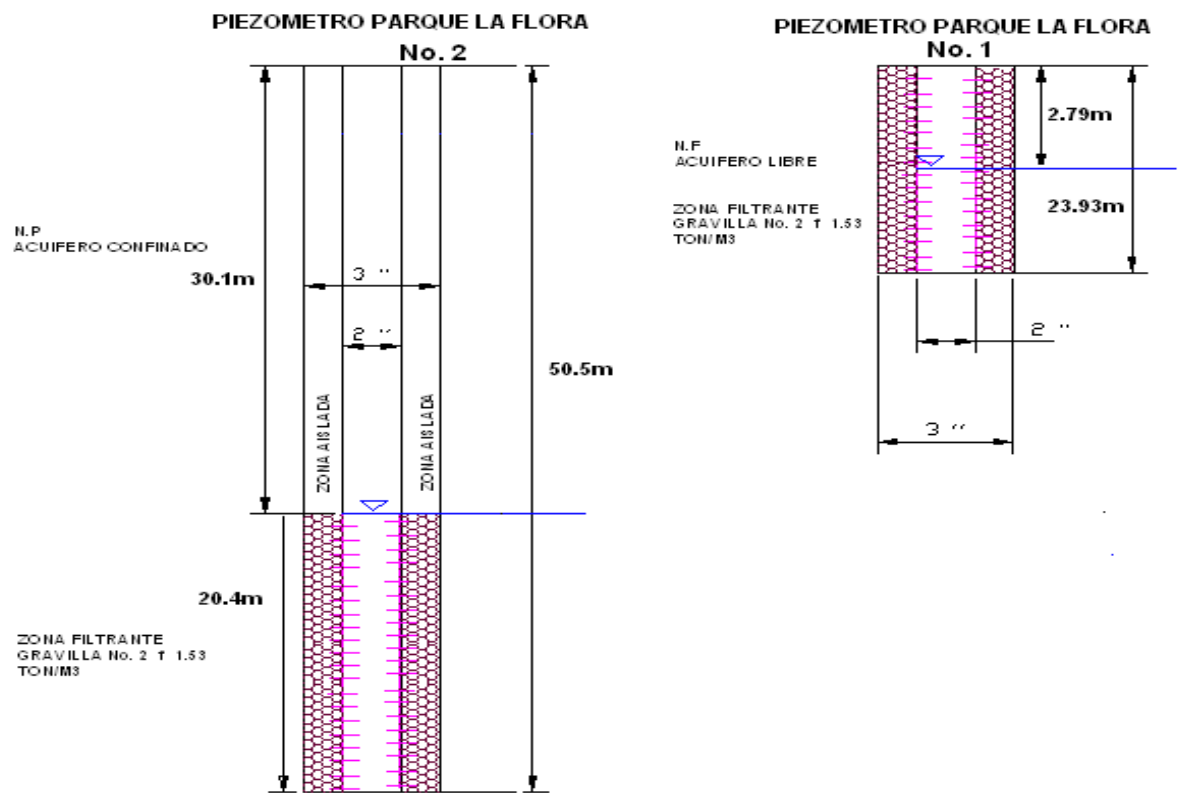


Figura 9. Esquema piezómetros “Parque La Flora”

5. INFORMACIÓN DE PERFILES OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los piezómetros de análisis se realizaron entre seis y/o siete campañas de muestreo dependiendo del piezómetro, en las siguientes fechas.

Campaña de muestreo Número.	Piezómetro.			
	Parque La Flora No.1 (Superficial)	Parque La Flora No.2 (Profundo)	Pan de Azúcar No.1 (Superficial)	Pan de Azúcar No.2 (Profundo)
	Fecha de muestreo			
1	03/03/2009	03/03/2009	04/06/2009	04/06/2009
2	17/04/2009	17/04/2009	10/06/2009	10/06/2009
3	29/03/2009	29/03/2009	29/03/2010	29/03/2010
4	01/04/2010	06/06/2009	01/04/2010	01/04/2010
5	07/04/2010	01/04/2010	07/04/2010	07/04/2010
6	16/04/2010	07/04/2010	16/04/2010	16/04/2010
7		16/04/2010		

Tabla 7. Fechas campañas de muestreo Piezómetros Bajos de Pan de Azúcar y Parque La Flora.

Se tiene que hacer la salvedad que los cuatro piezómetros fueron sometidos a un procedimiento de purga en el mes de febrero de 2010 para reducir el nivel de finos que se acumulan en el fondo, (esto se da por no haber sido desarrollados los piezómetros, ya que esta es una etapa fundamental en la construcción de pozos de bombeo, pero no de piezómetros) y evitar la dispersión de los datos de 2009 con respecto a los datos del año 2010.

El criterio para hacer el análisis de los datos fue descartar los muestreos que presentaban gran dispersión (Por efectos de colmatación los del año 2009), y a continuación en los muestreos no descartados se determinó un rango de análisis teniendo en cuenta los efectos de la temperatura ambiente y las características geológicas del sitio en el cual se encuentran el piezómetros, dando así como límite superior (de arriba hacia abajo) la influencia del calor a lo largo del día y a lo largo

del año, debido a que terreno se calienta y se enfría , y el agua por su mayor poder calorífico, toma o cede calor para tratar de compensar estos efectos, los cuales son tanto más notables cuanto más próxima este la superficie. Si una variación de ± 0.1 °C no es apreciable, puede admitirse que el efecto de variaciones en el aporte del calor solar son insensibles a profundidades del orden de 25m.(Schoeller 1962), y un límite inferior en el punto donde los parámetros variaron bruscamente llegando al fondo del piezómetro.

5.1 SITIO DE MUESTREO: BAJOS DE PAN DE AZÚCAR

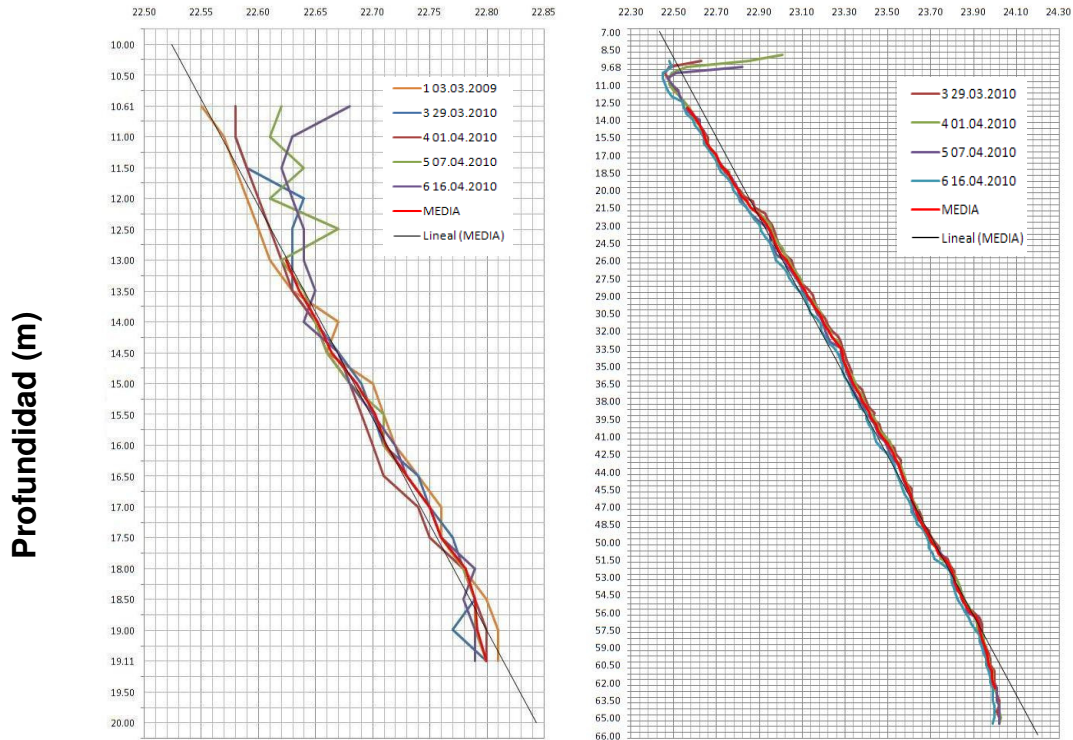
A continuación se analizarán los parámetros registrados en los piezómetros de bajos de Pan de Azúcar los cuales miden acuíferos profundos y superficiales.

5.1.1 Temperatura

Siguiendo el criterio ya expuesto, el rango utilizado para el piezómetro N°1 va desde 13m (Ver grafica 1) de profundidad en donde se puede ver que la tendencia de los datos es uniforme de ahí hasta el fondo del piezómetro a los 19.11m. para el piezómetro N°2 el rango de utilizado fue desde los 13 metros hasta los 62.50 metros en donde por efectos de colmatación del piezómetro hay cambios bruscos en los valores de conductividad, y sólidos disueltos totales TDS.

A continuación en la grafica 1 se observan los perfiles para el parámetro de temperatura obtenidos en los piezómetros de Pan de Azúcar, con su respectiva línea de tendencia para determinar el gradiente geotérmico que se presenta en cada acuífero, superficial Libre (Piezómetro Pan de azúcar No.1) o Profundo confinado (Piezómetro Pan de azúcar No.2).

Temperatura



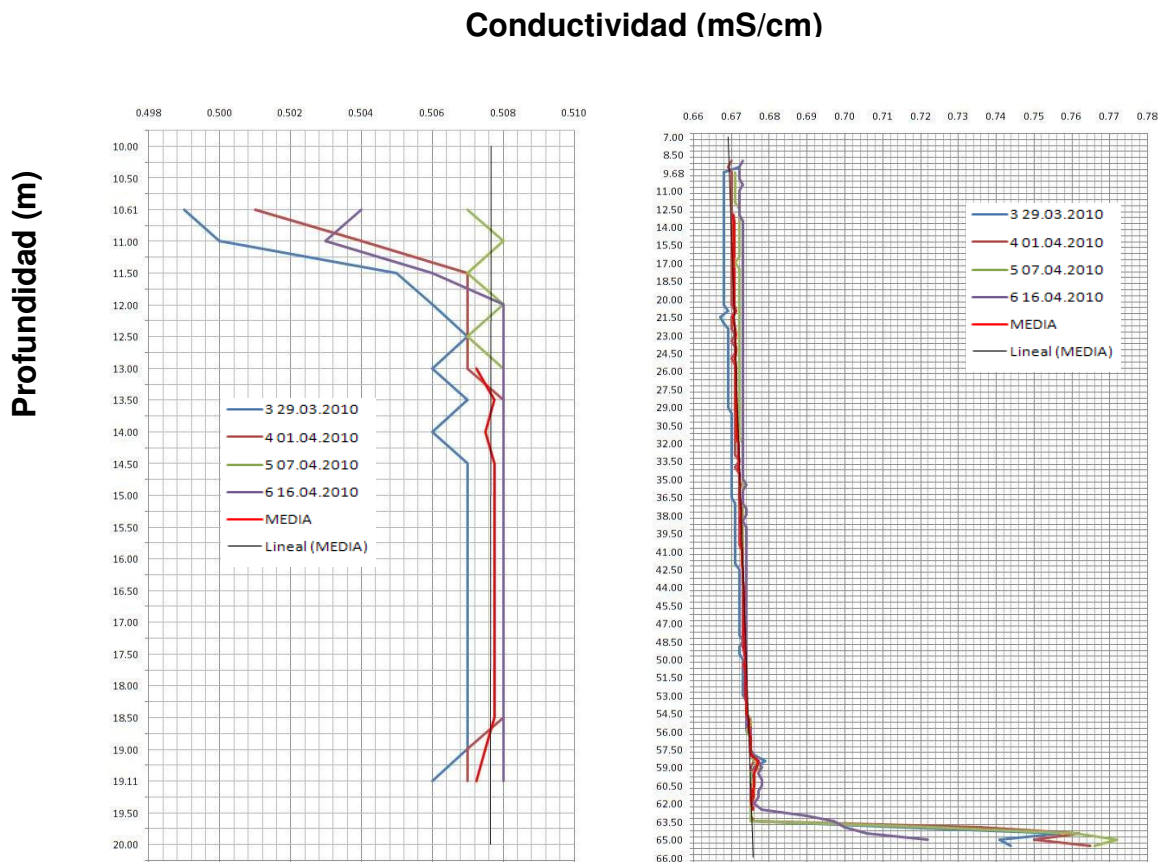
Grafica 1. Perfil tendencia de temperatura Piezómetros Pan de Azúcar. (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

A continuación se procedió a calcular la media aritmética del rango de datos por ordenada (profundidad), con la cual se garantiza un comportamiento medio del piezómetro, graficando estos datos se obtiene mediante una regresión lineal una curva que ajusta el comportamiento de la temperatura en profundidad.

El gradiente geotérmico se define como la profundidad a la cual la temperatura del agua subterránea aumenta 1 °C. (Custodio, Llamas, 1996), en cuyo caso el valor medio para el piezómetro de Pan de azúcar No.1 sería de 34.4 m. para el piezómetro Pan de Azúcar No.2 el gradiente geotérmico sería de 33.9m.

5.1.2 Conductividad

Se estableció tomar el mismo rango que en el análisis de los perfiles de temperatura, debido a que los parámetros de conductividad no influyen en la temperatura, más la temperatura si tiene una acción directa en estos, a continuación en la grafica 2 se observan los perfiles obtenidos de conductividad.



Grafica 2. Perfil Tendencia Conductividad Piezómetros Pan de Azúcar. (De izquierda a derecha piezómetro No.1, piezómetro No.2)

En el piezómetro Pan de Azúcar No.2, se ve un cambio de la conductividad en el cerca al fondo de este, esto se debe a los efectos de la colmatación del piezómetro, efecto que se puede observar también en los parámetros de salinidad y sólidos disueltos totales TDS. En el piezómetro Pan de Azúcar No.1 no se visualiza un cambio notable en la conductividad, ya que por su profundidad de solo

19.11 m no alcanza a elevarse la temperatura debido al gradiente geotérmico para así obtener una relación de cambio de la conductividad con la temperatura; la conductividad promedio en este piezómetro es de 0.508mS.

Para el piezómetro Pan de Azúcar No.2, el gradiente geotérmico es del orden de 33.9m, es decir la temperatura aumenta 1 °C cada 33.9m de profundidad, el cual se aproxima a 34m, con este se criterio calculan dos valores dentro del rango de datos tomado que estén separados 34m, a continuación en la tabla 8 se presenta la relación de cambio de la conductividad por cada grado centígrado que aumenta la temperatura en el piezómetro, entonces se tiene que.

Profundidad		Conductividad		%ΔC	Media %ΔC
13	m	0.671	mS/cm	0.297	0.371
47	m	0.673	mS/cm		
14	m	0.671	mS/cm	0.297	
48	m	0.673	mS/cm		
15	m	0.671	mS/cm	0.297	
49	m	0.673	mS/cm		
16	m	0.671	mS/cm	0.445	
50	m	0.674	mS/cm		
17	m	0.671	mS/cm	0.445	
51	m	0.674	mS/cm		
18	m	0.671	mS/cm	0.445	
52	m	0.674	mS/cm		

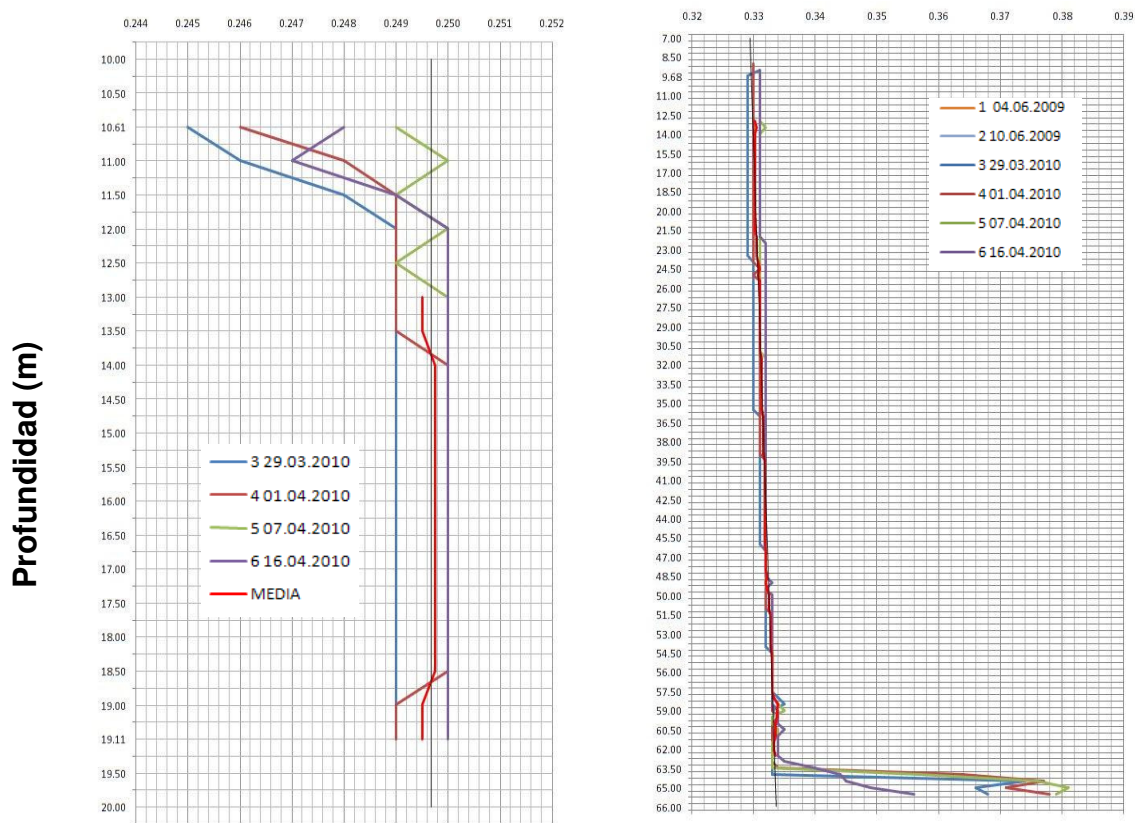
Tabla 8. Cálculo %Δ Conductividad Piezómetros Pan de Azúcar No. 2

Según esto la variación de la conductividad en el piezómetro pan de azúcar No. 2 crece a una tasa de $0.371 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}^2$; la conductividad promedio en este piezómetro es de 0.675mS .

5.1.3 Salinidad

El criterio a seguir para la obtención del comportamiento del parámetro de salinidad en los piezómetros presentados a continuación es el mismo que se siguió para el análisis del parámetro de conductividad, ya que la salinidad y la conductividad están directamente ligadas y su comportamiento en profundidad es similar.

Salinidad (SAL (ppm))



Grafica 3. Perfil Tendencia Salinidad Piezómetros Pan de Azúcar (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro Pan de Azúcar No.2, se ve un cambio en la salinidad en el fondo de este, esto se debe a los efectos de la colmatación del piezómetro, efecto que se puede observar también en los parámetros de conductividad y sólidos disueltos totales TDS.

En el piezómetro Pan de Azúcar No.1 no se visualiza un cambio, solo que la salinidad promedio en el piezómetro es de 0.250 ppm. En el piezómetro Pan de Azúcar No.2 si se pudo obtener la tendencia de salinidad por las características del mismo expuestas anteriormente en el análisis del parámetro de conductividad (ver numeral 5.1.2), es así como en la tabla 9 se presenta la relación de cambio de la salinidad por cada grado centígrado que aumenta la temperatura en el piezómetro.

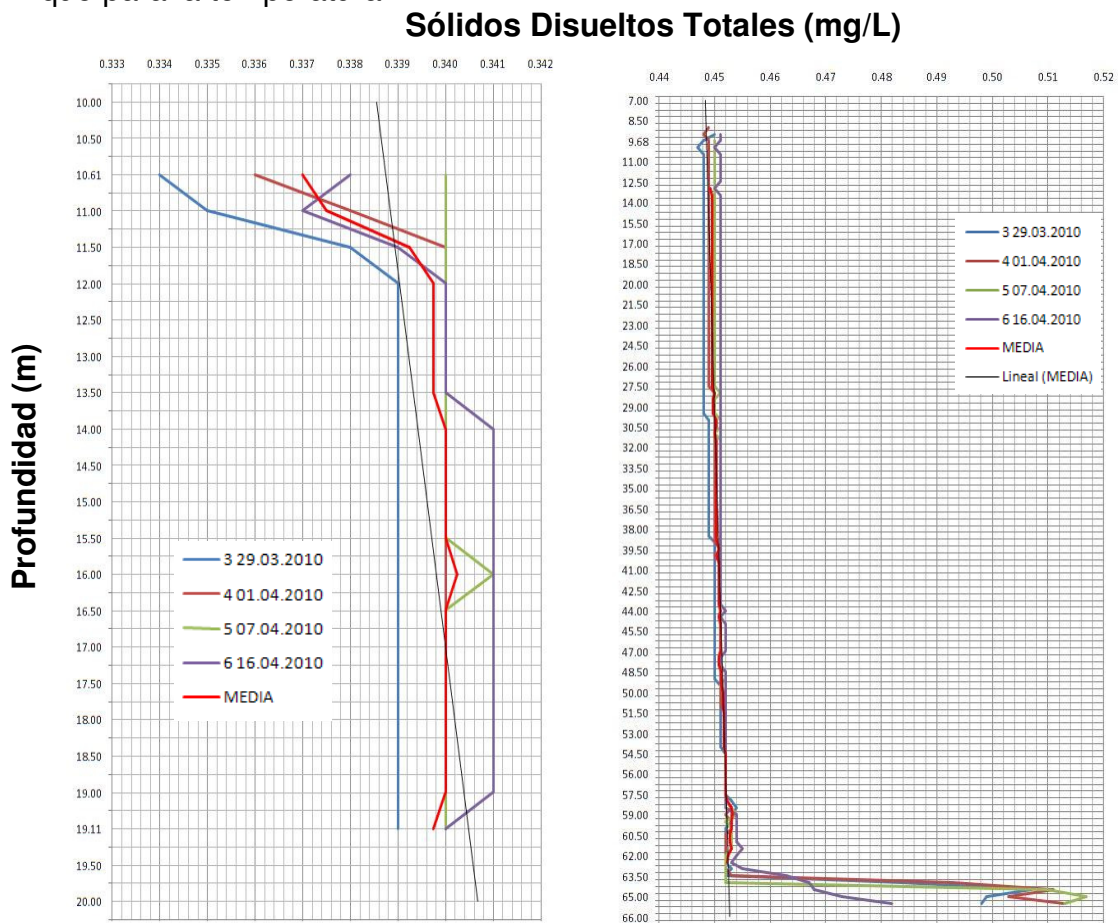
Profundidad		Salinidad		%Δ Salinidad	Media %Δ Salinidad
13	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.602	0.752
47	m	0.332	SAL (ppm-mg/L)		
14	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.602	
48	m	0.332	SAL		
15	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.602	
49	m	0.332	SAL (ppm-mg/L)		
16	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.901	
50	m	0.333	SAL (ppm-mg/L)		
17	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.901	
51	m	0.333	SAL (ppm-mg/L)		
18	m	0.330	SAL (ppm-mg/L)	0.901	
52	m	0.333	SAL (ppm-mg/L)		

Tabla 9. Cálculo %Δ Salinidad Piezómetro Pan de Azúcar No. 2

Según esto la variación de la salinidad en el piezómetro pan de azúcar No. 2 crece a una tasa de $0.752 \text{ } \text{‰}/\text{°C}$, la salinidad promedio en el piezómetro es de 0.332 ppm

5.1.4 Sólidos disueltos totales TDS

Al aumentar los sólidos disueltos totales TDS, en el agua la conductividad también aumenta por lo tanto para poder comparar los resultados se tomo el mismo rango que para la temperatura.



Grafica 4. Perfil Tendencia Sólidos Disueltos Totales TDS Piezómetros Pan de Azúcar (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro Pan de Azúcar No.2, se ve un cambio en los sólidos disueltos totales TDS en el fondo de este, esto se debe a los efectos de la colmatación del piezómetro, efecto que se puede observar también en los parámetros de conductividad y salinidad.

Los parámetros de salinidad y sólidos disueltos totales TDS, están directamente relacionados con la conductividad, así que el comportamiento de estos parámetros es similar al comportamiento de este parámetro, el piezómetro N°1 no se visualiza un cambio, solo que los sólidos disueltos totales son en promedio en el piezómetro es de 0.340 mg/L.

Para el piezómetro N°2 se realiza el mismo procedimiento para hallar la tendencia de la salinidad, el gradiente geotérmico para este piezómetro es del orden de 33.9m, es decir la temperatura aumenta 1°C en 33.9m, el cual aproximamos a 34m, con este criterio se calculan dos valores dentro del rango de datos tomado que estén separados 34m, debido a la relación directa entre la conductividad y sólidos disueltos, a continuación en la tabla 10 se presentan los resultados de este análisis.

Profundidad		TDS		%Δ TDS	Media %Δ TDS
13	m	0.449	mg/l	0.443	0.369
47	m	0.451	mg/l		
14	m	0.450	mg/l	0.222	
48	m	0.451	mg/l		
15	m	0.450	mg/l	0.222	
49	m	0.451	mg/l		
16	m	0.450	mg/l	0.442	
50	m	0.452	mg/l		
17	m	0.450	mg/l	0.442	

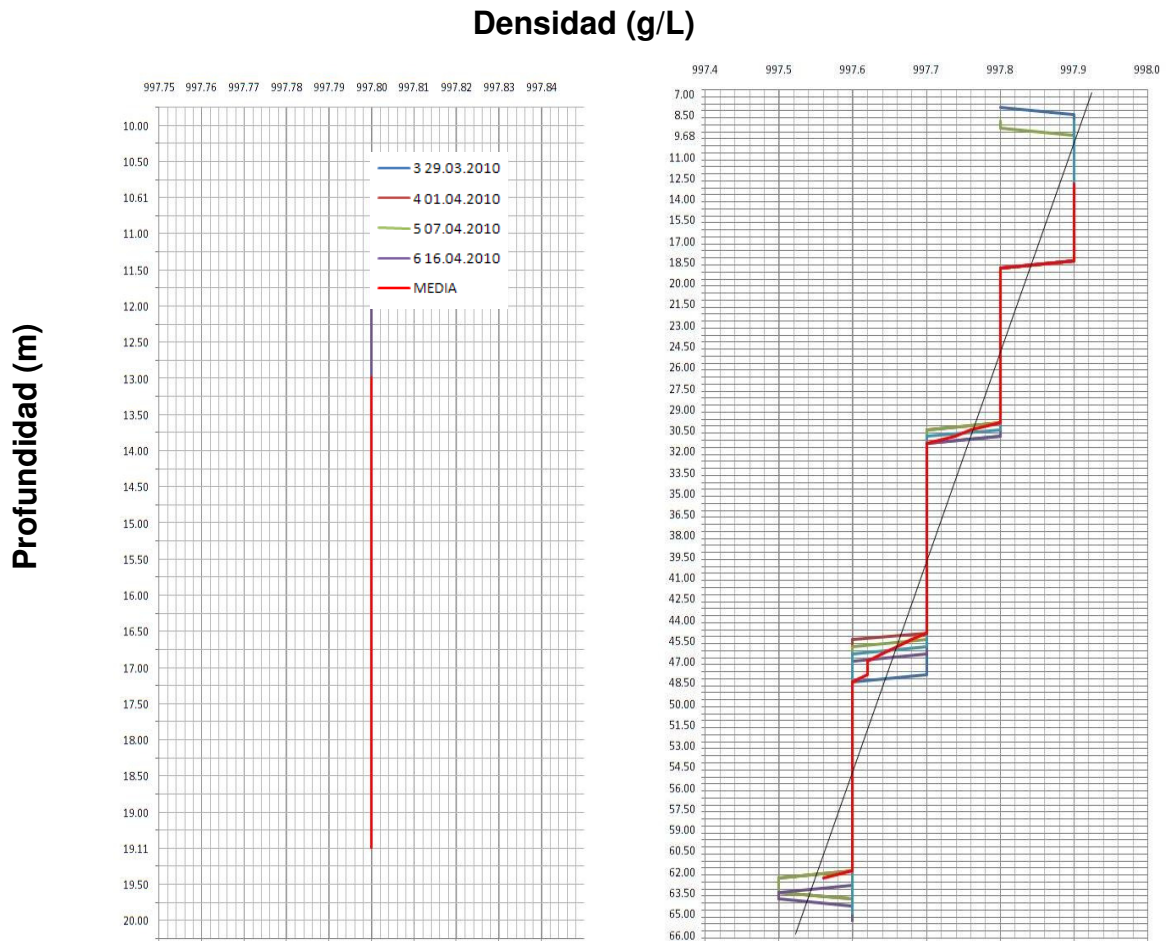
51	m	0.452	mg/l	
18	m	0.450	mg/l	0.442
52	m	0.452	mg/l	

Tabla 10. Cálculo %Δ TDS Piezómetro Pan de Azúcar No. 2

Según esto la variación de sólidos disueltos totales en el piezómetro pan de azúcar No. 2 crece a una tasa de $0.369 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$, los sólidos disueltos totales TDS promedio en el piezómetro son de 0.452 mg/L.

5.1.5 Densidad

Los efectos de la temperatura en la densidad, debido a que esta desciende a medida que la temperatura se eleva, es por eso que el criterio utilizado para su análisis es el mismo que en los anteriores parámetros, el rango de análisis será el mismo que el determinado para la temperatura.



Grafica 5. Perfil Tendencia Densidad Piezómetros Pan de Azúcar (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro N°1 no se visualiza un cambio, esto se debe a que en los procedimientos de purga fue el único piezómetro que fue purgado en su totalidad, retirando todos los finos suspendidos y eliminando los efectos producidos por la

colmatación, es así como se determina una densidad promedio en el piezómetro de 997.8 g/L.

Para el piezómetro N°2 se realiza el mismo procedimiento para hallar la tendencia de la densidad, el gradiente geotérmico para este piezómetro es del orden de 33.9m, es decir la temperatura aumenta 1°C en 33.9m, el cual aproximamos a 34m, con este criterio se calculan dos valores dentro del rango de datos tomado que estén separados 34m, los resultados del análisis hecho se presentan a continuación en la tabla 11.

Profundidad		Densidad		%Δ Densidad	Media %Δ Densidad
13.000	m	997.900	g/L	-0.028	-0.029
47.000	m	997.620	g/L		
14.000	m	997.900	g/L	-0.028	
48.000	m	997.620	g/L		
15.000	m	997.900	g/L	-0.028	
49.000	m	997.620	g/L		
16.000	m	997.900	g/L	-0.030	
50.000	m	997.600	g/L		
17.000	m	997.900	g/L	-0.030	
51.000	m	997.600	g/L		
18.000	m	997.900	g/L	-0.030	
52.000	m	997.600	g/L		

Tabla 11. Cálculo %Δ Densidad Piezómetro Pan de Azúcar No. 2

Según esto la variación de la densidad en el piezómetro Pan de Azúcar No. 2 decrece a una tasa de $-0.029 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$, ya que la densidad mengua cuando la temperatura aumenta, en este caso debido a los efectos del gradiente geotérmico

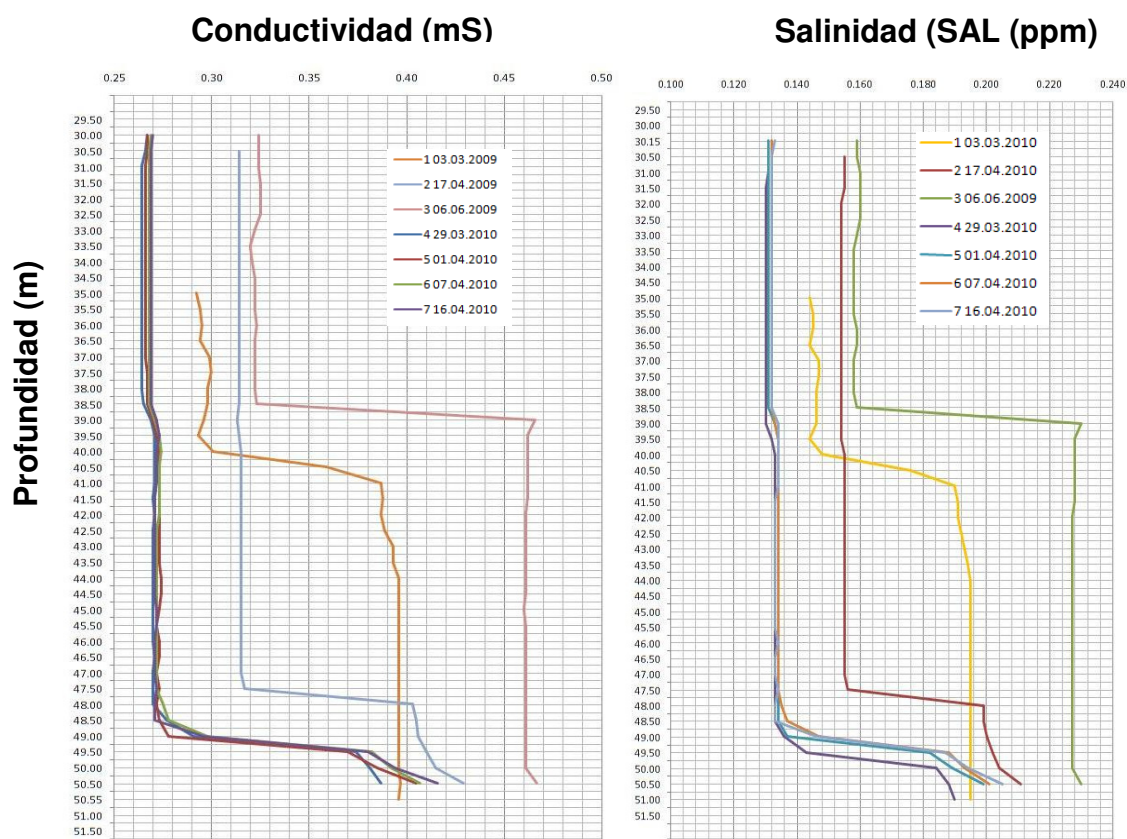
que afecta a las aguas subterráneas y que produce una elevación en la temperatura a razón de la profundidad. El cambio en densidad obtenido es mínimo, y de los piezómetros que hicieron parte de nuestro estudio solo se pudo determinar en este (Piezómetro Pan de Azúcar No.2) ya que es el único que presentaba las condiciones necesarias como son gradiente geotérmico y profundidad. Además otro aspecto importante es a densidad promedio, la cual para este piezómetro es de 997.7 g/L.

5.2 SITIO DE MUESTREO: PARQUE LA FLORA

A continuación se analizarán los parámetros registrados en los piezómetros del Parque La Flora los cuales miden acuíferos profundos y superficiales.

5.2.1 Contaminación piezómetro Parque La Flora No.2

En el piezómetro Parque la Flora No. 2 se pudo identificar la fuente de contaminación que estaba generando un elemento de un equipo de medición instalado dentro del pozo (guaya de seguridad en acero inoxidable) (ver Pardo, Martínez, 2009), gracias a esto se pudieron tomar acciones correctivas que evitaron que los datos suministrados pudieran estar viciados, purgando los pozos y utilizando este criterio para el cambio de elemento a un material recubierto con material plástico, el cual no generó más contaminación, además de descartar los tres muestreos afectados para el análisis de datos. A continuación en la gráfica 6 se presentan los perfiles de conductividad y salinidad de los siete muestreos realizados en este piezómetro, en donde los efectos de la contaminación de las aguas del acuífero por causa de la oxidación de la guaya pueden ser observados con claridad, se debe resaltar que los muestreos afectados corresponden a al mes de marzo de 2009.



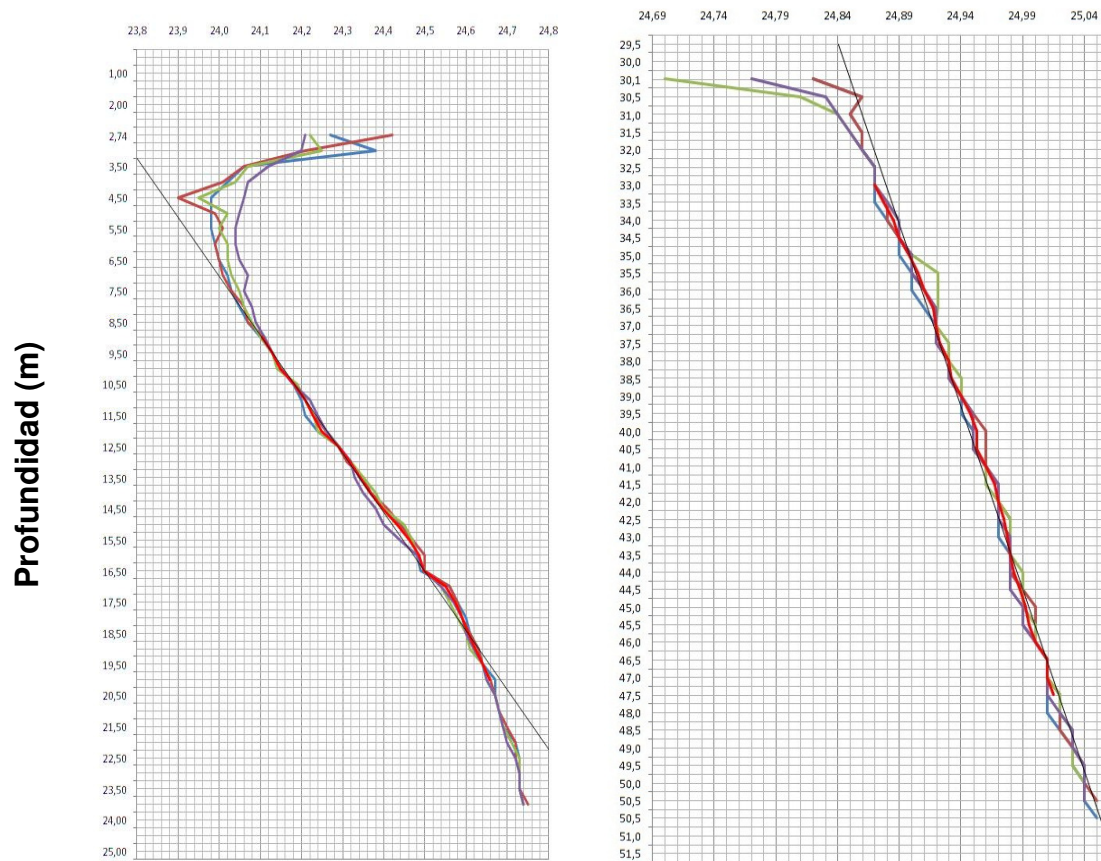
Grafi

ca 6. Cambio en los perfiles de conductividad y salinidad debido a contaminación por oxidación.

5.2.2 Temperatura

Siguiendo el criterio ya expuesto, el rango utilizado para el piezómetro N°1 va desde 9m (Ver grafica 7) de profundidad en donde se puede ver que la tendencia de los datos es uniforme de ahí hasta el fondo del piezómetro a los 20m, para el piezómetro N°2 el rango de utilizado fue desde los 33 metros hasta los 47.5 metros en donde por efectos de colmatación del piezómetro hay cambios bruscos en los valores de conductividad, y sólidos disueltos totales TDS (Ver grafica 6)

Temperatura



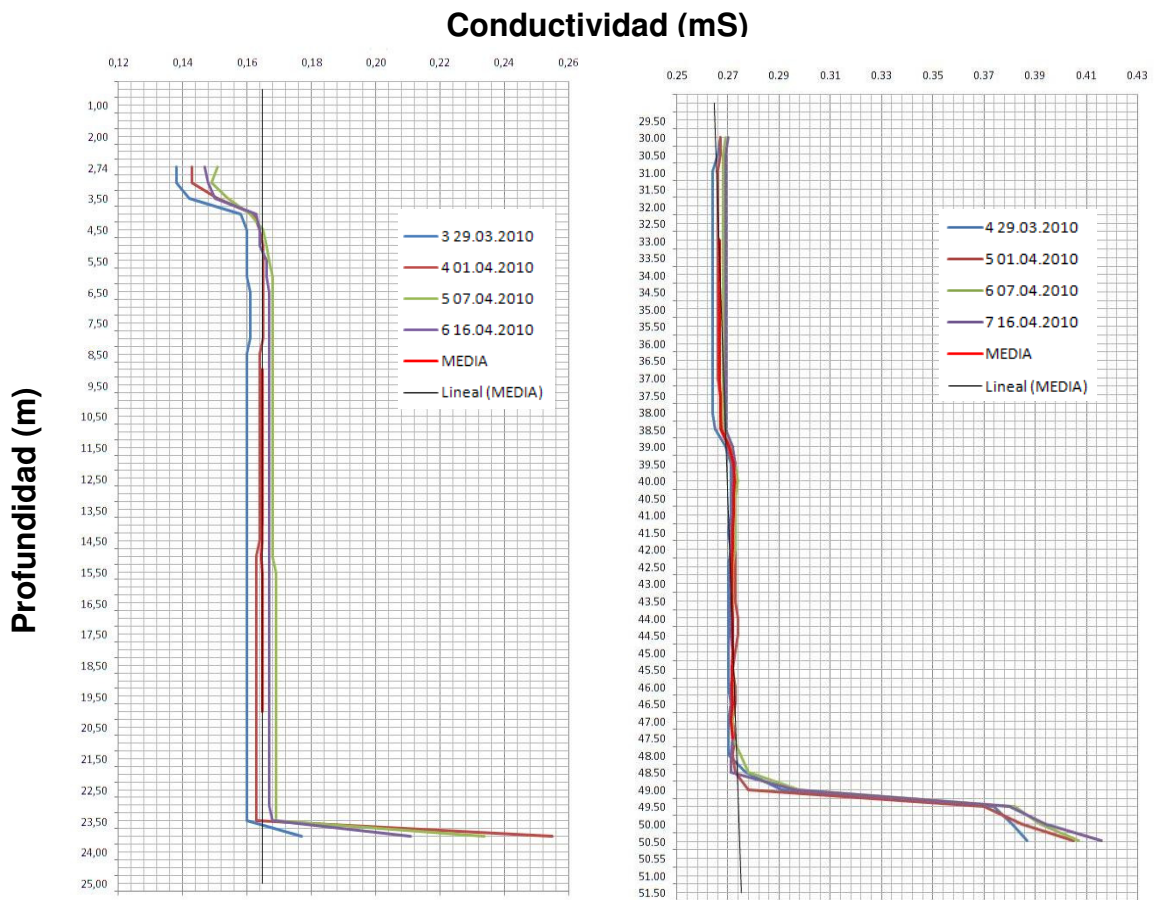
Grafica 7. Perfil Tendencia Temperatura Piezómetros La Flora (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

El gradiente geotérmico se define como la profundidad a la cual la temperatura del agua subterránea aumenta 1°C . (Ver Custodio-Llamas, 1996, pág. 1069), en cuyo caso el valor medio para el Piezómetro Parque La Flora No.1 sería de 18.95m y para el Piezómetro Parque La Flora No. 2 sería de **103.7m**.

5.2.3 Conductividad

Se estableció tomar el mismo rango que en el análisis de los perfiles de temperatura, debido a que los parámetros de conductividad no influyen en la temperatura, más la temperatura si tiene una acción directa en estos. La

conductividad crece $2\% / ^\circ C$ al aumentar la temperatura, (Ver Custodio-Llamas, 1996, pág. 208), a continuación en la grafica 8 se presentan los perfiles obtenidos para el parámetro de conductividad, en donde los efectos por colmatación del pozo se pueden observar en un aumento desmesurado de la conductividad en el fondo y cerca a este, efecto que se puede observar también en los parámetros de salinidad y sólidos disueltos totales TDS.



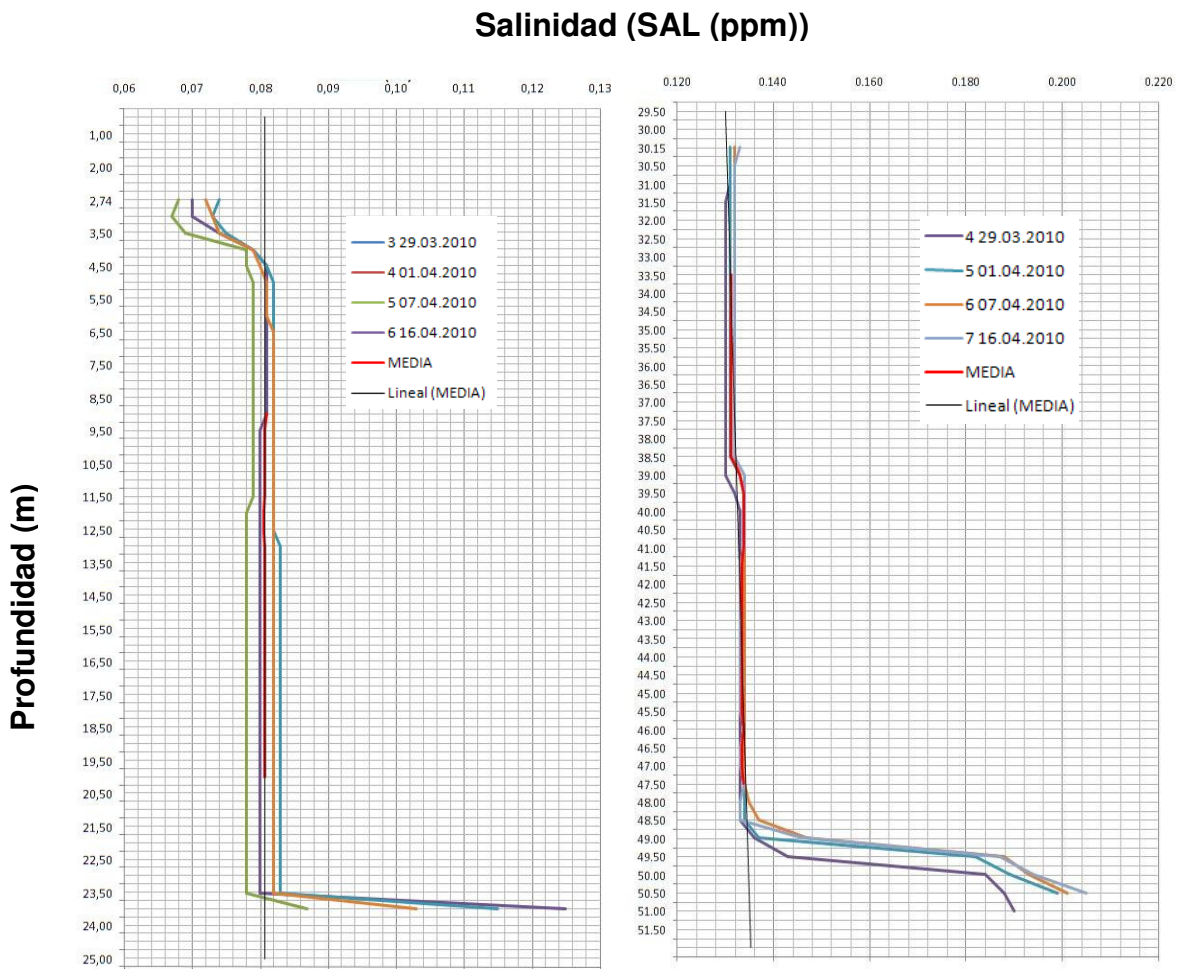
Grafica 8. Perfil Tendencia Conductividad Piezómetros Parque La Flora (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro Parque La Flora No.1 no se visualiza dicho cambio, ya que por sus características (Profundidad) no alcanza a elevarse la temperatura debido al gradiente geotérmico, la conductividad promedio en este piezómetro es de

0.165mS, la conductividad promedio en el piezómetro Parque La Flora No.2 es de 0.270mS.

5.2.4 Salinidad

Para el parámetro de salinidad poderlo comparar con lo demás parámetros se tomo el mismo rango que para la temperatura.



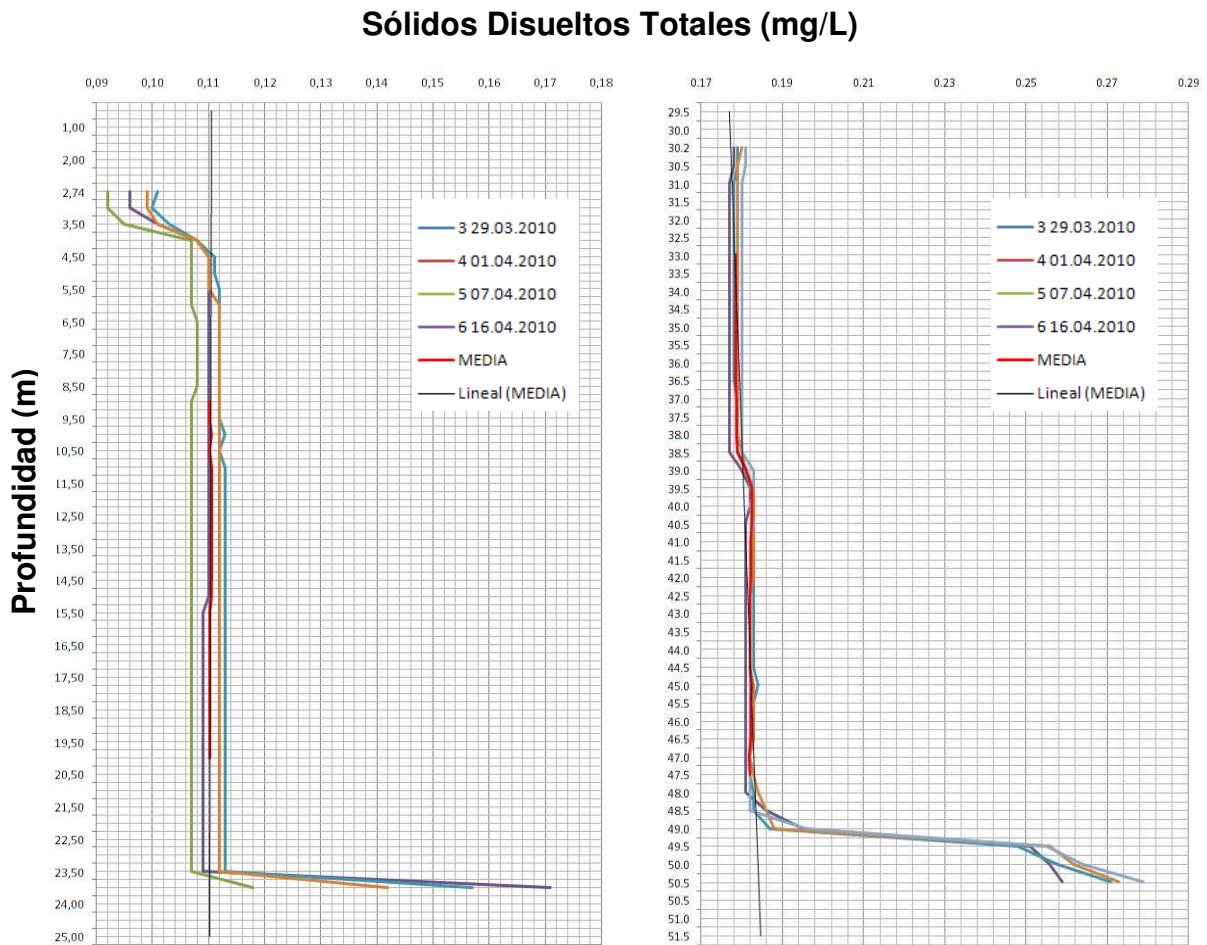
Grafica 9. Perfil Tendencia Salinidad Piezómetros Parque La Flora (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro Parque La Flora No.1 no se visualiza un cambio, solo que la salinidad promedio en el piezómetro es de 0.081 ppm, para el piezómetro Parque

La Flora No.2 tampoco se presenta una variación solo que la salinidad promedio es de 0.133 SAL (ppm).

5.2.5 Sólidos Disueltos Totales TDS

Al aumentar los sólidos disueltos totales TDS, en el agua la conductividad también aumenta por lo tanto para poder comparar los resultados se tomo el mismo rango que para la temperatura.



Grafica 10. Perfil Sólidos Disueltos Totales TDS Piezómetros Parque La Flora
(De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

Los parámetros de salinidad y sólidos disueltos totales TDS, están directamente relacionados con la conductividad, así que el comportamiento de estos parámetros es similar al comportamiento de este parámetro, el piezómetro Parque La Flora No.1 se visualiza un cambio que se muestra a continuación en la tabla 10.

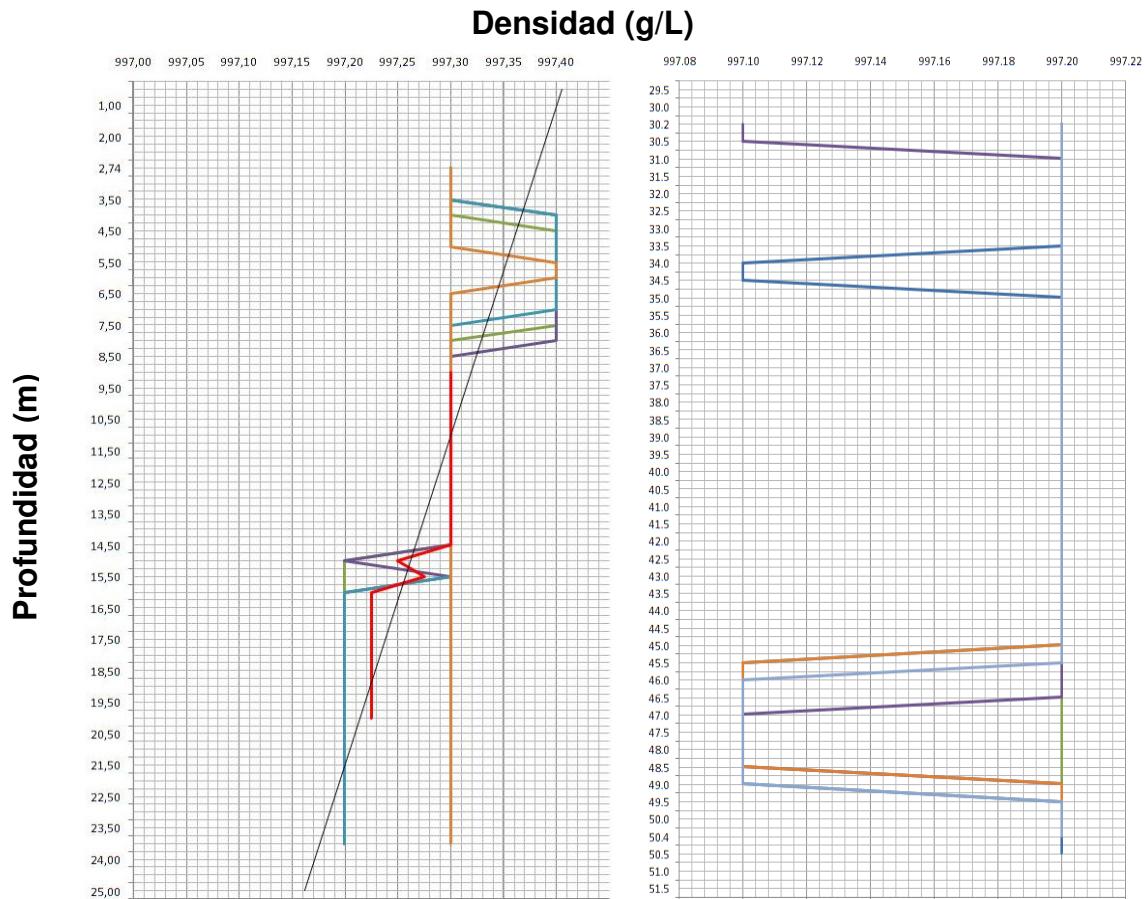
Profundidad		Conductividad		%ΔC	Media %ΔC
9	m	0.11	mS	0.909	0.909
15	m	0.111	mS		
15.5	m	0.11	mS	0	
20	m	0.11	mS		

Tabla 12. Cálculo de conductividad promedio piezómetro No.1 Parque La Flora

Según esto la variación de la conductividad en el piezómetro No. 1 crece a una tasa de 0.909 $\% / ^\circ\text{C}$, la conductividad promedio en este piezómetro es de 0.110 mS, en el piezómetro N°2 no se visualiza dicho cambio, ya que por sus características (Columna de agua) no alcanza a elevarse la temperatura debido al gradiente geotérmico, los Sólidos Disueltos Totales TDS promedio en este piezómetro son de 0.181 (mg/L).

5.2.6 Densidad

El parámetro de densidad no influye en la temperatura, más la temperatura si tiene una acción directa sobre esta por lo tanto el rango de análisis será el mismo que el determinado para la temperatura, a continuación en la grafica 11 se muestran los diferentes muestreos realizados a los piezómetros Parque la Flora No.1 y No.2.



Grafica 11. Perfil Tendencia Densidad Piezómetros Parque La Flora (De izquierda a derecha piezómetro No.1 piezómetro No.2)

En el piezómetro N°1 no se visualiza un cambio por la forma de las curvas, solo que la densidad promedio en el piezómetro es de 997.3 g/L, en el piezómetro N°2 el cambio no es significativo, solo puede ver que la densidad promedio en el piezómetro es de 997.19 g/L.

A continuación se presentan las tablas 12 y 13, las cuales son un resumen del análisis de los parámetros de conductividad, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad en los cuatro piezómetros que fueron muestreados.

- Temperatura

Sitio de muestreo	Profundidad Piezómetro			Rango de Análisis			Temperatura En Rango de Análisis			Gradiente temperatura
	Nivel Agua	Fondo	Columna de Agua	Superior	Inferior	ΔH	T Superior	T Inferior	ΔT	
	[m]			[m]			[°C]			
Bajos de Pan de Azúcar										
Piezómetro No 1	10,61	19,05	8,44	13	19,05	6,05	22,62	22,8	0,18	1°C @ 34,4m
Piezómetro No 2	8,55	65,09	56,54	13	62,5	49,5	22,56	24	1,44	1°C @ 33,9m
Parque La Flora										
Piezómetro No 1	2,79	23,93	21,14	9	20	11	24,11	24,66	0,55	1°C @ 18,9m
Piezómetro No 2	30,15	50,49	20,34	33	47,5	14,5	24,87	25,02	0,15	1°C @ 103,7m

Tabla 13. Cuadro resumen parámetro de temperatura

- Rango de análisis: intervalo en el cual los datos estaban alrededor de la media.

- Conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales y densidad.

Sitio de muestreo	Conductividad En Rango de Análisis			Salinidad En Rango de Análisis			Sólidos Disueltos Totales TDS En Rango de Análisis			Densidad En Rango de Análisis		
	Superior	Inferior	ΔC	Superior	Inferior	Δ	T Superior	T Inferior	ΔTDS	T Superior	T Inferior	Δ
	[mS]			[SAL]			[mg/L]			[g/L]		
Bajos de Pan de Azúcar												
Piezómetro Pan de Azúcar No 1	0,507	0,507	0	0,250	0,250	0,000	0,340	0,340	0,000	997,800	997,80	0,000
Piezómetro Pan de Azúcar No 2	0,671	0,676	0,005	0,330	0,334	0,004	0,449	0,452	0,003	997,900	997,56	-0,340
Parque La Flora												
Piezómetro Parque La Flora No 1	0,165	0,165	0	0,081	0,081	0,000	0,110	0,110	0,000	997,300	997,30	0,000
Piezómetro Parque La Flora No 2	0,267	0,272	0,005	0,131	0,134	0,003	0,179	0,182	0,003	997,200	997,10	-0,100

Tabla 14. Cuadro resumen de Conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad

CONCLUSIONES

- Con este proyecto se inicio la obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga localizados en Bajos de Pan de Azúcar donde se encuentran acuíferos en un cuerpo ígneo donde el grado de meteorización y fracturamiento varían en profundidad, y en el Parque La Flora, donde se encuentran acuíferos en la formación aluvial de Bucaramanga, el conocimiento detallado de la geología de la zona de estudio es primordial, ya que con ella se puede determinar los rangos en los cuales los efectos de las condiciones ambientales (temperatura por radiación solar) no afectan los análisis hechos para los piezómetros. Se utilizó una sonda de contacto eléctrico tipo KIL-Q-2, para la medición de perfiles de temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales TDS y densidad, durante campañas realizadas desde el mes de marzo del 2009 hasta marzo de 2010. Se obtuvo perfiles en columnas de agua desde 2,79m hasta cerca de 65m, disponibles en los piezómetros construidos.
- Los perfiles de temperatura obtenidos en los piezómetros de pan de azúcar tienen un comportamiento que se ajusta al gradiente geotérmico típico del agua subterránea. El gradiente geotérmico aumenta 1 °C cada 34.4m en el piezómetro pan de azúcar número 1, el cual está midiendo una columna de agua de 8.44m en un acuífero superficial. El gradiente geotérmico aumenta 1 °C cada 33.9m en el piezómetro pan de azúcar número 2, el cual está midiendo columna de agua de 56.64m en un acuífero más profundo, los cuales son un valor típico en las aguas subterráneas.

- El parámetro de temperatura en los piezómetros del parque la flora tiene un comportamiento que dista de los valores típicos de las aguas subterráneas, este comportamiento es más evidente de un piezómetro a otro. El gradiente geotérmico aumenta 1 °C cada 18,9m en el piezómetro parque la flora número 1 que mide un acuífero superficial, pero este gradiente se encuentra dentro de los rangos típicos para las aguas subterráneas cuyo gradiente geotérmico es de 1 °C cada (20 a 40m) de profundidad. En cambio el gradiente geotérmico en el piezómetro no.2 que mide el acuífero profundo, aumenta 1 °C cada 103.7m, por lo cual concluimos que este gradiente presenta un valor que parece ser anómalo.
- Los parámetros de conductividad y sólidos disueltos totales TDS solo pueden ser analizados de manera satisfactoria en el piezómetro Pan de Azúcar número 2, ya que sus condiciones de profundidad, columna de agua, y gradiente geotérmico permiten determinar unas relaciones de crecimiento de la conductividad y sólidos disueltos totales TDS con la temperatura las cual es de 0.371 %/°C y 0,369 %/°C respectivamente. Se debe hacer la salvedad que estos valores de conductividad y sólidos disueltos totales TDS medidos en estos piezómetros son obtenidos de piezómetros que no han sido desarrollados (construidos para monitorear el agua) como pozos de abastecimiento, por lo tanto las aguas muestreadas no presentaran valores reales de estos parámetros, debido a que los finos de la formación no se retiraron completamente. Por lo anterior no se pueden comparar estos valores con los ofrecidos por la literatura los cuales presentan un valor de crecimiento de la conductividad y sólidos disueltos totales TDS de 2 %/°C.
- La salinidad registrada en los piezómetros Pan de azúcar 1 y 2 es notablemente (0.250ppm piezómetro No. 1, 0.330ppm piezómetro No.2)

mayor que la registrada en los piezómetros del Parque La Flora 1 y 2 (0.081ppm piezómetro No. 1, 0131ppm piezómetro No.2), Estas diferencias pueden depender del tipo de roca por donde el agua ha hecho su recorrido y del tiempo de residencia. La salinidad de las aguas muestreadas en los piezómetros de pan de azúcar parece expresar tiempos de recorrido mayor y la salinidad de las aguas muestreadas en la flora expresan menores tiempos de residencia y valores muy cercanos a aguas potables, especialmente las muestreadas en el piezómetro Pan de azúcar No.2 el cual mide al acuífero más profundo.

- Los parámetros registrados mediante la sonda de contacto eléctrico en los piezómetros, pueden ser utilizados para detectar presencia de contaminaciones provenientes de distintos agentes. Durante este trabajo se pudo identificar la fuente de contaminación que estaba generando un elemento del equipo de medición instalado dentro del pozo (la guaya de seguridad en acero inoxidable) en el piezómetro parque la flora No. 2 debido a que se observaron cambios bruscos de conductividad y salinidad, durante el tiempo en el cual permaneció este elemento. Este fue un criterio utilizado para el cambio de elemento a un material recubierto con material plástico (Ver Pardo-Martínez 2009).

RECOMENDACIONES

- El piezómetro Parque la Flora No. 2 presenta valores anómalos en comparación con los otros tres piezómetros objeto de este estudio, se proponen la siguiente hipótesis que deben seguir siendo estudiadas:
Recargas más rápidas estarían en contacto con este acuífero, posiblemente a través de fracturas o flujos preferenciales provenientes de mayores alturas estarían enfriando estas aguas y cambiando el perfil geotérmico.
Tiempos de residencia más bajos en el acuífero que alimenta los piezómetros del Parque la Flora en comparación con el acuífero que alimenta los piezómetros de Pan de Azúcar.
- Se aconseja buscar un equipo que nos proporcione una limpieza más eficiente a la profundidad total del pozo y reducir los efectos por la colmatación en el fondo de los piezómetros, se podría solucionar esto con una bomba peristáltica de mayor capacidad.
- Se aconseja la construcción y monitoreo de más piezómetros en la zona adyacente a la falla Bucaramanga – Santa Marta, para la aplicación y mejoramiento de la técnica y conocimientos generados en este proyecto de grado.

BIBLIOGRAFIA

- CUSTODIO GIMENA, EMILIO & LLAMAS MADURGA, MANUEL RAMON. (1996) Hidrología Subterránea Segunda Edición Corregida TOMO I: Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España.
- GÓMEZ ISIDRO, SULLY & COLEGIAL, JUAN DIEGO. (2003), INTERACCION ENTRE SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS PARA EL ESTUDIO DEL FENOMENO DE RECARGA EN EL MACIZO DE SANTANDER E IDENTIFICACION DE ACUIFEROS: Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS, OBSERVATORIO COLOMBIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA OCyT, Bucaramanga, Colombia.
- FETTER, CHARLES WILLARD. (1999) Contaminant Hydrogeology Second Edition: Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. Estados Unidos.
- VELEZ OTALVARO, MARIA VICTORIA. (2000), diseño y construcción de pozos: Cuadernos de ingeniería geológica, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín, Colombia.
- DE BERMOUDES, OLGA & VASQUEZ, LUIS EDUARDO. (2004), Modelo geológico- Geofísico para el Área Metropolitana de Bucaramanga, Evaluación del agua subterránea en el Área metropolitana de Bucaramanga, Santander Cuadernos de ingeniería geológica, Subdirección recursos del subsuelo, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- MICHAEL PRICE ,Agua subterránea, editorial limusa 2007, Mexico

- FELIX TROMBLE, Las aguas subterráneas, editorial orbis S.A, 1986 Barcelona. España.
- KIELD GERARD, Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, volumen I, editorial McGRAW-HILL 1999 Madrid. España.
- JIMÉNEZ SÁNCHEZ, JORGE ARMANDO & COLMENARES LEÓN, SERGIO CAMILO. (2009), medición de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua subterránea en la zona de Bucaramanga: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- ARRIETA BANQUEZ, AMITH JOSÉ & REYES VILLARREAL, JOSÉ LUIS. (2004), Análisis y caracterización hidroquímica de aguas subterráneas en el área metropolitana de Bucaramanga: Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- PARDO RUÍZ, CESAR AUGUSTO & MARTINEZ MONSALVE, JHONATAN. (2009), CALIBRACION E INSTALACION DE UN CTD DIVER EN PIEZOMETRO PILOTO PARA MEDICION CONTINUA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA ZONA ALTA DE BUCARAMANGA: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

- VERGARA LOPEZ, OTONIEL ALBERTO. (2004), Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas cristalinas fracturadas del macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga: Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogo, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

ANEXO A
MANUAL PARA LA OBTENCIÓN DE PERFILES DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS EN PIEZÓMETROS

Este tipo de sonda multiparámetro nos permite realizar mediciones en campo de temperatura, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales (TDS) y densidad, cada uno de estos parámetros de calidad del agua con alto grado de precisión.

OPERACIÓN GENERAL

Sonda de contacto eléctrico tipo KII-Q-2



ANEXO A1. Aspecto general de la sonda con cada uno de sus componentes.

Sensor Tipo MPS-D3



ANEXO A2. Aspecto del Sensor Tipo MPS-D3.

A.1 Descripción general del producto

La sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2 está diseñada para medir y mostrar al instante los resultados obtenidos en combinación con el sensor MPS-D3; en conjunto, los instrumentos sirven como laboratorio portátil para la medición de parámetros de calidad del agua subterránea en profundidad. El instrumento es muy compacto, de fácil operación y el registro de los datos es muy preciso.

La sonda posee una pantalla iluminada de tres líneas (ver anexo A4.) en la cual despliega la información de los parámetros de calidad del agua, la función del medidor de contacto con el agua y el menú de operación; las cifras son dadas en pantalla en tiempo real; además en contacto con el agua, la sonda emite una señal acústica, permitiendo una estimación de los niveles de las aguas subterráneas con mayor precisión, ya que cable se graduó con láser en cm/dm/m; este cable es redondo y tiene una cubierta resistente a altas temperaturas y esfuerzo mecánico.

Opcionalmente, podría equiparse la sonda con un registrador (Datalogger) de datos integrado capaz de almacenar hasta 70.000 valores de las mediciones en el modo automático o manual, el equipo que posee el grupo de investigación no posee una bitácora (Datalogger) integrada, haciendo la toma de datos de manera manual, para ello se navega a través de la pantalla con tres botones en el tablero de la sonda; La sonda posee entre sus accesorios un cable de interfaz, el cual se comunica a través de los puertos **RS232** de la sonda y el puerto **COM** de la PC, a través de este cable de interfaz y el software **SEBA config** se puede ajustar la sonda.

El diseño del sensor permite hacer mediciones en piezómetros con un diámetro en su sección transversal mayor o igual a 2" (50.8 mm), y de hasta 100m de profundidad, que es la longitud de cable que dispone la sonda, pudiéndose utilizar

sin ningún problema en otros cuerpos de agua como lagos y ríos (aguas superficiales).

Resumen

- Pantalla con indicación clara de los valores de las medidas en 3 filas con pantalla iluminada.
- Interfaz RS232 para una fácil calibración de los sensores mediante el software **SEBA config** y un PC / portátil
- La sonda trabaja con un teclado de 3 botones integrados los cuales son fáciles de operar, además de navegar con ellos por el menú.
- Es ideal para establecer perfiles de calidad del agua.

A.1.1 Especificaciones técnicas

- Cable cilíndrico de polietileno con 4 conductores, protegidos contra las descargas eléctricas; cuya graduación en color negro esta en cm, además de marcas decimétricas y métricas.
- Carrete de soporte del cable hecho de plástico, resistente a los golpes y la temperatura
- Baterías recargables (4x2V), autonomía de funcionamiento: de 8 a 15 horas, dependiendo de la longitud del cable y la configuración del sensor.
- Longitud de cable: 100 m
- Sensor multiparámetro MPS-D3.

A.1.2 Componentes y accesorios de la sonda de contacto eléctrico tipo KII-Q-2.

- Base (x1).
- Sensor tipo MPS-D3 (x1).
- Cargador (x1).

- Kit de impermeabilización conexión (Anillos de goma (x8) y recipiente de glicerina (x1)).
- Kit de limpieza (Destornillador de pala (x1), escobilla (x1), trapo suave (Bayetilla x1)).
- Tula (x1).

A.2 Precauciones especiales para con el equipo

A.2.1 Debido a defectos en el cable

- A causa de un cable dañado, el agua puede penetrar hacia el sensor, dañando los componentes eléctricos del sensor, siempre se debe hacer un examen visual del estado del cable, antes y después de utilizar la sonda para evitar esta situación.
- Debe procurarse no deslizar el cable contra una superficie filosa, pues el recubrimiento de protección del cable se podría dañar, dando paso a fenómenos de corrosión.
- En ningún caso se debe utilizar el equipo si el cable esta dañado, este debe ser cambiado por personal calificado.
- Después de realizada la toma de datos, se debe enrollar el cable en el carrete, previamente habiendo secado este con una bayetilla o un trapo suave, para evitar que aguas agresivas dañen el recubrimiento del cable y/o la base de la sonda.
- Nunca se debe desenrollar completamente el cable del carrete, por lo menos se deben dejar tres vueltas de cable sobre el carrete para proteger la conexión entre el cable y la base de la sonda, o si se da este caso, no permitir que la tensión se transmita directamente del cable a la base.
- Para prevenir cualquier daño por fatiga en el cable, se debe enrollar este en el carrete con una distribución uniforme, evitando en lo posible que el cable quede tensionado.

A.2.2 Debido a aguas peligrosas

No se debe descender el sensor MPS-D3 a aguas que representen algún tipo de peligro al sensor de la sonda, ya que estos pueden hacer que se rompa la tuerca de compresión o el cable entre el sensor y la sonda.

Las situaciones que pueden representar algún tipo de peligro son las siguientes:

- Piezómetros estrechos y que no den suficiente espacio de maniobrabilidad al sensor MPS-D3 (menores a 2" de diámetro).
- Equipos previamente instalados dentro de los piezómetros.
- Escombros en los piezómetros o en aguas superficiales (lagos, ríos).
- Muelles, esclusas y turbinas de hidroeléctricas.
- Estratos subterráneos pedregosos y/o accidentados.

A.2.3 Manipulación durante las mediciones.

- El rango de presión permisible total **no** debe ser excedido (Ver anexo A8.)
- Después de cada medición con la sonda, la tuerca de compresión que une el sensor y el cable de la sonda debe ser revisada para comprobar que este ajustada.
- No use los componentes de la sonda si estos presentan algún tipo de daño instrumental.

A.2.4 Forma de determinar si algún componente de la sonda se encuentra dañado.

- Determinación visual de algún tipo de daño en sensor o el cable.
- Humedad o trazas de corrosión en las conexiones.

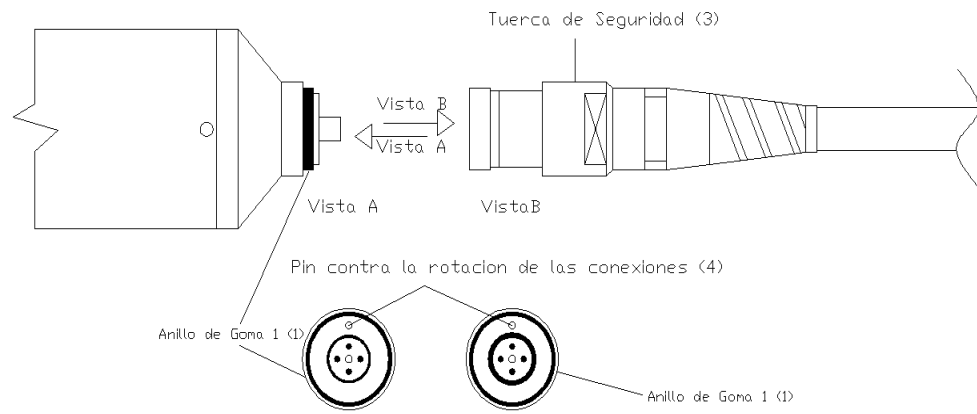
- Falla indeterminada de uno o varios parámetros del sensor.
- El encendido de la sonda para hacer mediciones no es posible.

A.2.1 ACOPLAMIENTO DEL SENSOR AL CABLE DE MEDICIÓN (base)

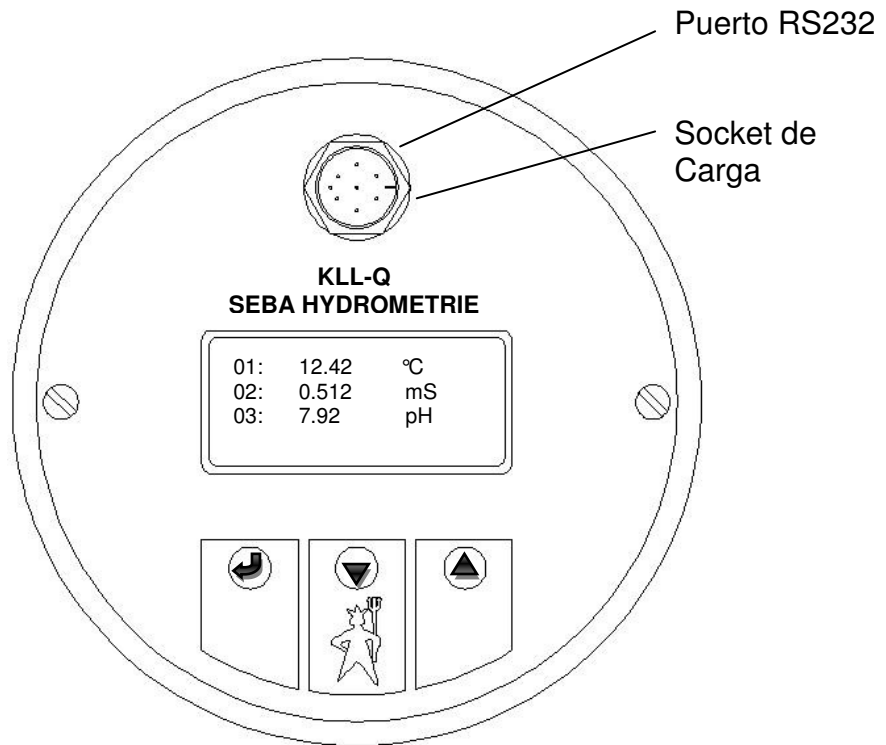
Se deben tener en cuenta estas recomendaciones a la hora de acoplar el sensor al cable de medición de la base:

- Los anillos de goma y la conexión deben encontrarse perfectamente limpias y secas.
- Los anillos de goma defectuosos o deformados deben ser reemplazados.
- Debe engrasarse los anillos nuevos y la conexión con vaselina para impermeabilizarla.
- Hacer la conexión entre el sensor y el cable de medición de tal manera que no se fuerce a ninguno de los dos componentes (Ver anexo A3.), el cable de medición tiene un pin de seguridad que evita este inconveniente, se debe tener especial cuidado en que este encaje en su contraparte del sensor.
- Para el ajuste del sensor y el cable de medición, no se debe hacer girar ninguno de los dos componentes, el ajuste se realiza mediante la tuerca de seguridad presente en el cable de medición.
- En cada medición se debe comprobar que la tuerca de seguridad este ajustada.
- Para aflojar la tuerca de seguridad se debe hacer girar esta en sentido contrario, procurando limpiar cualquier suciedad e indicio de corrosión que haya en la conexión del cable de medición o el sensor.


¡Gire únicamente la tuerca de seguridad, nunca las conexiones!



ANEXO A3. Diagrama conexión base – sensor (MPS-D3).



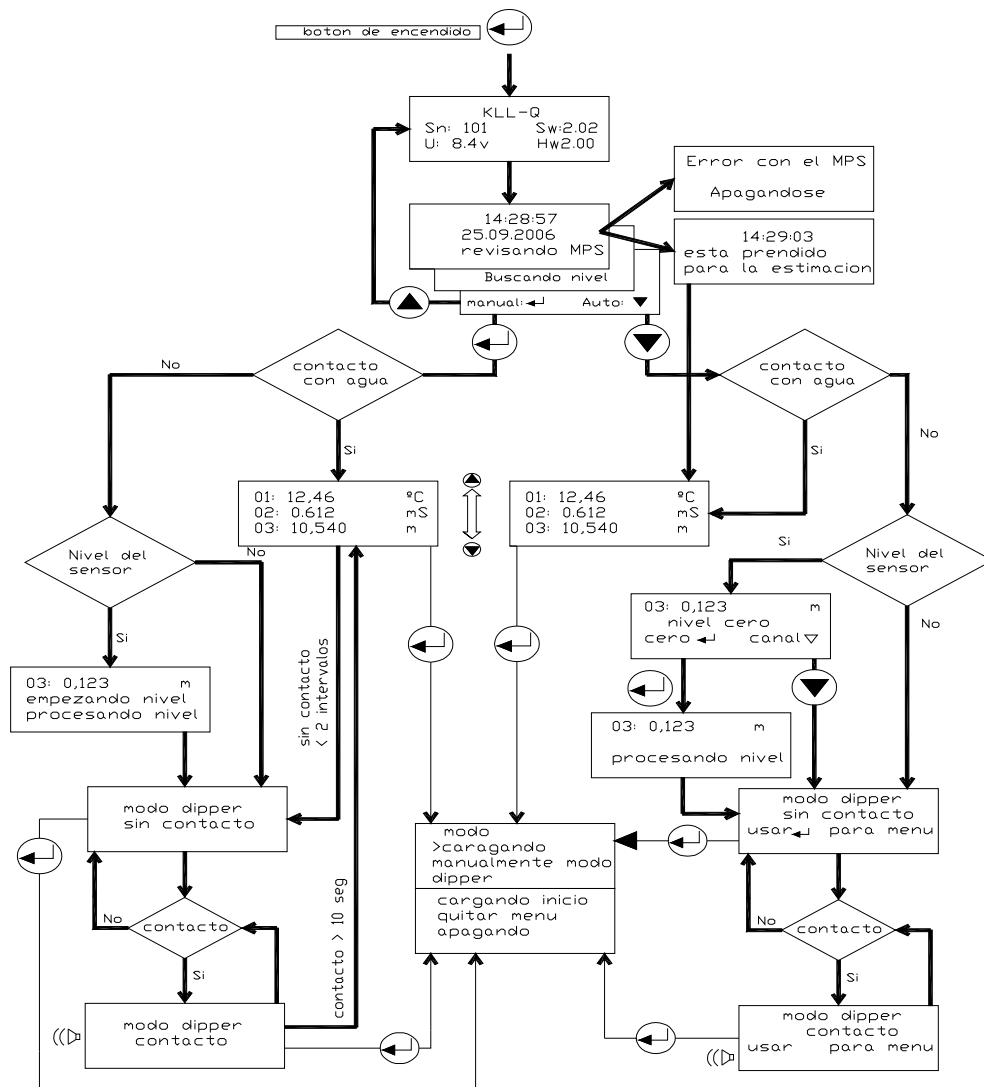
ANEXO A4. Tablero de Manejo.

Modo KLL-Q	Botón "Entrar" Sirve para 	"SCROLL" Botón hacia abajo Sirve para 	"SCROLL" Botón hacia arriba Sirve para 
Dispositivo apagado	Encender		
Inicio del muestreo	Seleccionar modo automático	Seleccionar modo manual	muestra información del dispositivo
nivel en ceros	Confirmar Inicio en ceros	Cancelar Inicio en ceros	
Modo Dipper (Búsqueda)	Ir al menú		
En modo calidad	Ir al menú	Descender a mas valores de medición	Ascender a más valores de medición
Menú	Escoger Menú- Ítem	Descender en el menú	Ascender en el menú
Menú - Ítem Registro de datos Apagado/Encendido	Confirmar Registro de datos Apagado/Encendido	Cancelar Registro de datos Apagado/Encendido	
Menú - Ítem Registro manual de datos	Confirmar Registro manual de datos	Cancelar Registro manual de datos	
Menú - Ítem Guardar valores	Guardar Valores	Descender en el menú	Ascender en el menú
Apagar	Apagar el dispositivo		

ANEXO A5. Menú de operación sonda de contacto eléctrico.

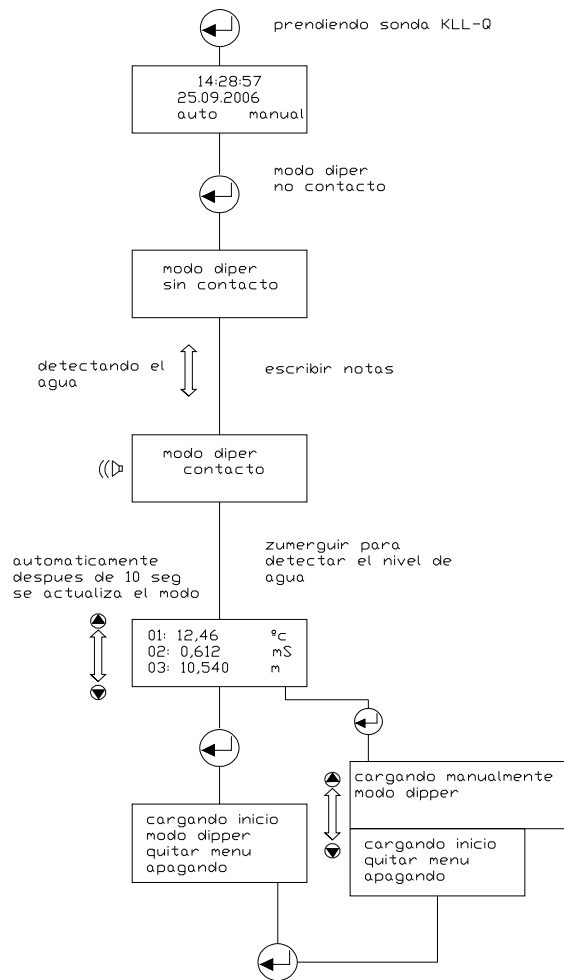
A continuación se presenta un diagrama de flujo sobre como utilizar las diferentes funciones de la sonda multiparámetro para obtener una toma de datos manejado desde el menú de la sonda multiparámetro.

MENÚ DE OPERACIÓN



ANEXO A6. Diagrama de flujo de operación modo manual/automático.

Una de las funciones más importante es el modo “DIPPER” o modo de búsqueda, el cual su función principal es encontrar la lamina de agua del piezómetro a muestrear, al hacer contacto con el agua este emite un sonido monofónico tipo “Bip” y un tiempo después (De 8 a 10 segundos) empieza automáticamente la toma de datos, a continuación en el anexo A7, se presenta un diagrama de flujo sobre cómo utilizar esta función con el menú de la sonda.



ANEXO A7. Diagrama de flujo modo “DIPPER”.

PARÁMETROS DE MEDICIÓN

La preocupación por la calidad de las aguas subterráneas ha permitido un importante desarrollo en las tecnologías que permiten caracterizar el agua en función de ciertos parámetros fisicoquímicos. A continuación en el anexo A8 se presentan los rangos permisibles para la toma de datos con la sonda multiparámetro, además de la precisión y los parámetros medidos por el sensor MPS-D3 son los siguientes,

Parámetros de Medición	Rango	Precisión	Resolución
Temperatura	-5...50 °C	+/- 0,1 °C	0,01 °C
	Presión: 0...500 mWs		
Conductividad	0...200mS	+/- 1µS (0...200µS)	0,001mS
	Temperatura: - 5...50 °C	+/-0,5% (> 200µS)	
	Presión: 0...500 mWs		
Salinidad	0...200.000mg/l		
	Temperatura: - 5...50 °C		
	Presión: 0...500 mWs		
Sólidos Disueltos TDS	0...70	+/- 0,2 (0...16)	0,01
	Temperatura: - 5...50 °C	+/- 0,8% (>16)	
	Presión: 0...500 mWs		
Densidad del Agua	988...1060 g/l		
	Temperatura: - 5...50 °C		
	Presión: 0...500 mWs		

ANEXO A8. Precisión en parámetros de medición

ANEXO B

**PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DE PERFILES DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS EN PIEZÓMETROS**

Los protocolos son un conjunto de normas expresadas de forma sistemática y detallada del procedimiento y cuidados que se deben tener al momento de tomar muestras para su análisis, ya sea en campo o para ser llevadas a laboratorio. Donde fundamentalmente se expresa la forma de tomarlas, de almacenar, y transportarlas. Estos pueden variar de acuerdo al tipo de estudio que se vaya a realizar, así como del laboratorio que realice las pruebas.



Anexo B1. Registrando parámetros fisicoquímicos.

B. 1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Para un estudio fisicoquímico del agua subterránea se debe definir una red de muestro periódica. La selección de este se debe realizar de la manera más homogénea posible sobre el acuífero en estudio teniendo en cuenta las condiciones hidrodinámicas y de recarga, además de toda la información previa existente y relacionada sobre el acuífero y los distintos puntos de muestreo, esto es, tener en cuenta la forma de construcción, profundidad, litología y quizás lo más importante el fácil acceso a estos (teniendo en cuenta que se va a hacer un seguimiento continuo).

El presente protocolo de toma de datos en campo pretende fijar un proceso específico, por el cual se guíe este y proyectos de grado subsecuentes que necesiten hacer uso de elementos y herramientas utilizadas en este proyecto, el diseño de este protocolo se basa en la experiencia adquirida en campo para la toma de datos (muestreo), teniendo como fin general lograr la mayor eficiencia y eficacia en el aprovechamiento del tiempo de trabajo y la información generada, preparando con anticipación las tareas a hacer antes y durante la salida de campo, en nuestro caso particular se preparo el presente protocolo para la obtención de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros.

B.2 NÚMERO Y FRECUENCIA DE LAS MUESTRAS

El número de muestra que es preciso tomar para caracterizar es muy variable según el tipo de estudio que se desea realizar y las condiciones de recarga e hidrodinámica. Las muestras deben tomarse en las condiciones de máxima representatividad eligiendo bien los piezómetros, es decir teniendo toda la información geológica de los acuíferos en donde se han perforado los piezómetros, además de toda la información técnica de estos (Profundidad, nivel freático, tipo de estructura de contención (PVC y/o encamisado metálico) y ubicación de los filtros).

Todas las tomas de datos son puntuales, por ser parámetros inestables en el tiempo. Los diferentes formatos que se requieren para levantar datos se encuentran en el protocolo.

Bajo los anteriores antecedentes, para un estudio fisicoquímico la escogencia de la cantidad de muestreos queda a consideración del investigador tomando como referencia la naturaleza del flujo en el acuífero y su posible distribución en el espacio.

La periodicidad de la toma de muestras, dependerá además de la distancia a la zona de recarga de sus posibles velocidades de flujo y de las condiciones hidrológicas locales, esto es para tratar de observar los posibles cambios en su composición en cada uno de los periodos de lluvia o sequía que se presentan en la zona.

B.3 EQUIPOS Y MATERIALES

B.3.1 EQUIPO PERSONAL

No existe ninguna exigencia de vestuario ni protección.

B.3.2 MATERIAL DE MUESTREO

La estandarización y apropiado buen desarrollo de las tomas de datos en campo de los parámetros fisicoquímicos es de gran importancia para la obtención de información confiable y de alta calidad. Antes de cualquier salida de campo se debe tener la certeza del correcto funcionamiento de los equipos y disponibilidad de los accesorios necesarios:

- Bomba peristáltica “1920.57.00 submersible pump comet-combi 24-4t” (Ver numeral 2.3.3).
- Sonda multiparámetro “Sonda de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2” (Ver anexo A)
- Sensor de profundidad (ver numeral 3.2.2).
- Formato u hoja de toma de datos Ver anexo B3.

B.4 CONSIDERACIONES PREVIAS.

B.4.1 SITIO DE MUESTREO.

Para el presente proyecto de grado se asignaron cuatro piezómetros ubicados en la zona orientan de la ciudad de Bucaramanga. (Ver numeral 3.4).

Los piezómetros deben cumplir las siguientes condiciones:

- El diámetro debe ser superior o igual a 2" (50,8mm).
- La profundidad del piezómetro debe ser inferior o igual a 100m.
- El piezómetro debe estar libre de cualquier elemento que pueda causar una obstrucción o atascamiento del sensor de la sonda.

B.5 TOMA DE DATOS (TRABAJO EN CAMPO)

Como primera medida se debe tomar y registrar siempre el nivel de las aguas del piezómetro (lamina de agua), esto se puede llevar a cabo con el **sensor de profundidad** o directamente con la **Sonda de Contacto Eléctrico Tipo KII-Q-2**, nombrada de aquí en adelante como **Sonda De Contacto Eléctrico** dependiendo de la etapa en la cual se encuentre el proceso de toma de datos.

B.5.1 DESCRIPCIÓN PRIMERA ETAPA

Es cuando por primera vez se van a medir y registrar los parámetros fisicoquímicos de un piezómetro, se debe conocer de manera destacada las características técnicas del piezómetro (profundidad, diámetro del piezómetro etcétera), para evitar la posible perdida del sensor a causa del atascamiento de este.

Se realiza una toma de datos con la sonda de contacto eléctrico (Ver numeral B.5.3), esta medición se hace antes de purgar el pozo para tener datos de referencia sobre las condiciones del piezómetro antes de la purga.

La purga del pozo se realizara con la bomba peristáltica, se tomara y registrara el nivel de las aguas del piezómetro antes y después de la purga y quedara a discreción del interesado tomar el nivel de la lamina de agua con la **Sonda de contacto eléctrico** o con el **sensor de profundidad**, teniendo en cuenta que si se lleva a cabo una toma de datos inmediatamente después de la purga del pozo se obtendrá información de poca confiabilidad, pues el procedimiento de purga modificara la estratificación de los sólidos suspendidos totales presentes en el piezómetro, logísticamente mejor el **sensor de profundidad** para esta fase.



Anexo B2. En campo purgando los piezómetros.

Se recomienda que haya un consenso entre el director del proyecto y los miembros del grupo sobre la cantidad de veces que ha de ser realizado el procedimiento de purga de un piezómetro, basándose en observaciones de la

turbidez del agua extraída del piezómetro, además de resultados en las tomas de conductividad, ya que un piezómetro se encuentra limpio cuando la conductividad se estabiliza (Colmenares, Jiménez, 2009), teniendo en cuenta que el criterio a seguir es estimar el volumen de agua contenido en los piezómetros y asegurarse que al menos el 95% del agua del piezómetro se origine del sistema de acuíferos a muestrear, esto se logra purgando entre 3 y 5 veces el volumen de agua en el pozo.

La localización del sitio de muestreo debe ser registrada con tanta precisión como sea posible, usando bien un sistema de posicionamiento global (GPS) o un mapa topográfico de suficiente resolución. Se debe indicar puntos de referencia cercanos al piezómetro si los hay. Después de completar el procedimiento de purga, el pozo está listo para las mediciones en campo de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua subterránea.

B.5.2 DESCRIPCIÓN SEGUNDA ETAPA

La segunda y última etapa en la toma de datos se recomienda hacerla como mínimo una semana (7 días) después del último procedimiento de purga del piezómetro, ya que por experiencia consideramos que este lapso de tiempo permite a los sólidos suspendidos estabilizarse permitiendo que haya una mayor confianza en los datos obtenidos, en esta etapa de la toma de datos es necesario aplicar concienzudamente las recomendaciones de uso y cuidado de la sonda de contacto eléctrico para su óptimo funcionamiento (Ver anexo A), para una satisfactoria toma de datos (ver numeral B.5.3).

B.5.3 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS.

Al llegar al terreno se hace una inspección visual de los piezómetros para retirar cualquier objeto extraño que pudiese obstruir la buena realización de toma de datos, seguidamente se procede a sacar la sonda **de contacto eléctrico** de la tula de transporte, una vez afuera todos los implementos necesarios (empaques, cepillo y lubricante), se retira la tapa de seguridad del sensor, se limpia con el cepillo si es necesario para poder colocar el empaque debidamente lubricado, esto asegurará que no habrá ninguna infiltración de agua que pueda dañar algún componente del mismo, una vez realizado esto se procede a enroscar la base de la sonda con el sensor, paralelamente se puede ir retirando la tapa en concreto de la caja de protección y la tapa de hierro en la boca del piezómetro la cual tiene un tornillo tipo brístol de 3/8" (este se retira con una llave brístol, por lo cual se hace necesario llevarla para todos los trabajos de campo), realizado esto se ubica el sensor en la boca del pozo (Ver Anexo B1) el cual se empezara a bajar hasta encontrar el nivel freático (la sonda estará en modo DIPPER por tanto emitirá un sonido cuando encuentre el nivel (Ver anexo A)), se toma la primera lectura de profundidad en el cable y los demás parámetros en el tablero ubicado en la base de la sonda (se tendrá que esperar un tiempo de 8 segundos mientras se actualizan los datos, esto para todas las tomas) , se registran los datos en los formatos establecidos, para la siguiente toma se busca un valor de profundidad cerrado y se consignan los datos en la segunda casilla del formato, a partir de aquí se avanza según la precisión que se desee hasta llegar al fondo ,(para este proyecto se tomo un paso de 50 cm con el cual se logro un buen moldeamiento de los piezómetros). Terminadas las labores de toma de datos se procede a enrollar el cable a medida que se saca el sensor teniendo cuidado de no golpearlo con las paredes de el piezómetro, la persona encargada de enrollar el cable tendrá una bayetilla o lanilla en la mano para ir secando el cable a medida que se enrolla, al final se seca el sensor se desenrosca de la base y se retira el empaque. Finalmente se colocan de nuevo las tapas de seguridad, se guardan todos los implementos y la sonda en su respectivo bolso.

B.5.4 TALENTO HUMANO.

- Mínimo dos Auxiliares de muestreo.

B.6 FORMATOS PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.

El **Anexo B3**, es el formato de protocolo final para la toma de datos en piezómetros. Se considero que este formato abarcaba las características más relevantes para un buen registro de los datos, a esto se llegó teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos que se quiere registrar en campo, en ellos se muestran los rangos en los cuales trabaja la sonda de contacto eléctrico, para minimizar en los posibles errores de escritura.

Se debe tener una especial precaución en conocer todas las particularidades técnicas del piezómetro (profundidad, diámetro de la tubería de perforación, etcétera), además de los datos de su ubicación geográfica (cotas, coordenadas geográficas, tipo de geología en la que se encuentra la perforación), para llevar un estudio organizado que reduzca en lo posible todas los posibles inconvenientes que se puedan presentar en el estudio a realizar.

