

**INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETRO PILOTO UBICADO EN LA ZONA
NORTE DE BUCARAMANGA Y REVISIÓN DE DATOS OBTENIDOS DE
PIEZÓMETROS EN LA ZONA ORIENTE Y NORTE DE LA CIUDAD.**

**JUAN GUILLERMO CORREA MENDOZA
JUAN FELIPE MONTAÑO RUEDA**



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

2011

**INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETRO PILOTO UBICADO EN LA ZONA
NORTE DE BUCARAMANGA Y REVISIÓN DE DATOS OBTENIDOS DE
PIEZÓMETROS EN LA ZONA ORIENTE Y NORTE DE LA CIUDAD.**

**JUAN GUILLERMO CORREA MENDOZA
JUAN FELIPE MONTAÑO RUEDA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTORA DE PROYECTO
Ingeniera Civil, MSC, PhD. SULLY GÓMEZ ISIDRO**



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

2011

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	19
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	19
1.2. TOPOGRAFÍA.	20
1.3. REFERENCIA GEOGRÁFICA DEL PROYECTO	21
1.4. GEOLOGÍA LOCAL DEL PROYECTO.	22
1.5. DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS	24
1.5.1 Diseño De Los Piezómetros Bajos De Pan De Azúcar.	24
1.5.2 Diseño De Los Piezómetros Parque La Flora.	26
1.6. INSTALACIÓN DE CAJAS SE SEGURIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR.	28
1.7. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS PARÁMETROS A MEDIR.	29
1.7.1. Temperatura, °C.....	29
1.7.2. Conductividad eléctrica (C).....	30
1.7.3. Presión.....	32
1.7.3.1 Presión Absoluta:.....	32
1.7.3.2 Presión Atmosférica.....	32
1.7.3.3 Presión Manométrica	32
2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETROS.....	34
2.1. DIVER.....	34
2.2. Baro-Diver.....	35
2.3. CTD-Diver	35
2.4. USB Diver Reading.....	36
2.5. SOFTWARE DIVER OFFICE.....	37

2.6. ASPECTOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS	38
2.7. MANEJO DE EQUIPOS PARA INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETROS. .	39
2.7.1. Procedimiento En Laboratorio.....	39
2.7.2. Errores De Conductividad	40
2.7.2.1. Pruebas De Laboratorio	41
2.7.3. Errores En La Medición De Conductividad	42
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	43
3.1. RESEÑA HISTÓRICA PIEZÓMETROS.....	43
3.2. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	46
3.2.1. Parámetro Conductividad Eléctrica Piezómetro Profundo La Flora.	48
3.2.2. Parámetro Conductividad Eléctrica Piezómetro Superficial La Flora.	48
3.3. ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE AGUA	49
3.3.1. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Profundo La Flora.....	49
3.3.2. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Superficial La Flora.	51
3.3.3. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.	52
3.4. ANÁLISIS PARÁMETRO TEMPERATURA	53
3.5. TEMPERATURA AMBIENTE/AGUA VS TIEMPO.	53
3.5.1. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro profundo La Flora.	54
3.5.2. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Superficial La Flora. .	55
3.5.3. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Profundo Pan de Azúcar.....	56
3.5.4. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.....	56
4. CONCLUSIONES	58
5. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXO	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de Trabajo.....	20
Figura 2. Ubicación piezómetros Pan de Azúcar y Parque la Flora en la ciudad de Bucaramanga.....	22
Figura 3. Diseño de piezómetros Bajos de Pan De Azúcar.	25
Figura 4. Disposición espacial de los piezómetros en Pan de Azúcar.....	26
Figura 5. Esquema piezómetros “Parque La Flora”.(Pulido, Nieto, 2010.).....	27
Figura 6. Cajas de seguridad y sistema de suspensión de los equipos en los piezómetros del Parque La Flora.....	27
Figura 7. Detalle Cajas y boca de los piezómetros Pan de Azúcar.....	29
Figura 8. Diver.	34
Figura 9. Baro-Diver.....	35
Figura 10. Modelos de CTD-Diver.	36
Figura 11. Diagrama de equipos instalados.....	38
Figura 12. Sujeción de los equipos a la guaya recubierta.....	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Denominación de los pozos (Pulido, Nieto, 2010)	21
Tabla 2. Presupuesto instalación cajas de seguridad Pan de Azúcar.....	28
Tabla 3. Intervalos típicos de la conductividad para aguas.(Gerard Kiely, 1999) ..	31
Tabla 4. Error de la conductividad medida por el CTD Diver dentro del rango de calibración.....	41

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Reseña histórica Piezómetro Profundo La Flora.	44
Ilustración 2. Reseña histórica Piezómetro Superficial La Flora.	44
Ilustración 3. Reseña histórica Piezómetro Profundo Pan de Azúcar.	45
Ilustración 4. Reseña histórica Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.	46

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico 1. Conductividad Eléctrica Piezómetro Profundo La Flora (Agosto-2010 a Febrero-2011)	48
Grafico 2. Cond Eléctrica Piezómetro Superficial Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	49
Grafico 3. Niveles de Agua piezómetro Profundo La Flora (Mayo-2011 a Septiembre -2011)	50
Grafico 4. Niveles de Agua piezómetro Superficial La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	51
Grafico 6. Niveles de Agua piezómetro Profundo Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	53
Grafico 7. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Superficial La Flora	54
Grafico 8. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Profundo La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	55
Grafico 9. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Profundo Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	56
Grafico 10. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Superficial Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. REGISTROS DE NIVELES PIEZÓMETRO SUPERFICIAL PARQUE LA FLORA (PIEZÓMETRO NUMERO 1) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011	65
ANEXO B. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO PROFUNDO PARQUE LA FLORA (PIEZÓMETRO NUMERO 2) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011	68
ANEXO C. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO SUPERFICIAL AJOS DE PAN DE AZUCAR (PIEZÓMETRO NUMERO 1) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011	71
ANEXO D. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO PROFUNDO AJOS DE PAN DE AZUCAR (PIEZÓMETRO NUMERO 2) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011	74

RESUMEN

TITULO: INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETRO PILOTO UBICADO EN LA ZONA NORTE DE BUCARAMANGA Y REVISIÓN DE DATOS OBTENIDOS DE PIEZÓMETROS EN LA ZONA ORIENTE Y NORTE DE LA CIUDAD.*

AUTOR: JUAN GUILLERMO CORREA MENDOZA, JUAN FELIPE MONTAÑO RUEDA.**

PALABRAS CLAVES: Piezómetro, transductor de presión, CTD-Diver, Baro Diver.

DESCRIPCIÓN: En la parte oriental de la ciudad de Bucaramanga, en los sitios conocidos como El Parque La Flora y el Barrio Bajos de Pan de Azúcar se han perforado piezómetros con el ánimo de monitorear parámetros hidrológicos como la temperatura, presión atmosférica y absoluta, niveles de agua y conductividad eléctrica. Los piezómetros ubicados en El Parque La Flora han sido monitoreados con anterioridad en por el proyecto (Pardo, Martínez 2009) ofreciéndonos información sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del acuífero y sobre el sistema de medida utilizado para ser replicado en otros sitios.

Los piezómetros objeto de nuestro proyecto fueron construidos en el año 2003 por la CDMB en conjunto con la UIS, con el ánimo de contribuir a la investigación se instrumentaron 4 piezómetros en total; en el barrio Bajos de Pan de Azúcar existen dos piezómetros los cuales se encuentran ubicados sobre una formación Ígneo-Metamórfica, para la caracterización de un acuífero superficial y un acuífero confinado, los cuales ofrecen condiciones de entorno muy diferentes a la de los piezómetros ubicados en el parque La Flora, ya que estos dos últimos piezómetros se encuentran asentados en una formación de origen aluvial, caracterizando igualmente un acuífero superficial y un acuífero profundo. El propósito del presente proyecto de grado fue la instrumentación y monitoreo de los piezómetros mediante un CTD-Diver para los piezómetros confinados y/o profundos, el cual es un, equipo que toma lecturas continuas de conductividad eléctrica, temperatura y nivel de agua y un Diver para los piezómetros superficiales, el cual es un, equipo que toma lecturas continuas de conductividad eléctrica, temperatura y nivel de agua además un Baro Diver, equipo que registra valores de temperatura ambiente y presiones atmosféricas.

* Proyecto de Grado

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

ABSTRACT

TITLE: INSTRUMENTATION OF A PILOT PIEZOMETER LOCATED IN THE NORTHERN OF BUCARAMANGA AND REVIEW OF DATA OBTAINED IN PIEZOMETER FROM THE AREA EAST AND NORTH OF THE CITY.*

AUTHOR: JUAN GUILLERMO CORREA MENDOZA, JUAN FELIPE MONTAÑO RUEDA.**

KEYWORDS: Piezometer, Pressure Transducer, CTD-Diver, CTD-Diver, Baro Diver.

DESCRIPTION: In the eastern part of the city of Bucaramanga, in places such as El Parque La Flora and Bajos de Pan de Azúcar piezometers have been drilled with the aim to monitor hydrological parameters such as temperature, atmospheric pressure and absolute levels Water and electrical conductivity. Piezometers located in Flora Park have been monitored earlier in the project (Pardo, Martinez 2009) offers information on the physicochemical parameters of the aquifer and the measurement system used to be replicated elsewhere.

The aim of our project piezometers were constructed in 2003 by the CDMB in conjunction with the UIS, with the aim of contributing to research 4 piezometers were implemented in total, in Bajos de Pan de Azúcar are two piezometers which located on an igneous-metamorphic formation for the characterization of a shallow aquifer and a confined aquifer, which offer very different environmental conditions to that of the piezometers located in El Parque La Flora, and the latter two piezometers are settled in an alluvial formation, characterizing also a shallow aquifer and deep aquifer. The purpose of this project was grade instrumentation and monitoring of piezometers using a CTD-Diver in the confined to the piezometer, which is a team that takes continuous readings of electrical conductivity, temperature and water level, and a Diver in the shallow piezometers, which is a team that takes continuous readings of temperature and water level, the Baro Diver also a team that values recorded at room temperature and atmospheric pressure

*Graduation Project

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

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bucaramanga se encuentra enmarcada en una región donde el agua debe ser tratada y utilizada de manera sensata. El área metropolitana de Bucaramanga posee en la actualidad una población de más de un millón de habitantes y aumentando, esta condición ha llevado a que el recurso hídrico sea cada vez más escaso, es así como se hace imprescindible llevar a cabo estudios que estén enfocados al estudio del agua superficial y también del agua subterránea

En conjunto con el Grupo en Predicción y Modelamiento Hidro climático GPH-UIS, se ha querido realizar un trabajo para medir y analizar los niveles del agua y parámetros físicos en piezómetros construidos y administrados por La Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, ubicados en dos sitios estratégicos de área metropolitana (Barrio Bajos de Pan de Azúcar y Parque La Flora), la importancia de estos dos sitios reside en su ubicación geológica (Macizo de Santander y Abanico Aluvial de Bucaramanga respectivamente).

Hidrológicamente la zona de estudio sobre el cual se ejecutó este proyecto 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).

En este proyecto pretende obtener y analizar series de datos de niveles de agua y parámetros físicos mediante el uso directo o la combinación de tres clases de equipos. El primer tipo de equipo es conocido como CTD-Diver, el cual es un datalogger compacto que incluye memoria, batería, sensores y registra presión barométrica, temperatura y conductividad eléctrica en intervalos de tiempo programables a criterio del usuario; el segundo tipo de equipo es conocido como Diver, al igual que el CTD-Diver este cuenta con una memoria interna, batería y sensores pero solo toma datos de presión barométrica y temperatura; El tercer tipo de equipo trabaja en combinación con los dos anteriores para el cálculo de los niveles del agua y es conocido como Baro Diver el cual registra valores de presión atmosférica. Es así como se han obtenido series de datos (Continuas en el tiempo) que nos ofrecen información sobre el nivel y los parámetros físicos del agua en los acuíferos, un ejemplo de esto es la conductividad, ya que este parámetro es un buen indicador de la calidad del agua, debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. Un cambio en la conductividad puede indicar alteraciones en el flujo, aumentos o disminuciones en la contaminación o en la salinización. Con todo esto, es importante tener una buena confiabilidad de los datos registrados por los equipos, estableciendo los parámetros que afectan las medidas.

Se han obtenido series de datos en cuatro piezómetros, los cuales se han denominado como piezómetro Pan de Azúcar No. 1 el cual cuenta con una profundidad de 19.05m desde la superficie y una columna de agua de 8.44m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero superficial; piezómetro Pan de Azúcar No. 2 el cual cuenta con una profundidad de 65.02m desde la superficie y una columna de agua de 56.64m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero profundo; piezómetro Parque la Flora No. 1 el cual cuenta con una profundidad de 23.93m desde la superficie y una columna de agua de 21.14m, este piezómetro fue diseñado para registrar

información de un acuífero superficial; piezómetro Parque la Flora No. 2 el cual cuenta con una profundidad de 50.49m desde la superficie y una columna de agua de 20.34m, este piezómetro fue diseñado para registrar información de un acuífero profundo(Pulido, Nieto, 2010). Se determinó instrumentar los cuatro piezómetros para hacer la toma de datos cada 10 minutos, debido a que la fluctuación de los niveles de agua y cambios en los parámetros físicos son mínimos, con este criterio se ubicaron los equipos (CTD-Diver y Diver) dentro de los piezómetros con una columna de agua sobre estos en promedio de 5 metros, garantizando así que el equipo siempre estará sumergido, de acuerdo a las condiciones que se fueran presentando en los piezómetros (variaciones bruscas de nivel, conductividad, etc.).

De acuerdo a los registros obtenidos de nivel (presión), temperatura y/o conductividad, se estudiarán y analizarán para determinar su comportamiento en el tiempo.

1. GENERALIDADES

En este capítulo empezaremos con las generalidades y descripción de la zona de estudio. La zona de estudio es la zona comprendida por las formaciones sedimentarias y aluviales sobre las cuales se localiza gran parte de la ciudad de Bucaramanga, además de formaciones Ígneas y Metamórficas presentes en la parte oriental de la ciudad.

En este capítulo se presenta la localización exacta de los piezómetros y su geología local.

1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio está ubicada en la región de la Cordillera Oriental, en el Nororiente de Colombia, Departamento de Santander, jurisdicción del Área Metropolitana de Bucaramanga (Ver **Figura. 1**).

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 (Vergara López 2004).

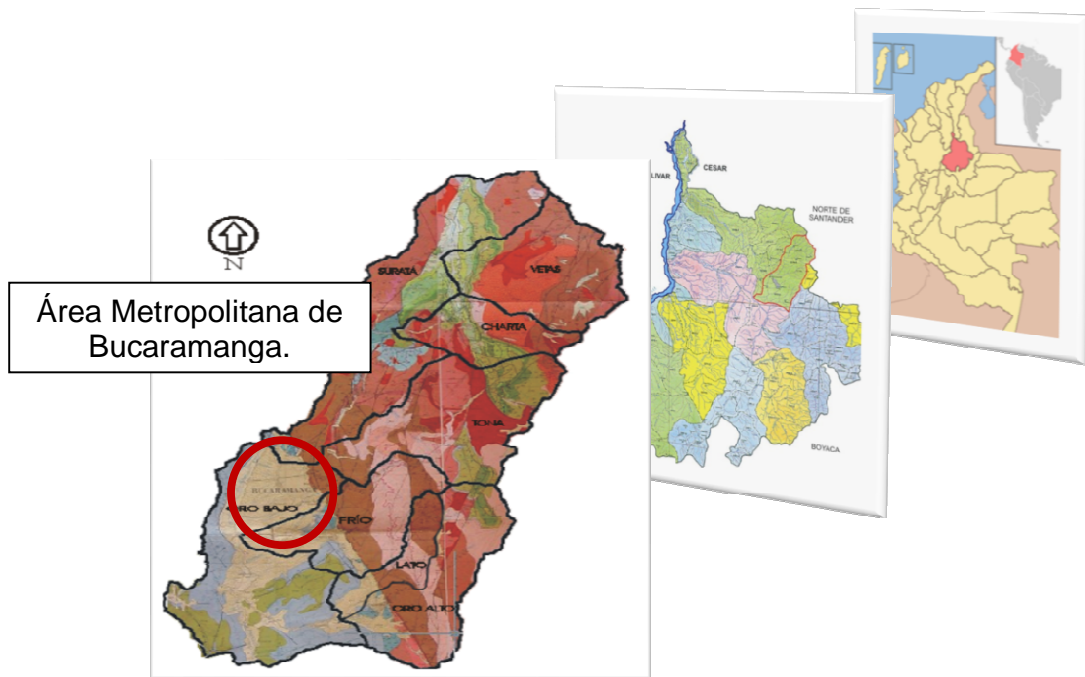


Figura 1. Localización del área de Trabajo.

1.2. TOPOGRAFÍA.

En general el área presenta un rango de elevaciones que oscila entre 825m.s.n.m, en las zonas de la escarpa occidental del área de estudio, y los 2600m.s.n.m., ubicados en el Macizo de Santander al Este del área con una morfología de pendientes abruptas, en la zona urbanizada (Meseta) de la ciudad de Bucaramanga se encuentra pendientes que están entre el 2% y el 7%, siendo un terreno relativamente plano (Arrieta, Reyes 2004).

1.3. REFERENCIA GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

Los piezómetros que fueron objeto de estudio e instrumentación de este proyecto han sido geo-referenciados con un GPS de alta precisión, a continuación se presenta su denominación y coordenadas.

Tabla 1. Denominación de los pozos (Pulido, Nieto, 2010)

DESCRIPCIÓN PIEZÓMETRO	UBICACIÓN	COORDENADAS	COTAS- GPS	FORMACIÓN GEOLÓGICA
Pan de Azúcar No. 1 (Superficial)	Bajos de Pan de Azúcar	E=1104431.516	1039.096	Roca Ígnea (Macizo de Santander)
		N=1280788.28 3		
Pan de Azúcar No. 2 (Profundo)	Bajos de Pan de Azúcar	E=1105295.382	1039.324	Roca Ígnea (Macizo de Santander)
		N=1278366.07 2		
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=1278187.46 1		

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 la carrera 33 y la carrera 36 (Ver **Figura. 2**).

Figura 2. Ubicación piezómetros Pan de Azúcar y Parque la Flora en la ciudad de Bucaramanga.



1.4. GEOLOGÍA LOCAL DEL PROYECTO.

La falla de Bucaramanga Santa Marta y demás estructuras geológicas que se asocian a ella, cruzan de sur a norte la región, y dividen la zona en dos partes, una de ellas contiene rocas ígneo metamórficas, y la otra es una zona es de formación aluvial, y esto compone a grandes rasgos la zona de Bucaramanga, Piedecuesta y Florida. De acuerdo a estudios previamente realizados, hay presencia de rocas metamórficas con intrusiones y diques y la datación del Neiss de Bucaramanga corresponde a rocas de edad precámbrica.

En la zona de Bajos de Pan de Azúcar se encuentra una masa ígnea (JRcg) intrusiva conformada por sienogranitos, granitos, dioritas muy compactas pero bastante fracturadas. Las dioritas se encuentran al norte del Barrio el Jardín, entre las quebradas la Flora y el Dinamo. Los sienogranitos afloran en la avenida de Pan de Azúcar y en la quebrada el Dinamo. Esta zona de Pan de Azúcar, gracias

a los estudios realizados, ha demostrado ser un suelo bueno para almacenar agua, debida a la textura granular ocasionada por la meteorización esferoidal. En la zona oriental donde aflora el complejo ígneo metamórfico existen masas ígneas pequeñas en gran cantidad, dentro de las rocas metamórficas formando de esta manera migmatitas.

Las rocas del macizo debido a su gran fracturamiento con diaclasamiento y meteorización presentan una permeabilidad secundaria, siendo este un rasgo geológico importante, pues esto beneficia el almacenamiento de agua subterránea, es decir en condiciones de formación acuífera fracturada.

De la cuarzomonzonita Santa Bárbara (JRcg) se encuentra en las inmediaciones de la quebrada La Flora, el suelo está compuesto de feldespato potásico, rosado, naranja a rojo grisáceo, plagioclasa blanca, cuarzo gris y en menor proporción biotita. Al nororiente de la zona metropolitana se encuentran dos cuerpos de este tipo, conformados por cuarzomonzonita gris, de grano fino a medio, equigranular, de textura sacaroides, y biotita diseminada uniformemente. Esta cuarzomonzonita es de color gris cuando está fresca pasando a gris brillante y gris amarillenta al meteorizarse.

En la zona del sector urbanizado de Bucaramanga y hacia el sur, y hasta el sector norte de la zona de Floridablanca podemos encontrar limo rojo (Qblr), y este constituye primordialmente lo que se conoce como “Meseta de Bucaramanga”, el drenaje es escaso y paralelo, y cuenta con pendientes entre el 2 y 7%, está constituido por arenas arcillosas y gravosas, y limos rojizos, amarillentos y naranjas. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada formando en algunos sectores altos niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión (Gómez, 2003.).

1.5. DISEÑO DE LOS PIEZÓMETROS

Un piezómetro o pozo de observaciones es una excavación vertical, en la que se introduce adecuadamente un tubo, 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.

Los piezómetros objeto de este proyecto 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(Gómez, Colegial, 2003.).

1.5.1 Diseño De Los Piezómetros Bajos De Pan De Azúcar.

Los piezómetros se diseñaron teniendo en cuenta la columna litológica encontrada encada 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 promedio 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 instaló gravilla n°2, con un peso específico de 1.63 ton/m³. a los 50 cm se instaló un sello sanitario en concreto y tapa en hierro (Gómez, colegial, 2003.), este piezómetro tiene como finalidad mostrar el comportamiento del acuífero superficial.

Para el Piezómetro N°2 ubicado a una distancia de 2.5 metros del piezómetro N°1 hacia el oriente al igual que el piezómetro N°1 la perforación se realizó con un tamaño de 3" y una profundidad total de 70 metros con un nivel freático promedio 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 instaló 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 instaló un sello sanitario en concreto y tapa en hierro. (Gómez, Colegial, 2003.), a continuación en las **Figuras3 y 4** se observa un esquema del diseño y la disposición espacial de los dos piezómetros perforados en el barrio Bajos de Pan de Azúcar.

Figura 3. Diseño de piezómetros Bajos de Pan De Azúcar.

(Gómez, Colegial, 2003.)

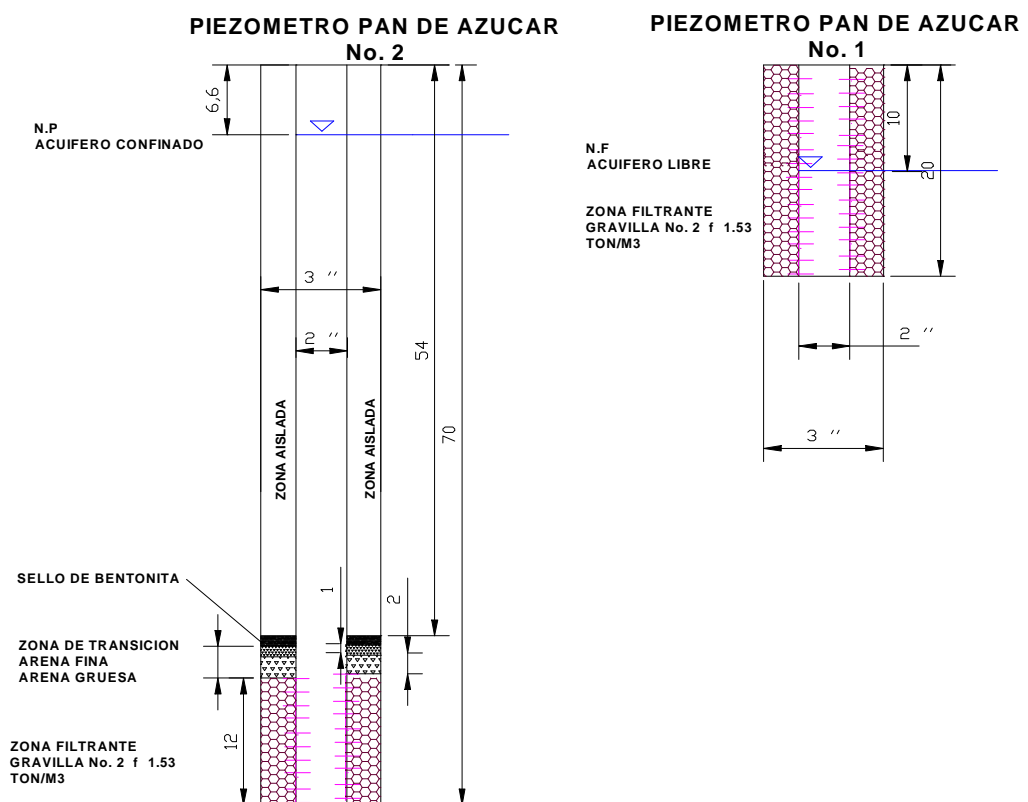


Figura 4. Disposición espacial de los piezómetros en Pan de Azúcar.



1.5.2 Diseño De Los Piezómetros Parque La Flora.

Al igual que los piezómetros del barrio Bajos de Pan de Azúcar, estos piezómetros fueron perforados para la construcción de un modelo conceptual de flujo para la región, a continuación en las **Figuras 5 y 6** se muestra el esquema en perfil de los piezómetros construidos en el Parque La Flora, además de los sistemas de seguridad utilizados para la protección contra el vandalismo de los equipos y el sistema de suspensión de estos mediante una guaya no corrosible recubierta.

Al igual que los piezómetros de Pan de Azúcar estos se encuentran a menos de 3 metros de distancia el uno del otro, y la cota de la boca del piezómetro es la misma.

Figura 5. Esquema piezómetros “Parque La Flora”.(Pulido, Nieto, 2010.)

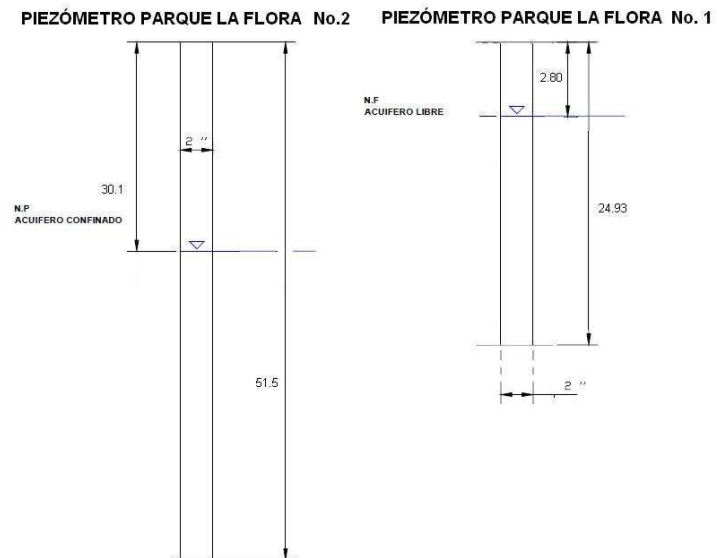


Figura 6. Cajas de seguridad y sistema de suspensión de los equipos en los piezómetros del Parque La Flora



1.6. INSTALACIÓN DE CAJAS SE SEGURIDAD PIEZÓMETROS PAN DE AZÚCAR.

En los piezómetros de Pan de Azúcar se instalaron dos cajas en concreto para la protección contra el vandalismo de los equipos instalados, a continuación en la **Tabla 2** se muestra un presupuesto para su instalación.

Tabla 2. Presupuesto instalación cajas de seguridad Pan de Azúcar.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Guaya	1	\$ 100.000.00	\$ 100.000.00
Perros	20	\$ 500.00	\$ 10.000.00
Pintura anticorrosiva	1	\$ 10.000.00	\$ 10.000.00
Ladrillo Temosa	40	\$ 500.00	\$ 20.000.00
Cemento	2	\$ 18.000.00	\$ 36.000.00
Arena	1	\$ 15.000.00	\$ 15.000.00
Varillas de acero	5	\$ 8.000.00	\$ 40.000.00
Tapones de PVC	3	\$ 1.500.00	\$ 4.500.00
Mano de obra	2	\$ 50.000.00	\$ 100.000.00
Transporte	1	\$ 50.000.00	\$ 50.000.00
SUBTOTAL			\$ 385.500.00
IMPREVISTOS			\$ 38.550.00
TOTAL			\$ 424.050.00

A continuación en la figura se muestra en detalle el trabajo final hecho en los piezómetros de Pan de Azúcar.

Figura 7. Detalle Cajas y boca de los piezómetros Pan de Azúcar



1.7. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS PARÁMETROS A MEDIR.

El agua subterránea, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas, los equipos utilizados en este proyecto registran tres parámetros: Temperatura, conductividad y presión. Estos parámetros varían en el espacio y en el tiempo, a continuación se describen los parámetros fisicoquímicos que se midieron en este proyecto de grado.

1.7.1. Temperatura, °C

El agua de lluvia que recarga los acuíferos tiene una temperatura algo inferior a la temperatura ambiente local (medida en grados Celsius (°C) y en los países anglosajones en grados Fahrenheit (°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).

Es importante tomarla en el campo para interpretaciones detalladas de la composición química del agua, además de afectar la viscosidad y la capacidad de absorción de gases. En las aguas subterráneas es aproximadamente la temperatura media anual más el gradiente geotérmico regional normalmente la temperatura del subsuelo aumenta 3 °C cada 100 metros de profundidad, sin embargo es algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y menores en zonas sedimentarias.

1.7.2. 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 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o micromhos/cm ($\mu\text{mhos}/\text{cm}$) o $\mu\Omega^{-1}/\text{cm}$. 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/cm). Por otro lado el agua de mar con alto contenido de sales tiene una conductividad de aproximadamente 40.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (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 2**), 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).

Tabla 3. Intervalos típicos de la conductividad para aguas.(Gerard Kiely, 1999)

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

La conductividad eléctrica, en gran parte es debida a la disociación de compuestos inorgánicos como de compuestos orgánicos, estos últimos 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 (≈ 0.52 - 0.55)

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

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

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

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

1.7.3. Presión

1.7.3.1 Presión Absoluta: Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

1.7.3.2 Presión Atmosférica. El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg² (101,35Kpa), disminuyendo estos valores con la altitud.

1.7.3.3 Presión Manométrica: Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que se define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es

evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

$$***Presión Absoluta = Presión Manométrica + Presión Atmosférica***$$

2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETROS

Para la instrumentación de los piezómetros se utilizaron equipos que nos permiten el registro de presión relativa, presión absoluta, temperatura y/o registro de la conductividad del agua. Estos parámetros son tomados por los siguientes dispositivos:

Diver, Baro-Diver, CTD-Diver.

2.1. DIVER

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

Figura 8. Diver.



Fuente. Manual del producto (versión junio de 2010)

2.2. Baro-Diver

Este equipo mide la temperatura y la presión atmosférica. El Baro-Diver funciona como un barómetro y registra la presión atmosférica en cada sitio de medición. Los datos de la presión atmosférica se deben utilizar para compensar las mediciones de presión registradas por los Divers para las variaciones en la presión atmosférica. Para este fin, se recomienda utilizar un Baro-Diver, que está diseñado para tomar mediciones de presión atmosférica.

En principio, un solo Baro-Diver es suficiente para un área con un radio de 15 kilómetros.

Figura9.Baro-Diver.



Fuente. Manual del producto (versión junio de 2010)

2.3. CTD-Diver

Este equipo puede medir la temperatura y los niveles de agua, pero su principal característica es que mide la conductividad eléctrica del agua en mili-siemens por centímetro (mS/cm). Un cambio en la conductividad puede indicar alteraciones en el flujo, aumentos o disminuciones en la contaminación o en la salinización.

La conductividad se mide con una celda de medición de 4 electrodos. Este tipo de celda de medición es relativamente indiferente a los sensores sucios; por lo tanto, necesita un mantenimiento mínimo.

Por cada medición se registran la fecha y hora, el nivel de agua en el piezómetro, su temperatura y su conductividad. En cuanto a la medición de la conductividad, se ofrecen dos opciones: visualización de la conductividad medida o de una conductividad específica. El CTD Diver está alojado en una carcasa de cerámica, resistente a sustancias agresivas. La memoria del CTD-Diver da cabida a un máximo de 16.000 datos de medición por parámetro.

Figura10.Modelos de CTD-Diver.



Fuente. Manual del producto (versión junio de 2010)

2.4. USB Diver Reading

Dispositivo que se utiliza para conectar los equipos que se tienen en la estación hidrométrica a un PC por medio de conexión USB para poder descargar la información, reprogramar la toma de datos en la estación y para la calibración del CTD Diver.

El dispositivo cuenta con dos Terminales, uno de ellos es para conectar el Diver, el Baro Diver y el CTD Diver. El otro Terminal es una conexión USB para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador.

2.5. SOFTWARE DIVER OFFICE

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

Este software fue creado por Schlumberger Water Services para ser utilizado con los equipos Diver, Baro Diver, CTD Diver y OTD Diver los cuales son producidos por EijkelkampAgriseachEquipment.

Diver-Office ofrece las siguientes prestaciones:

- Interfaz sencilla e intuitiva.
- Leer o programar registradores de datos Diver.
- Arrancar o detener registradores de datos Diver con varios métodos de inicio.
- Calibrar CTD-Diver's.
- Importar o exportar datos de monitorización en diversos formatos.
- Visualizar datos de series temporales en tablas o mediante gráficos.
- Realizar compensaciones barométricas de datos de nivel del agua.

La instalación es sencilla, Diver-Office funciona en todas las versiones actuales de Microsoft Windows y es fácil de instalar en un ordenador portátil o de escritorio. A medida que se lanzan nuevas versiones de Microsoft Windows, el sitio web **www.swstechnology.com** contiene más información acerca de las versiones de Windows admitidas, etc. El sitio siempre proporcionará la última versión de Diver-Office para descargar o actualizar en forma gratuita.

El manual para Diver-office proporciona una completa y detallada información sobre cada una de las operaciones que este ofrece y como llevar a cabo cada una de estas. Se puede encontrar en el proyecto de John Jairo Aguilar Ardila y Cristian

Ricardo Caballero Ramírez publicado en el año 2010 información sobre el manejo del software y sus aplicaciones basadas en manual del **Diver-office**.

2.6. ASPECTOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

Todos los Divers establecen la altura de una columna de agua, midiendo la presión del agua con el sensor de presión integrado. Mientras el Diver no está sumergido en el agua, mide la presión atmosférica como si fuera un barómetro.

Una vez que se sumerge el Diver, esto se complementa con la medición de la presión del agua: mientras más alta sea la columna de agua, mayor será la presión medida (Ver **Figura.10**). La altura de la columna de agua por encima el sensor de la presión del Diver se determina en función de la presión medida.

Figura 11. Diagrama de equipos instalados.



Todos los Divers miden la temperatura del agua subterránea. Esto puede, por ejemplo, proporcionar información sobre flujos de agua subterránea. También permite determinar la difusión de agua (contaminada). La temperatura se mide

utilizando un sensor semiconductor. Este sensor sólo mide la temperatura, sino que también utiliza el valor de la temperatura para, al mismo tiempo, compensar el sensor de presión.

Para medir variaciones en la presión atmosférica, se instala un Baro-Diver para cada sitio que está midiendo. La compensación barométrica para estas variaciones en la presión atmosférica se logra posteriormente utilizando el paquete de software **Diver-Office**. El Diver y el Baro Diver tienen capacidad para almacenar 24.000 medidas y el CTD Diver tiene una capacidad de 16.000 medidas en la memoria interna y una batería para aproximadamente 10 años.

2.7. MANEJO DE EQUIPOS PARA INSTRUMENTACIÓN DE PIEZÓMETROS.

Los equipos de medición como cualquier elemento manufacturado tienen rangos de precisión, por eso es materia de este capítulo hacer un estudio en una fase preliminar al manejo e instalación de los equipos en campo, mediante condiciones controladas se comprobó el funcionamiento de los equipos para su posterior análisis y comparación de los errores presentados en las pruebas tomadas y los propuestos por el fabricante.

2.7.1. Procedimiento En Laboratorio

La razón de este procedimiento es encontrar por medio de ensayos errores que puedan tener los equipos en la toma de datos estimarlos y compararlos, con los dados por el fabricante, de los tres equipos utilizados en la toma de datos para este proyecto, es el CTD-Diver el único equipo que requiere ser calibrado para la toma del parámetro conductividad, en el caso del Baro-Diver y Diver, solo se requiere comprobar su precisión y compararla con los estándares del fabricante.

Como se dijo anteriormente en cuanto a las pruebas de conductividad, el grupo de investigación cuenta con un patrón de conductividad de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, certificada bajo la norma ASTM D 1125-86, para la calibración del CTD Diver

Para la utilización de los equipos en el Piezómetro ubicado en la flora era necesario llevar a cabo una limpieza del pozo, esto con el fin de que estuviese lo más limpio posible y no se presentara cambios drásticos a la hora de la toma de datos de conductividad, para llevar esto a cabo utilizamos una Bomba Sumergible Comet-combi utilizada para la limpieza de pozos subterráneos

Para la utilización de la bomba y el manejo de los equipos en condiciones controladas se utilizó como apoyo el tanque subterráneo del Laboratorio de Hidráulica UIS. Este tanque en concreto está ubicado en la parte baja del edificio. Cuenta con un volumen de 34.5 m³ y una altura de rebose de 1.90m desde el piso del fondo. Lo cual nos brinda unas condiciones controladas perfectas para la utilización de los equipos y la capacidad de la bomba.

Las pruebas realizadas se llevaron a cabo bajo condiciones controladas, con un nivel de agua conocido y estable, esto para el cálculo de niveles, para los ensayos de Conductividad con el CTD Diver se hicieron tres ensayos diferentes una prueba con agua destilada, otra con agua-sal y la última con la sustancia patrón de calibración.

2.7.2. Errores De Conductividad

En búsqueda de tener mayor certeza sobre la veracidad de los datos registrados por los dispositivos en campo es necesario compararlos con otros dispositivos que nos brinden mayor precisión para usarlos como referencia.

2.7.2.1. Pruebas De Laboratorio: Para verificar que los datos obtenidos por el CTD Diver en campo corresponden con la realidad se realizaron pruebas en laboratorio, comparando los datos obtenidos por el CTD Diver..

- Con un patrón de conductividad de 1.4130 mS/cm \pm 20 μ S/cm (Producido en Colombia por MOL LABS LTDA.) se calibra el CTD Diver.
- Se limpian los dos aparatos con agua destilada para garantizar que la muestra siguiente no va a ser alterada por los residuos de sal de la muestra anterior.
- Se repite este procedimiento para cada una de las muestras.

Tabla 4. Error de la conductividad medida por el CTD Diver dentro del rango de calibración.

Conductividad dentro del rango de calibración			
Parámetro	CTD DivermS/cm	Resultado Teórico Buffer de Calibración mS/cm	% error
Conductividad	0,141	0,143	1,39%

La tabla anterior muestra la comparación de las conductividades medidas por el CTD Diver se encuentran dentro del rango de calibración. Con esto podemos decir que el CTD Diver mide correctamente las conductividades bajas, ya que fue calibrado para tal fin.

Para el caso actual en el que se utiliza el instrumento se miden conductividades promedio menores a ($<$ 1.413 mS/cm) y no es necesaria la calibración completa del CTD Diver.

2.7.3. Errores En La Medición De Conductividad

Debido a que los datos con los que se trabaja en este proyecto son suministrados por dispositivos electrónicos hay algunos errores a los que están expuestos:

- Errores por el instrumento o equipo de medición: pueden deberse a defectos de fabricación (dado que es imposible construir aparatos perfectos). Estos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etc.
- El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y puede determinarse mediante calibración.

En este caso las especificaciones del equipo respecto a conductividad nos recomiendan:

- ✓ Rango de medida: 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 120 mS/cm
- ✓ Precisión: 1% con respecto a un mínimo de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

A continuación en este capítulo se analizarán las series de datos obtenidas en campo, entre los parámetros a considerar se encuentra la conductividad, temperatura, presión absoluta y barométrica al igual que los niveles de agua, se analizará de tal manera que se pueda entender su comportamiento y/o continuidad en el tiempo, como los piezómetros han sido objeto de diferentes investigaciones, se pretende dar a continuación una breve reseña de estos.

3.1. RESEÑA HISTÓRICA PIEZÓMETROS.

PIEZÓMETROS LA FLORA

Parámetros medidos en los piezómetros ubicados en el parque la flora.

LA FLORA	VARIABLES DE INTERÉS	PERIODOS DE TOMA DE DATOS	REFERENCIAS
Acuífero Superficial I	Nivel de agua	Mayo 17/2011- Sep 05/2011	Montaño-Correa
	Nivel de agua	Octubre/2010- Feb/2011 Mayo 17/2011- Sep 05/2011	Pardo-Martínez Montaño-Correa
Acuífero Profundo		Mayo 17/2011- Sep 05/2011	Montaño-Correa
	Conductividad	Octubre/2010- Feb/2011	Pardo-Martínez

Ilustración 1. Reseña histórica Piezómetro Profundo La Flora.

Noviembre de 2003

- Perforación del piezómetro.

03/03/2009

- Instrumentación Piezómetro profundo la Flora Con un CTD-Diver Proyecto Pardo-Martínez.

21/06/2009

- Cambio de Guaya de Acero Inoxidable por una Guaya Recubierta.

28/07/2009

- Fin toma de datos proyecto Pardo-Martínez.

Fin del año 2009, principios del año 2010.

- Toma de datos por parte del Grupo en Predicción y modelamiento Hidroclimático.

30/08/2010

- Instrumentación del piezómetro con un CTD-Diver, inicio de toma de datos y programación del equipo con un intervalo de tiempo de 3 minutos

23/10/2010

- Programación del equipo con un intervalo de tiempo de 10 minutos.

11/02/2011

- Fin de la instrumentación con CTD-Diver.

17/05/2011

- Instrumentación del piezómetro con un Diver y programación del equipo con un intervalo de tiempo de 10 minutos.

Ilustración 2. Reseña histórica Piezómetro Superficial La Flora.

Noviembre de 2003

- Perforación del piezómetro.

17/05/2011

- Instrumentación del piezómetro con un Diver y un Baro-Diver y programación del equipo con un intervalo de tiempo de 10 minutos.

PIEZÓMETROS BAJOS DE PAN DE AZUCAR.

Parámetros medidos en los piezómetros ubicados en el barrio Bajos de Pan de Azucar.

LA FLORA	VARIABLES DE INTERÉS	PERIODOS DE TOMA DE DATOS	REFERENCIAS
Acuífero Superficial	Nivel de agua	Mayo 17/2011- Sep 05/2011	Montaño-Correa
Acuífero Profundo	Nivel de agua	Octubre/2010- Feb/2011 Mayo 17/2011- Sep 05/2011	Pardo-Martinez Montaño-Correa
	Conductividad	Mayo 17/2011- Sep 05/2011 Octubre/2010- Feb/2011	Montaño-Correa Pardo-Martinez

Ilustración 3. Reseña histórica Piezómetro Profundo Pan de Azúcar.

Noviembre de 2003

- Perforación del piezómetro.

17/05/2011

- Instrumentación del piezómetro con un Diver y un Baro-Diver y programación del equipo con un intervalo de tiempo de 10 minutos.

Ilustración 4. Reseña histórica Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.

Noviembre de 2003

- **Perforación del piezometro.**

17/05/2011

- **Instrumentación del piezometro con un CTD-Diver y un Baro-Diver y programación del equipo con un intervalo de tiempo de 10 minutos.**

3.2. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

La conductividad eléctrica se registró mediante el equipo conocido como CTD Diver. Se contaba con series de datos de conductividad de un proyecto de grado anterior (Pardo, Martínez, 2009) (Ver Ilustración 1.), el único piezómetro que fue objeto de instrumentación de dicho proyecto fue el profundo (Piezómetro Parque La Flora No 2) ubicado en el Parque La Flora, para la toma de datos de este proyecto se tomaron mediciones en los meses de marzo y abril del año 2009, el equipo fue programado para intervalos de tiempo de 3 minutos esto con el fin de observar las variaciones de registro de conductividad en un intervalo de tiempo corto, para los meses de abril, mayo, junio, julio de 2009, el CTD Diver fue programado en intervalos de 30 minutos ya que el registro de los datos de conductividad no presentaban una mayor variación.

En el mes de marzo de 2009 la conductividad oscilo en un rango de 0.26 a 0.30 mS/cm, en los meses de abril y mayo de 2009 la conductividad registró valores constantes de 0.31 mS/cm, mientras que en los meses de junio y julio del año 2009 El CTD Diver registró valores de conductividad hasta de 0.32 mS/cm (Pardo, Martínez, 2009), este proyecto presento problemas en el transcurso de la toma de datos, ya que la conductividad a lo largo de los meses sufrió un incremento de 0.29 a 0.32mS/cm, se propuso como hipótesis un cambio de conductividad en el

agua subterránea debido a algún agente externo, se realizaron observaciones a la guaya en acero inoxidable de un 1/8, determinando que esta no presentaba las condiciones iniciales con las que se había hecho el montaje por otra parte presentaba una Oxidación que de alguna manera modificaba las condiciones reales de la conductividad del Agua Subterránea lo que ocasionó el retiro de los equipos hasta que no se encontrara una solución precisa al problema encontrado, dando como solución definitiva una limpieza del pozo con una bomba peristáltica (Ver Pulido, Nieto 2010) y el cambio de la guaya por una recubierta en plástico y hecha en acero inoxidable como se puede ver en la **Figura 11**.

Figura 12. Sujeción de los equipos a la guaya recubierta.



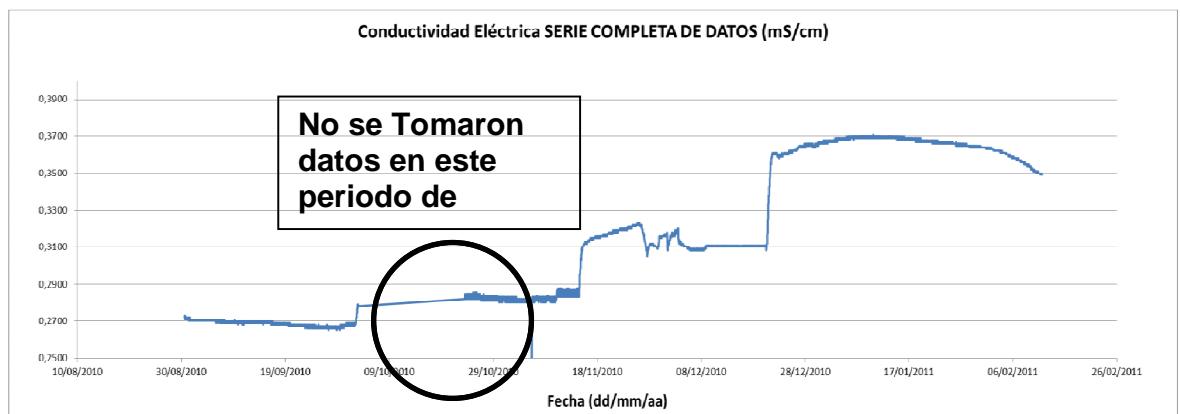
Inicialmente para este proyecto se hicieron mediciones de conductividad con el CTD-Diver únicamente al Piezómetro profundo del Parque la Flora (Piezómetro

Parque La Flora No 2), desde finales del mes de Agosto de 2010 (30/08/2010), hasta mediados del mes de Febrero de 2011 (11/02/2011), en donde se trasladó el equipo al piezómetro superficial de Bajos de Pan de Azúcar (Piezómetro Pan de Azúcar No 1) el cual se instrumentó a mediados del mes de Mayo de 2011 (17/05/2011).

3.2.1. Parámetro Conductividad Eléctrica Piezómetro Profundo La Flora.

El comportamiento de la conductividad respecto al tiempo se puede observar que esta oscila en un rango de 0.25 a 0.37 mS/cm.

Grafico 1. Conductividad Eléctrica Piezómetro Profundo La Flora (Agosto-2010 a Febrero-2011)

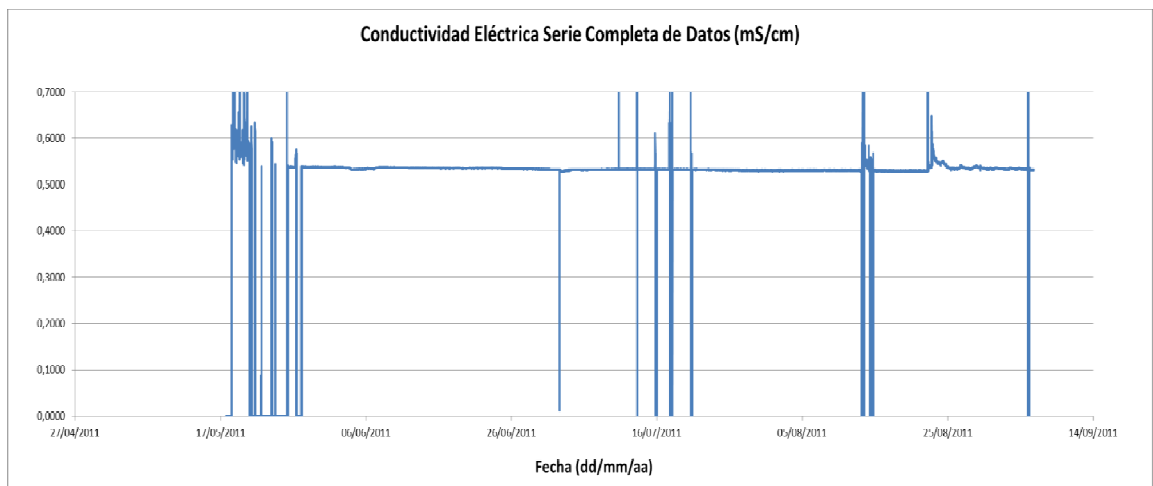


3.2.2. Parámetro Conductividad Eléctrica Piezómetro Superficial La Flora.

El comportamiento de la conductividad respecto al tiempo en este piezómetro es más errática que la presentada en el piezómetro profundo de la flora, estas fluctuaciones pueden dar pie a un estudio más profundo de las condiciones de flujo en esta zona del área metropolitana, para descartar y o confirmar un posible

flujo preferencial, ya que la formación donde se encuentra esta perforación es una roca ígnea meteorizada.

Grafico 2. Cond Eléctrica Piezómetro Superficial Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.3. ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE AGUA

Para el cálculo de los niveles de agua se usó la siguiente expresión:

$$H = \text{presión absoluta ("CTD-Diver", "Diver")} - \text{presión barométrica (BaroDiver)}$$

Los datos registrados tanto por el CTD Diver, Diver y el BaroDiver fueron tomados en intervalos de 10 minutos entre los meses de Mayo a Septiembre del año 2011.

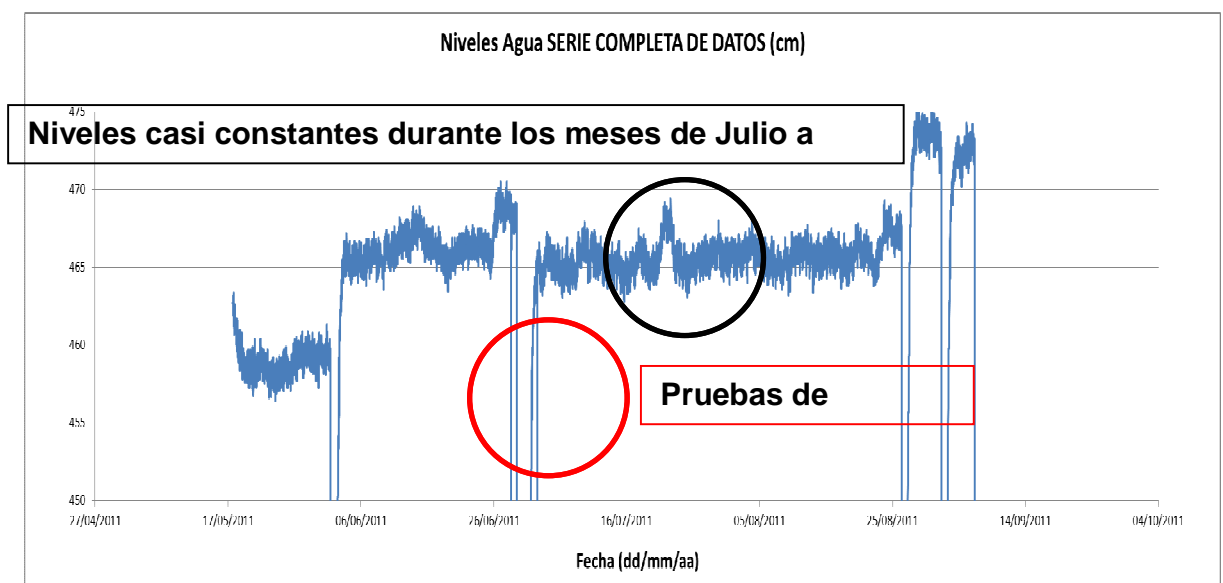
3.3.1. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Profundo La Flora.

El comportamiento de los niveles de agua en el piezómetro profundo de la flora podría servir para plantear como este no depende de las condiciones locales, es decir, la precipitación que ocurre en el sector en el cual están ubicado el piezómetro y estaría más relacionado con la infiltración y condiciones regionales;

ya que en este breve periodo seco, en el cual se monitoreo este piezómetro se observa como los niveles aparecen constantes, se observan unas caídas súbitas en el nivel, esto es debido a que el pozo es parte de otros proyectos de grado, los cuales se enfocan en pruebas de bombeo, es por eso que los equipos deben ser retirados y el piezómetro abatido; al final del periodo de monitoreo se observa un aumento en los niveles, se debe quizá a las precipitaciones que se han presentado en la región y el inicio del segundo periodo de lluvia en Colombia.

Es de destacar que la formación geológica sobre la que se asienta este piezómetro es el abanico aluvial de Bucaramanga, cuya zona de recarga ha sido identificado en la zona montañosa del Macizo de Santander hacia las cotas 1800 a 2000 msnm (Gómez, Colegial, 2003).

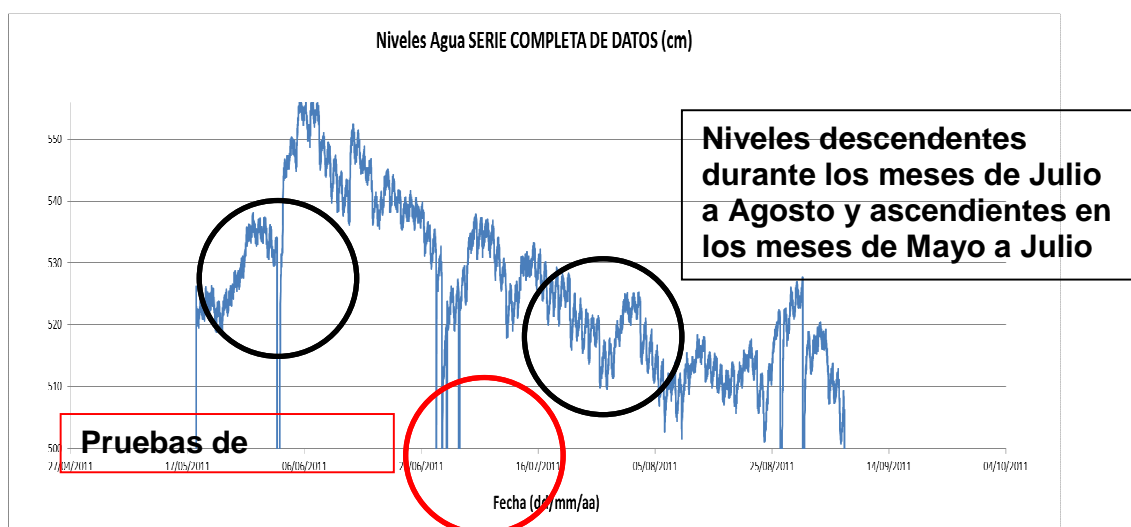
Grafico 3. Niveles de Agua piezómetro Profundo La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.3.2. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Superficial La Flora.

El comportamiento del piezómetro superficial muestra un comportamiento de manera general opuesto al del piezómetro superficial, una hipótesis a plantear sería la completa independencia de los acuíferos que son monitoreados por estos piezómetros, además de dependencia de las condiciones locales, es decir la precipitación que ocurra en el sector en el cual están ubicado el piezómetro, ya que el descenso en los niveles se presentan en los meses de verano por los que ha pasado el país en el año 2011, igualmente se observan unas caídas súbitas en el nivel, esto es debido a que el pozo es parte de otros proyectos, los cuales se enfocan en pruebas de bombeo, es por eso que los equipos deben ser retirados y el piezómetro abatido; al final del periodo de monitoreo se observa un aumento en los niveles, se debe quizá a las precipitaciones que se han presentado en la región, situación que podría fortalecer la hipótesis de una recarga local de este acuífero.

Grafico 4. Niveles de Agua piezómetro Superficial La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.3.3. Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.

El piezómetro superficial de pan de azúcar muestra una marcada tendencia al ascenso de sus niveles, se muestra un evento a principios del mes de Junio, evento que también se registra en el piezómetro profundo, se podría pensar en una recarga por escorrentía, ya que teóricamente los piezómetros están monitoreando dos acuíferos diferentes.

Grafico 5. Niveles de Agua piezómetro Superficial Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011) Parámetro Niveles de Agua Piezómetro Profundo Pan de Azúcar.

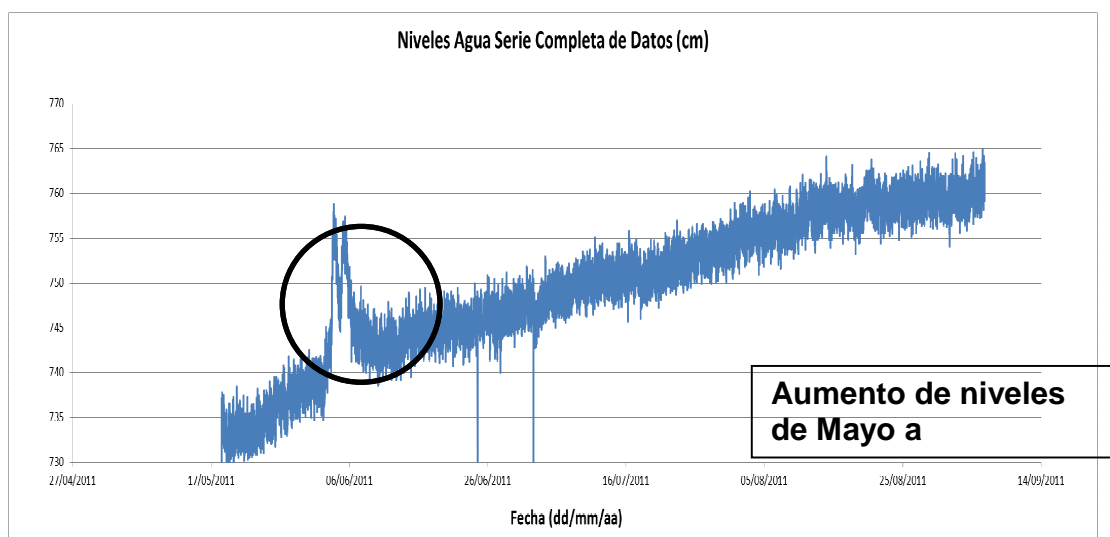
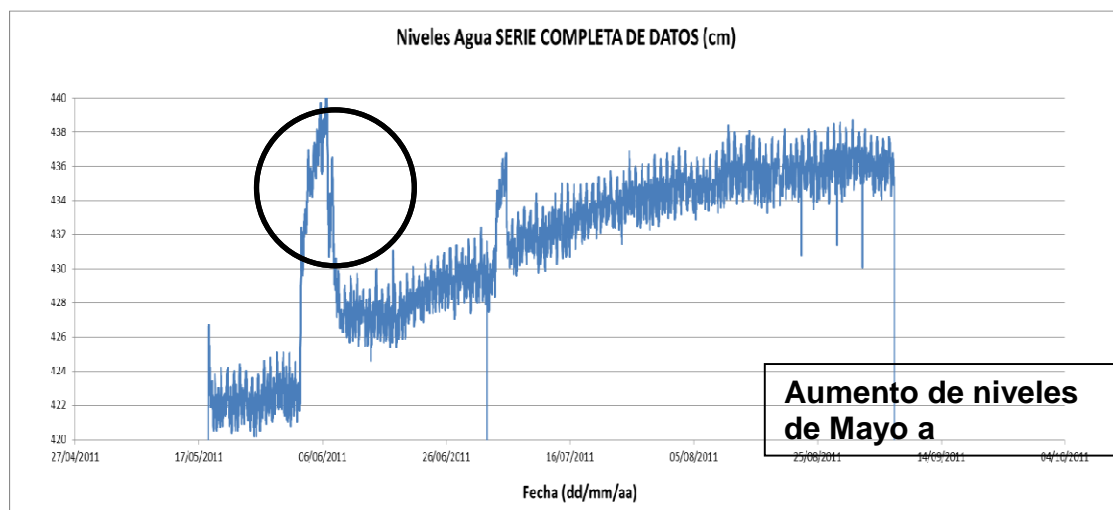


Grafico 6. Niveles de Agua piezómetro Profundo Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.4. ANÁLISIS PARÁMETRO TEMPERATURA

De los instrumentos utilizados el CTD-Diver y el Diver registran valores de temperatura del agua mientras que el Baro Diver registra valores de la temperatura ambiente, estos registros son almacenados en la memoria interna de los equipos.

3.5. TEMPERATURA AMBIENTE/AGUA VS TIEMPO.

En la parte superior del piezómetro se encuentra ubicado el Baro Diver siempre por encima del nivel del agua, este equipo registra valores ininterrumpidos, Estos valores de temperatura, son datos aproximados de la temperatura real del ambiente debido a que como el equipo se encuentra dentro del piezómetro es

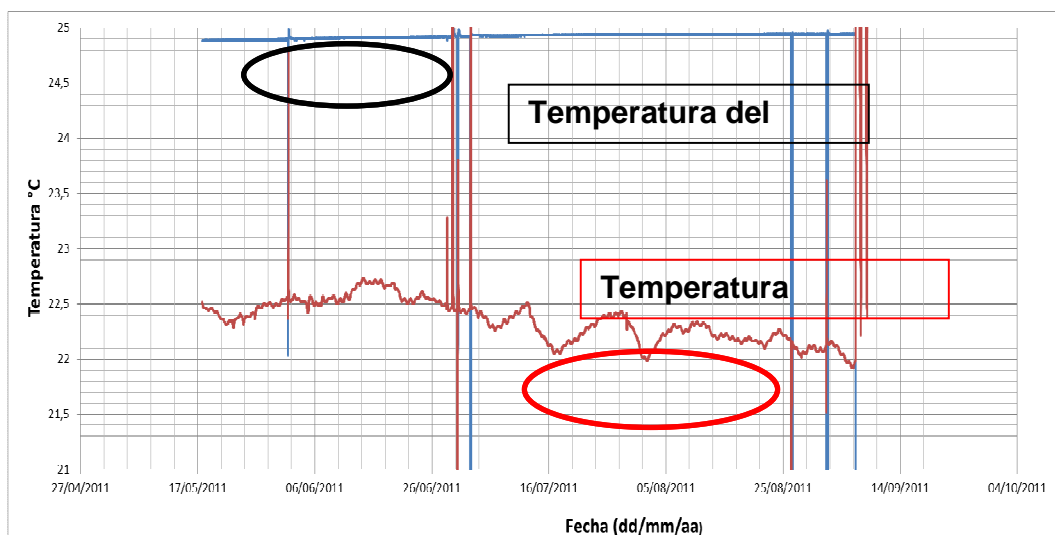
posible que se presenten fenómenos físicos que alteren de alguna manera estos resultados.

Para tener datos más precisos acerca de la temperatura del ambiente se recomienda la utilización del equipo al aire libre lo que exigiría vigilancia permanente debido a los problemas de inseguridad que se puedan presentar.

3.5.1. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro profundo La Flora.

Se observa que la temperatura del agua es superior a la temperatura ambiente, esto debido al gradiente geotérmico propio de las aguas subterráneas(Pulido, Nieto, 2010), otra particularidad es el comportamiento más constante y/o la poca fluctuación que tiene en sus valores la temperatura ambiente, este es un comportamiento que se repite en los otros tres piezómetros, en gran parte se debe a que la temperatura ambiente está afectada por agentes como las precipitaciones, nubosidad, radiación solar etc.

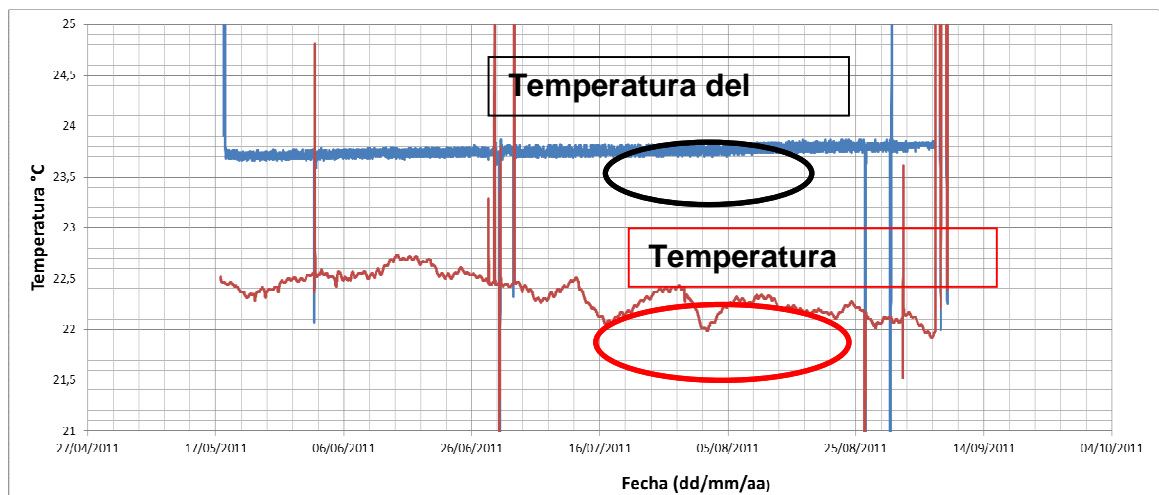
Grafico 7. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Superficial La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.5.2. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Superficial La Flora.

Al igual que en el piezómetro superficial se observa que la temperatura del agua es superior a la temperatura ambiente, esto debido al gradiente geotérmico propio de las aguas subterráneas (Pulido, Nieto, 2010), se observa como la temperatura de las aguas en este piezómetros es más baja, debido a que el gradiente geotérmico tienen una relación de $33,3^{\circ}\text{C} @ 1\text{km}$, es decir, cada 100m de profundidad la temperatura del agua aumentara 3,33 grados centígrados, debido a que el equipo del piezómetro profundo está suspendido a casi 33 m del nivel del suelo, vemos como la diferencia entre la temperatura del agua del piezómetro superficial y del piezómetro profundo esta alrededor de un grado centígrado.

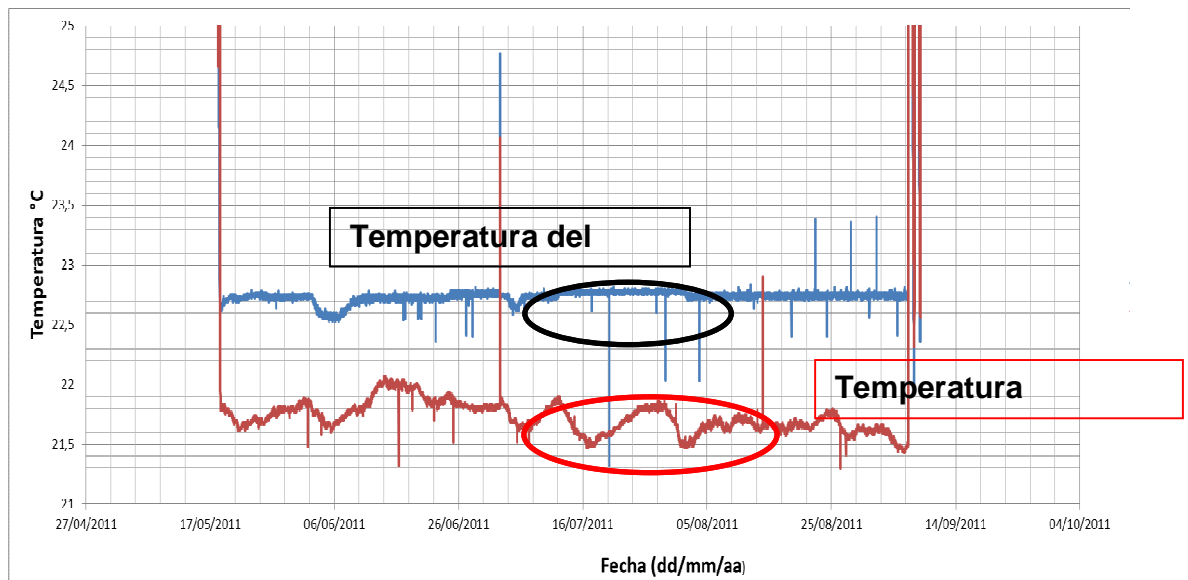
Grafico 8. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Profundo La Flora (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.5.3. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Profundo Pan de Azúcar.

Al igual que los piezómetros de La Flora se observa que la temperatura del agua es superior a la temperatura ambiente, esto debido al gradiente geotérmico propio de las aguas subterráneas (Pulido, Nieto, 2010).

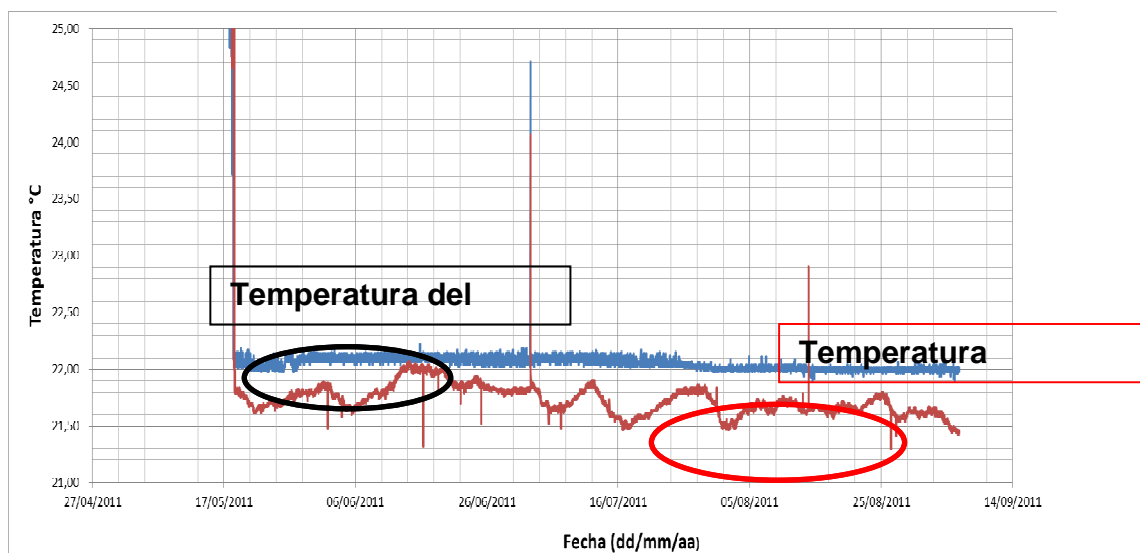
Grafico 9. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Profundo Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



3.5.4. Parámetro Temperatura Ambiente/Agua Piezómetro Superficial Pan de Azúcar.

Al igual que los piezómetros de La Flora se observa que la temperatura del agua es superior a la temperatura ambiente, esto debido al gradiente geotérmico propio de las aguas subterráneas (Pulido, Nieto, 2010).

Grafico 10. Temperatura Ambiente/Agua piezómetro Superficial Pan de Azúcar (Mayo-2011 a Septiembre-2011)



Según los datos obtenidos tanto para temperatura ambiente como para temperatura del agua podemos deducir que la temperatura del agua en todos los meses de muestreo es mayor que la temperatura ambiente debido al gradiente geotérmico, no importa cuán superficial sea la lámina de agua del piezómetro monitoreado.

4. CONCLUSIONES

- Con el presente proyecto se continuo con el monitoreo de un piezómetro (1) y se inició la automatización de tres piezómetros adicionales localizados en el parque La Flora (1) y en el barrio Bajos de Pan de Azúcar (2) de la ciudad de Bucaramanga para un total de cuatro piezómetros, estos piezómetros fueron construidos por la CDMB con asesoría del grupo GPH-UIS. Se instrumentó cada uno de los sitios de monitoreo (La Flora y Pan de Azúcar) con un Baro-Diver para el registro de la presión atmosférica, y en cada piezómetro un Diver para medición de presión y temperatura o un CTD-Diver para medición de presión, temperatura y conductividad eléctrica. Se tomaron datos entre los meses de Mayo a Septiembre del 2011 con un intervalo de 10 minutos cada dato.
- La conductividad registrada en el piezómetro profundo de la flora nos arroja valores que no superan los 0,320 ms/cm, caso contrario al piezómetro profundo de Pan de Azúcar, el cual llega a registrar valores cercanos a los 0,540 ms/cm; podría concluirse que una de las razones puede ser la presencia de contaminación de aguas subterráneas u otras características de mayor salinidad o contenido de minerales en el piezómetro de pan de azúcar.
- El comportamiento de los niveles en los piezómetros de la Flora es muy distinto a pesar que se procuró que los equipos tuvieran una columna de agua de 5m por encima de estos, el nivel del agua que se mantiene en gran parte del tiempo de monitoreo hecho por nuestro proyecto en el piezómetro La Flora numero 2 (Profundo) fue de 5.13 m, mientras el piezómetro La Flora numero 1(superficial) los niveles del agua fluctúan entre los 4.55 m y los 4.75 m, registrándose los niveles más altos en el mes de agosto para este piezómetro.

Se debe destacar que las fluctuaciones en los niveles de agua son importantes en el piezómetro profundo, el cual llega hasta los 5.50 m, es decir alcanzando 0.40 m por encima del nivel con el cual se inició el monitoreo, caso contrario al piezómetro superficial, el cual registra niveles de agua por debajo de los 5 m iniciales.

- En las gráficas de niveles del piezómetro profundo de la flora se observa que la altura de los niveles del agua aumenta en los meses de mayo y junio, según datos meteorológicos, estos meses presentaron grandes niveles de precipitación, lo cual fortalece la teoría que estos piezómetros dependen en gran medida de la recarga por precipitación, teniendo en cuenta que según (Gómez-Colegial, 2003), la recarga se presenta para el área de Bucaramanga sobre los 1800 msnm.
- En el piezómetro de la zona norte no fue necesario la instalación de los equipos de medición (CTD y BARO Diver), ya que con base en los estudios realizados por el proyecto (Gómez-Caballero, 2011) se pudo identificar la existencia de un acuitardo en la parte superior del pozo, que de acuerdo a los análisis del proyecto en mención dejó de funcionar a los 500 minutos de bombeo, también es importante resaltar que los parámetros hidráulicos obtenidos arrojan valores erróneos debido a que en un acuitardo las líneas de flujo son horizontales como lo interpreta la teoría.
- En el pozo denominado piezómetro Pan de Azúcar número 2, cuya profundidad es de 64 metros se instaló un CTD Diver y un Baro Diver, para medición continua de niveles de agua subterránea, conductividad eléctrica y temperatura, igualmente en el piezómetro Pan de azúcar número 1, cuya profundidad es de 19.1 metros, el cual monitorea un acuífero superficial se instaló un Diver, para la medición de temperaturas y niveles freáticos. El nivel del agua medido por nuestro proyecto en el piezómetro profundo fluctúa entre

7.30 m y 7.65 m con un comportamiento ascendente durante los meses de Mayo a Septiembre. El piezómetro superficial presento una fluctuación ascendente durante los meses de mayo a septiembre de 2011, con valores entre los 4.2 m y los 4.40 m, se podría atribuir estas fluctuaciones a recargas por eventos de lluvia ocurridos durante ese periodo.

- El otro parámetro de importancia medido únicamente en los piezómetros numero 2 (profundo) de La Flora y Pan de Azúcar fue la conductividad, la cual aumenta para el piezómetro de La Flora fluctuando entre valores que van desde los 0,27 ms/cm durante los primero meses de monitoreo, hasta los 0,57 ms/cm en el primer trimestre del año 2011, la única explicación pareciera ser el aumento de la recarga en el macizo de Santander debido a la ola invernal presentada en el país durante los primeros meses del año 2011, esta teoría de recarga se basa en hipótesis formuladas por el proyecto Gómez-Colegial publicado en el año 2003. En el piezómetro profundo de Pan de azúcar, la conductividad tiene un comportamiento más constante, el cual se encuentra alrededor de los 0,55ms/cm, teóricamente este valor se ve afectado por la condiciones de recarga propias del sitio (Roca Ígnea meteorizada), ya que repentinamente desciende hasta valores cercanos a los 0 ms/cm.
- Observando las gráficas de Temperatura ambiente Vs Temperatura del agua, se demostró que las temperaturas ambiente más bajas se presentan a las 0:00 horas y registran valores entre 22 °C a 22.75°C, mi entras las temperaturas más altas se dan de 12:00am y registran valores de 23.4°C; la temperatura del agua presenta el mismo comportamiento del gradiente geotérmico, aunque esta no tiene fluctuaciones tan marcadas como la temperatura ambiente, se confirmó con las mediciones del parámetros temperatura la correlación existente del gradiente geotérmico, y el cual para los piezómetros objeto de este proyecto se mantuvo en los rangos dados por la bibliografía el cual es de aproximadamente 33,3°C @ 1km (Pulido, Nieto 2010).

5. RECOMENDACIONES

- Se aconseja buscar un equipo que nos proporcione una limpieza más eficiente a la profundidad total del pozo, para esto se propone una bomba peristáltica con una mayor capacidad.
- Se recomienda un estudio más afondo acerca de los desfases presentados en cuanto a niveles calculados con el CTD Diver y los niveles calculados con el Diver.
- Se recomienda una verificación constante en el sistema de la guaya, para que no se puedan presentar alteraciones que nos modifiquen las condiciones reales en las que se encuentra el agua subterránea.
- Se recomienda un estudio más afondo acerca de los desfases presentados en cuanto a niveles calculados con el CTD Diver y los niveles calculados con el Diver.

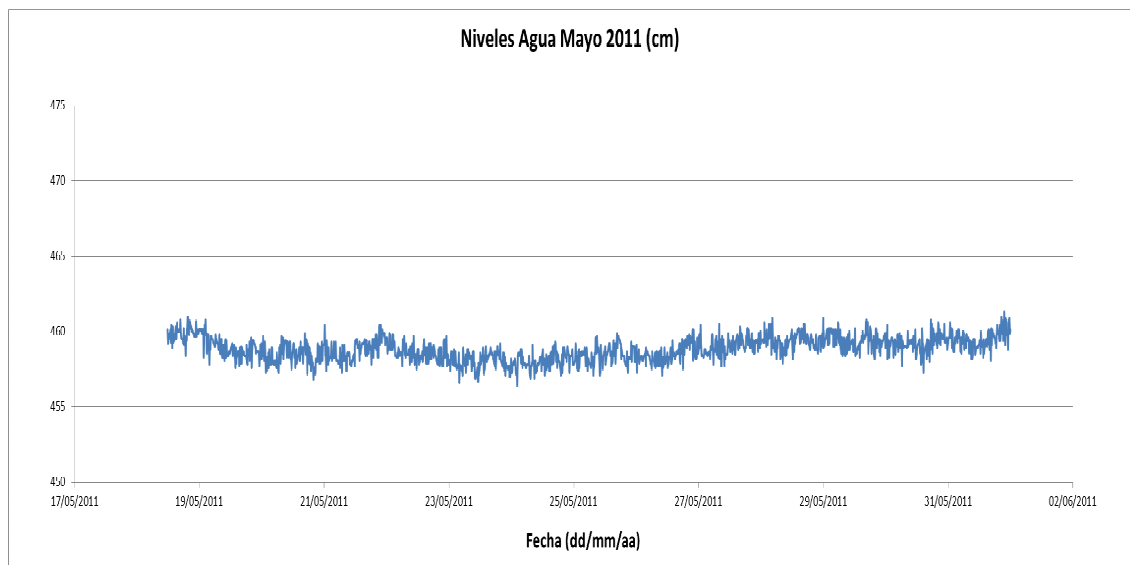
BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- CUSTODIO GIMENA, EMILIO & LLAMAS MADURGA, MANUEL RAMON. (1996) Hidrología Subterránea Segunda Edición Corregida TOMO I: Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España.
- DE BERMOUDES, OLGA & VÁSQUEZ, 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.
- FETTER, CHARLES WILLARD. (1999) Contaminant Hydrogeology Second Edition: Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. Estados Unidos.
- GÓMEZ ISIDRO, SULLY & COLEGIAL, JUAN DIEGO. (2003), INTERACCIÓN ENTRE SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS PARA EL ESTUDIO DEL FENÓMENO DE RECARGA EN EL MACIZO DE SANTANDER E IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS: Instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS, OBSERVATORIO COLOMBIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA OCyT, Bucaramanga, Colombia.

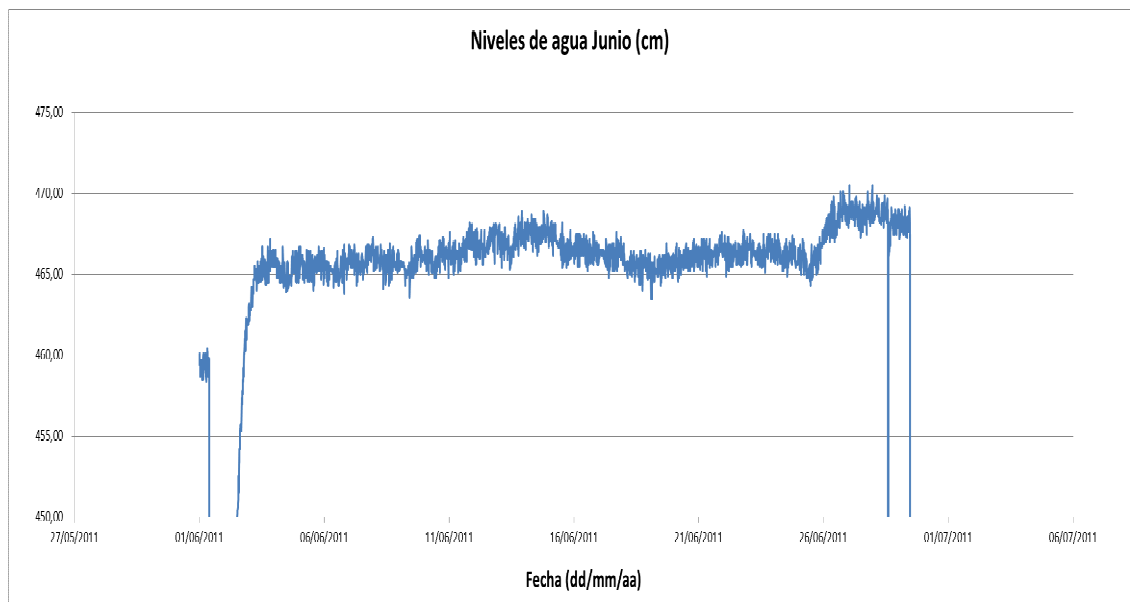
- JIMÉNEZ SÁNCHEZ, JORGE ARMANDO & COLMENARES LEÓN, SERGIO CAMILO. (2009), medición de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua subterránea en la zona de Bucaramanga: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- KIELD GERARD, Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, volumen I, editorialMcGRAW-HILL 1999 Madrid. España
- MICHAEL PRICE ,Agua subterránea, editoriaallimusa 2007, México
FÉLIX TROMBLE, Las aguas subterráneas, editoriaorbis S.A, 1986Barcelona. España.
- PARDO RUÍZ, CESAR AUGUSTO & MARTÍNEZ MONSALVE, JONATHAN. (2009), CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DE UN CTD DIVER EN PIEZÓMETRO PILOTO PARA MEDICIÓN CONTINUA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 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.
- PULIDO RAMOS, MIGUEL ÁNGEL& NIETO CÁRDENAS, MANUEL ALEJANDRO. (2010), OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE PERFILES DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN PIEZÓMETROS DE LA ZONA ORIENTAL DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA: Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

- VÉLEZ OTALVARO, MARÍA VICTORIA. (2000), diseño y construcción de pozos: Cuadernos de ingeniería geológica, Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín, Colombia.
- VERGARA LÓPEZ, 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.

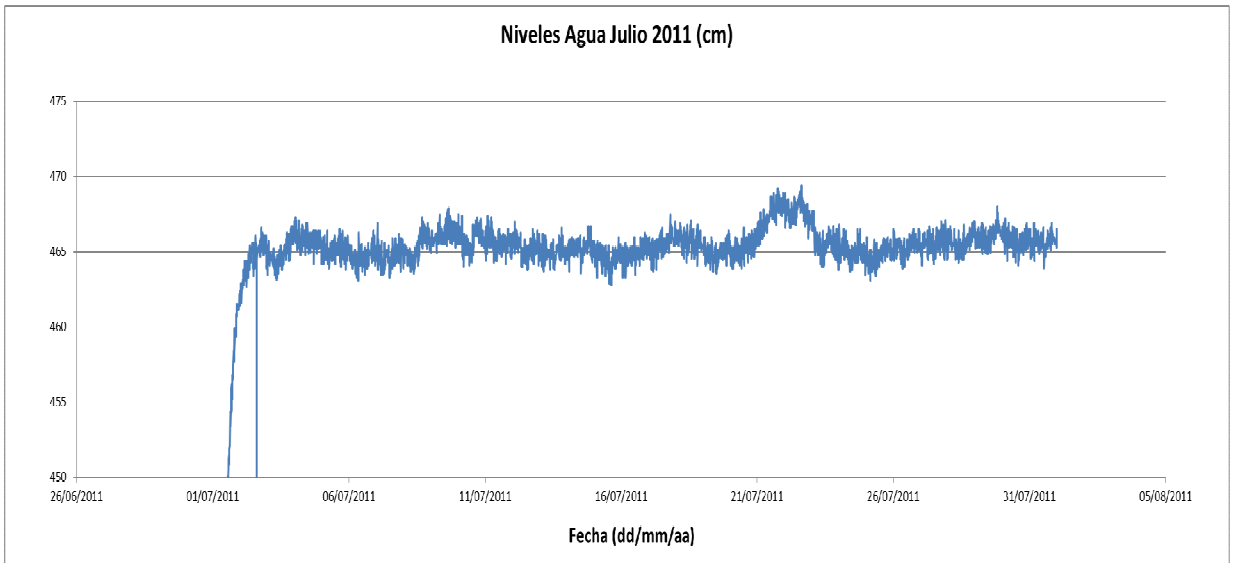
ANEXO A. REGISTROS DE NIVELES PIEZÓMETRO SUPERFICIAL PARQUE LA FLORA (PIEZÓMETRO NUMERO 1) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011



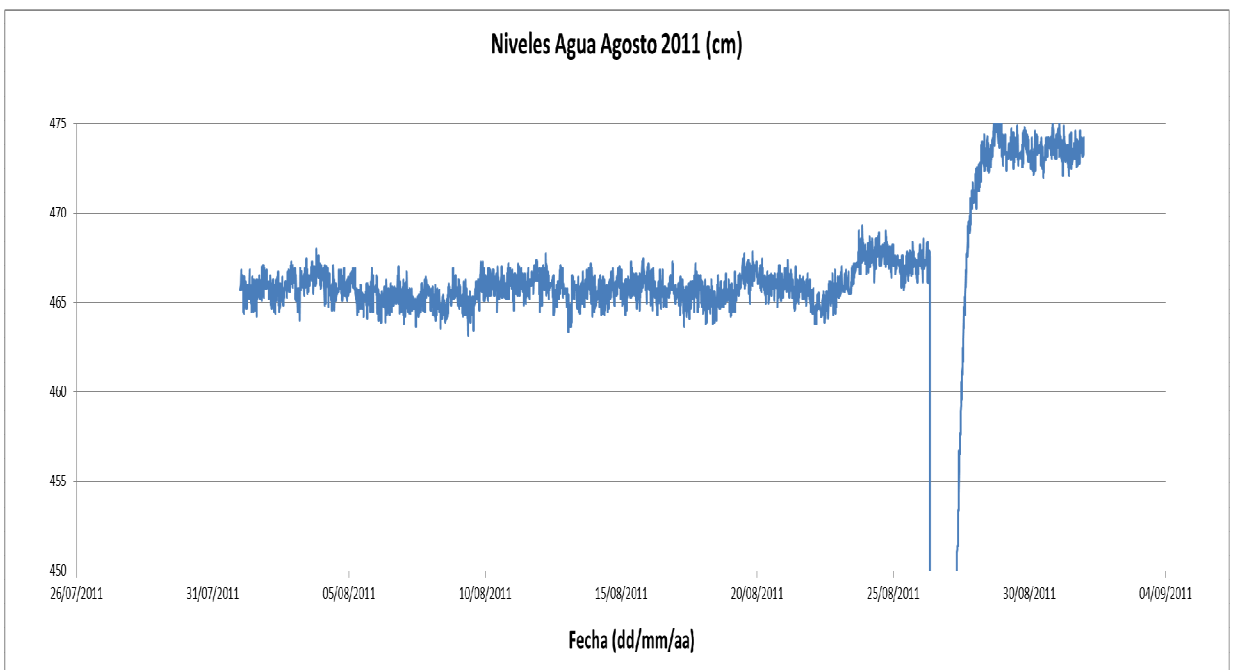
Anexo A 1. Niveles del agua Piezómetro Superficial Parque la flora MAYO de 2011.



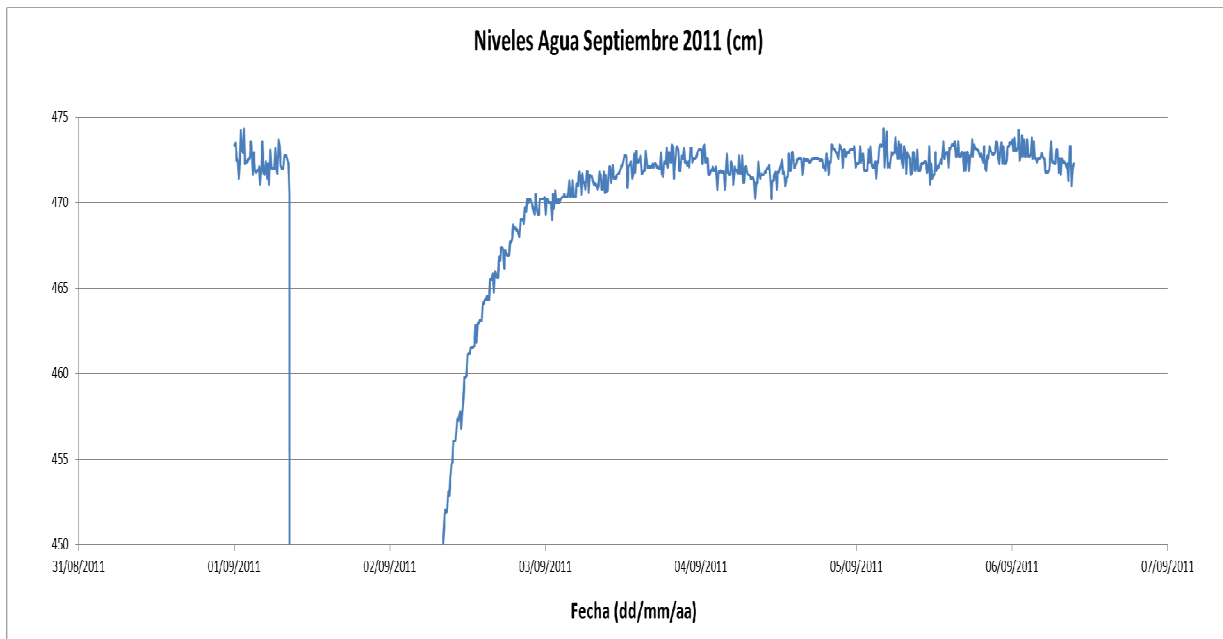
Anexo A 2. Niveles del agua Piezómetro Superficial Parque la flora JUNIO de 2011.



Anexo A 3. Niveles del agua Piezómetro Superficial Parque la flora JULIO de 2011.

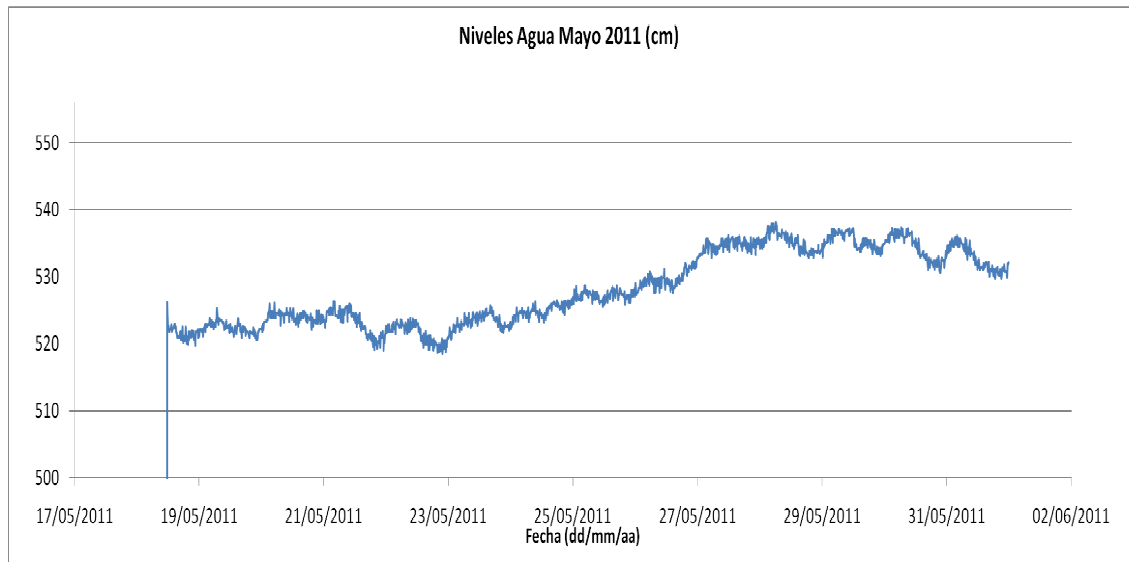


Anexo A 4. Niveles del agua Piezómetro Superficial Parque la flora AGOSTO de 2011.

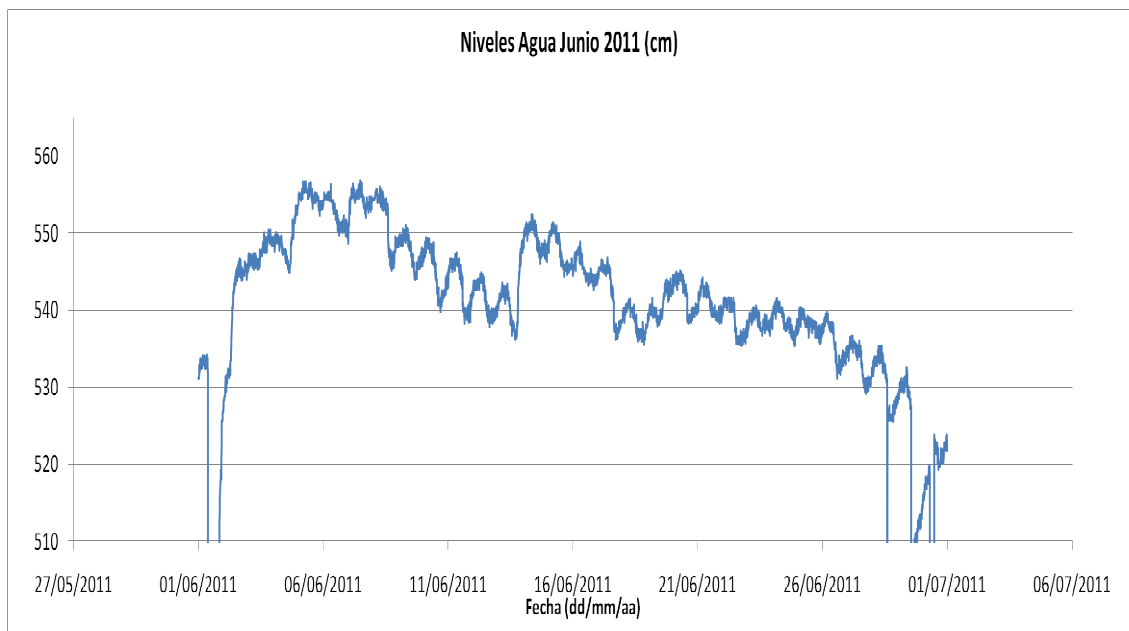


Anexo A 5. Niveles del agua Piezómetro Superficial Parque la flora SEPTIEMBRE de 2011.

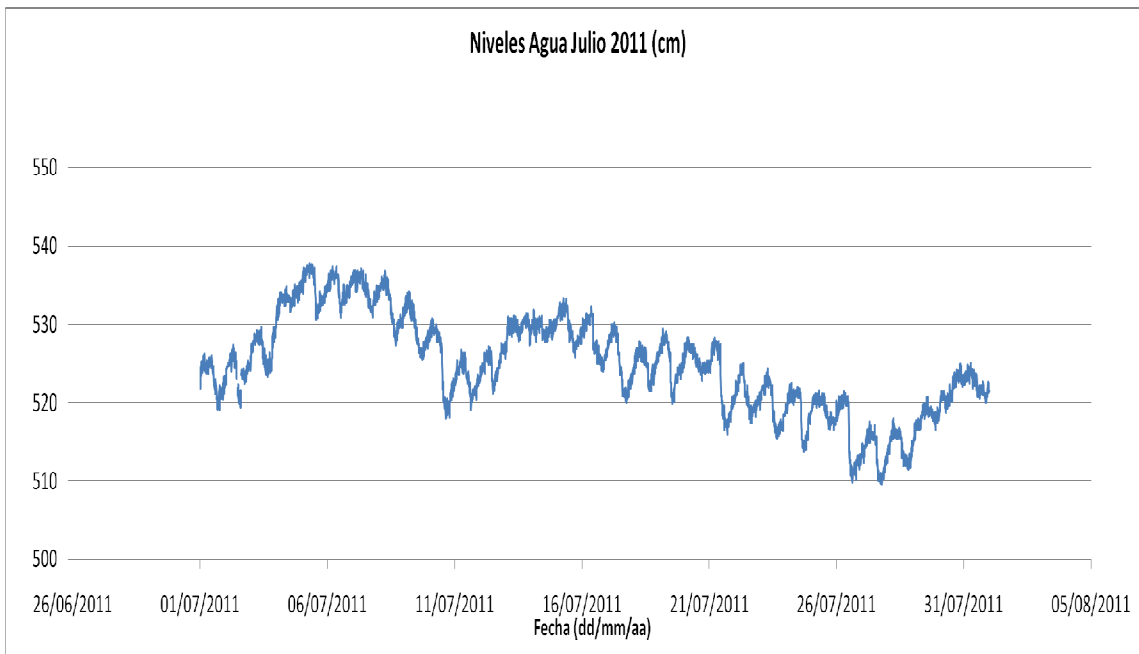
**ANEXO B. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO PROFUNDO
PARQUE LA FLORA (PIEZÓMETRO NUMERO 2) MAYO DE 2011 A
SEPTIEMBRE 2011**



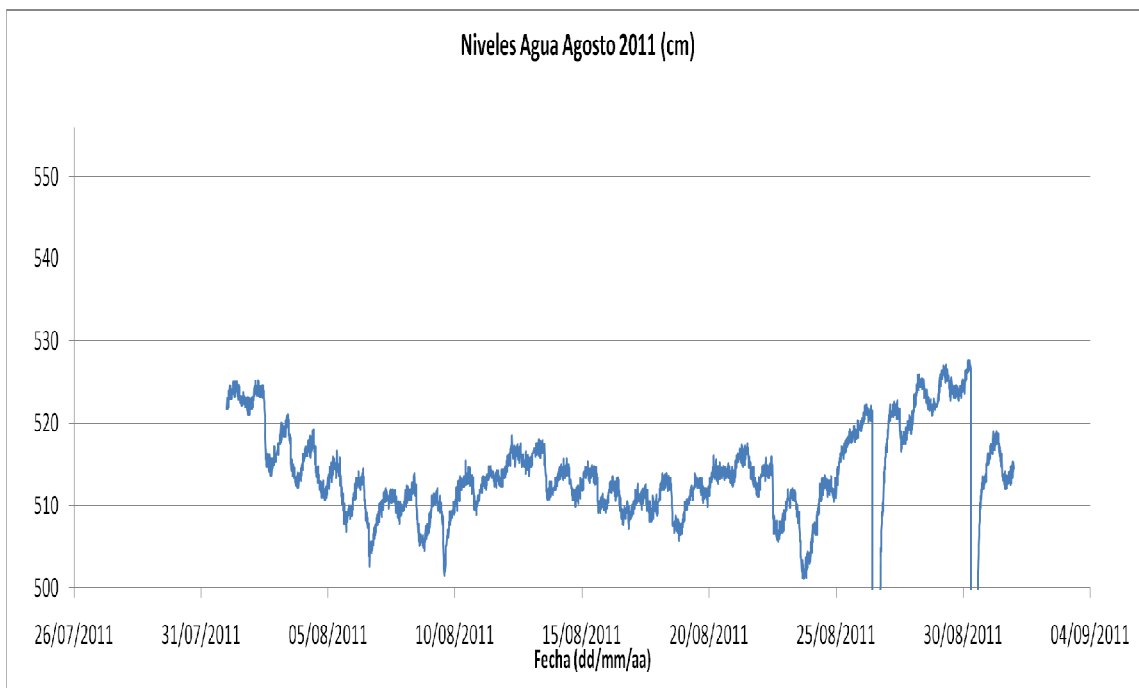
Anexo B 1. Niveles del agua Piezómetro Profundo Parque la flora MAYO de 2011.



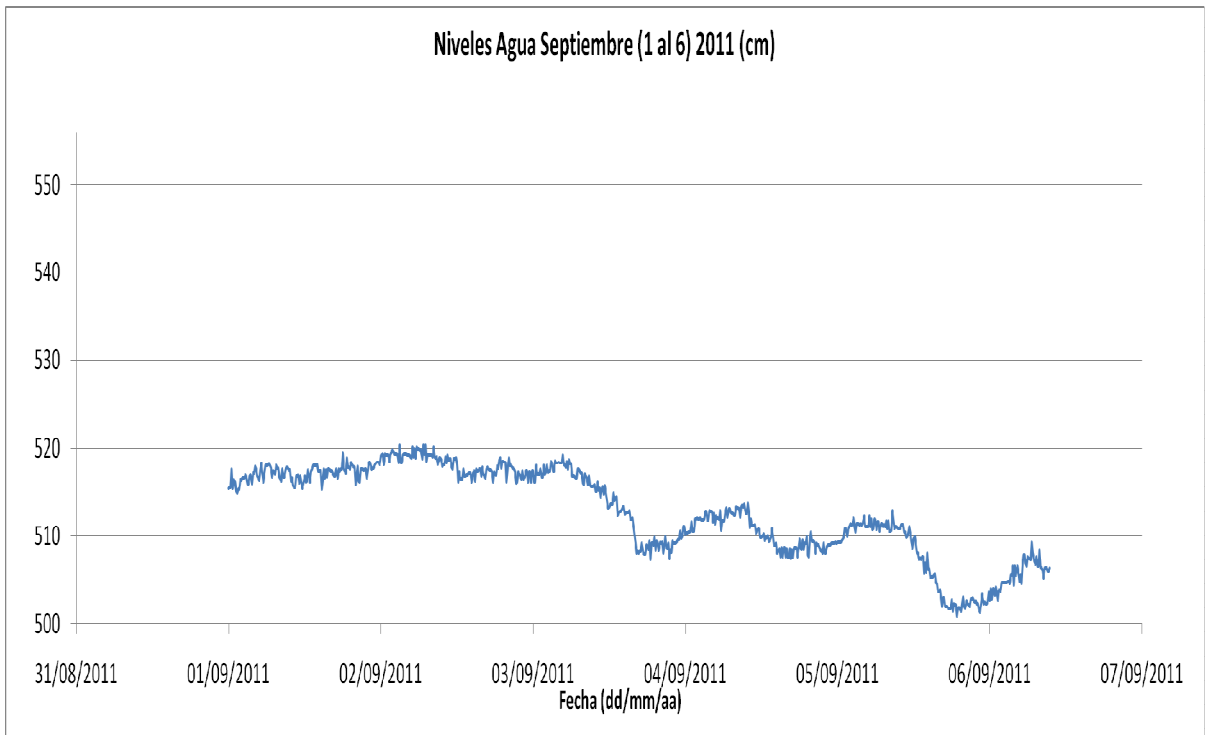
Anexo B 2. Niveles del agua Piezómetro Profundo Parque la flora JUNIO de 2011.



Anexo B 3. Niveles del agua Piezómetro Profundo Parque la flora JULIO de 2011.

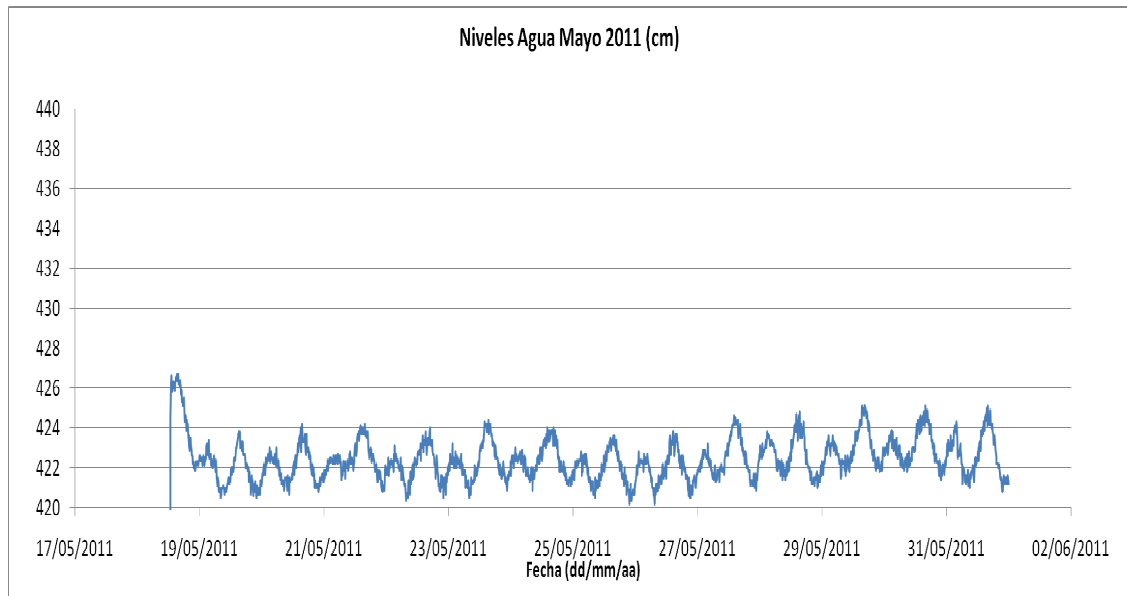


Anexo B 4. Niveles del agua Piezómetro Profundo Parque la flora AGOSTO de 2011.

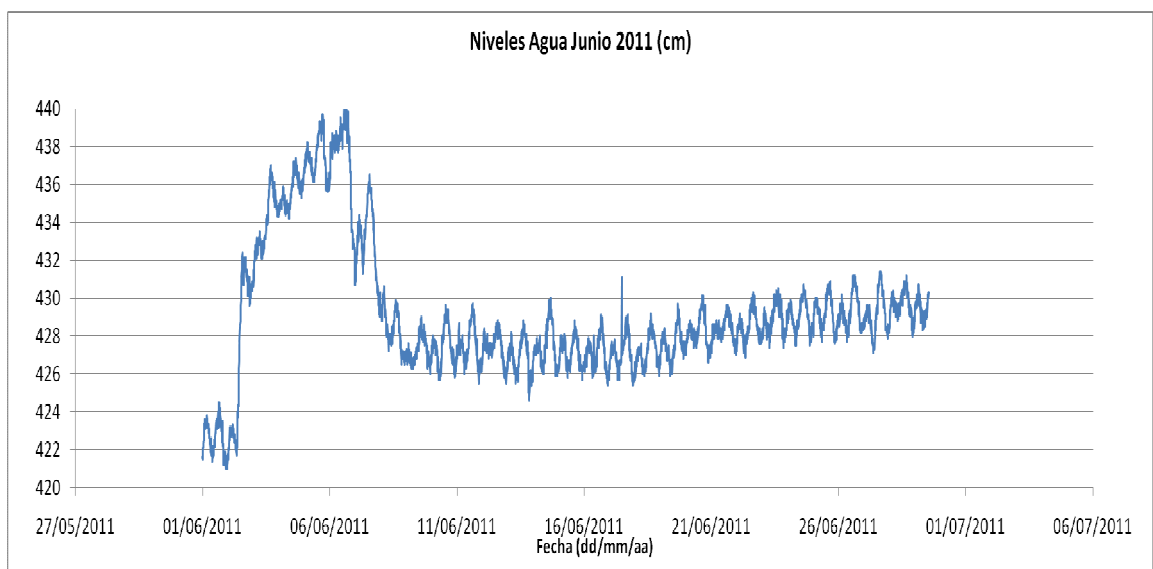


Anexo B 5. Niveles del agua Piezómetro Profundo Parque la flora SEPTIEMBRE 1 al 6 de 2011.

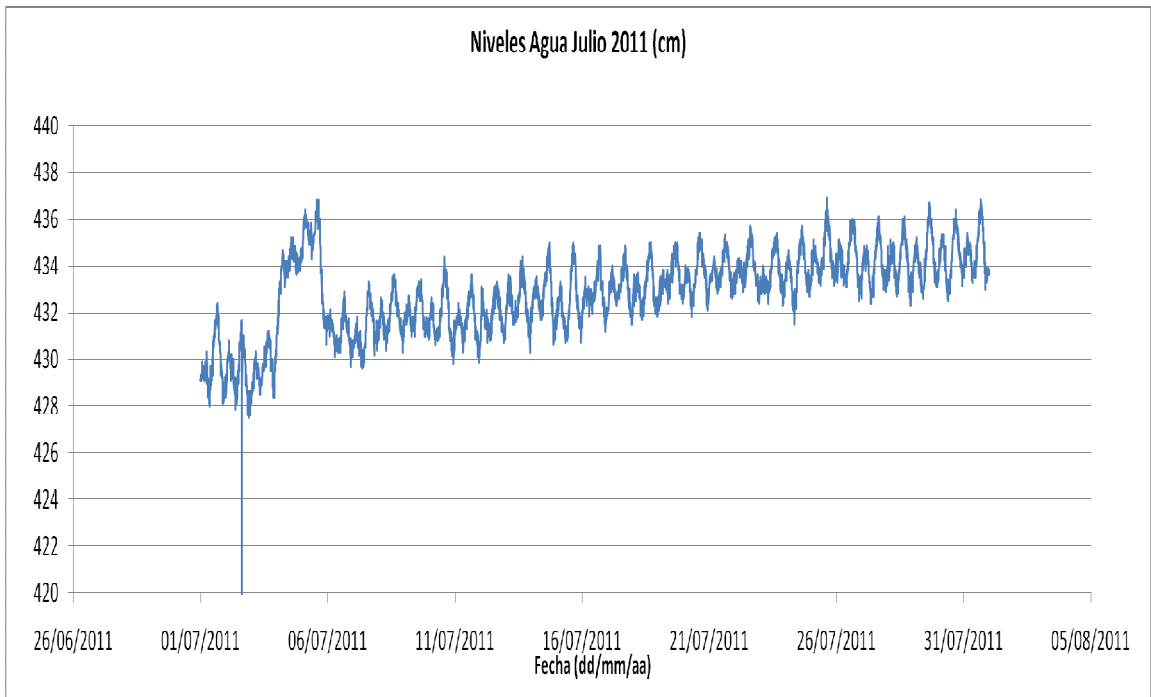
**ANEXO C. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO SUPERFICIAL
AJOS DE PAN DE AZUCAR (PIEZÓMETRO NUMERO 1) MAYO DE 2011 A
SEPTIEMBRE 2011**



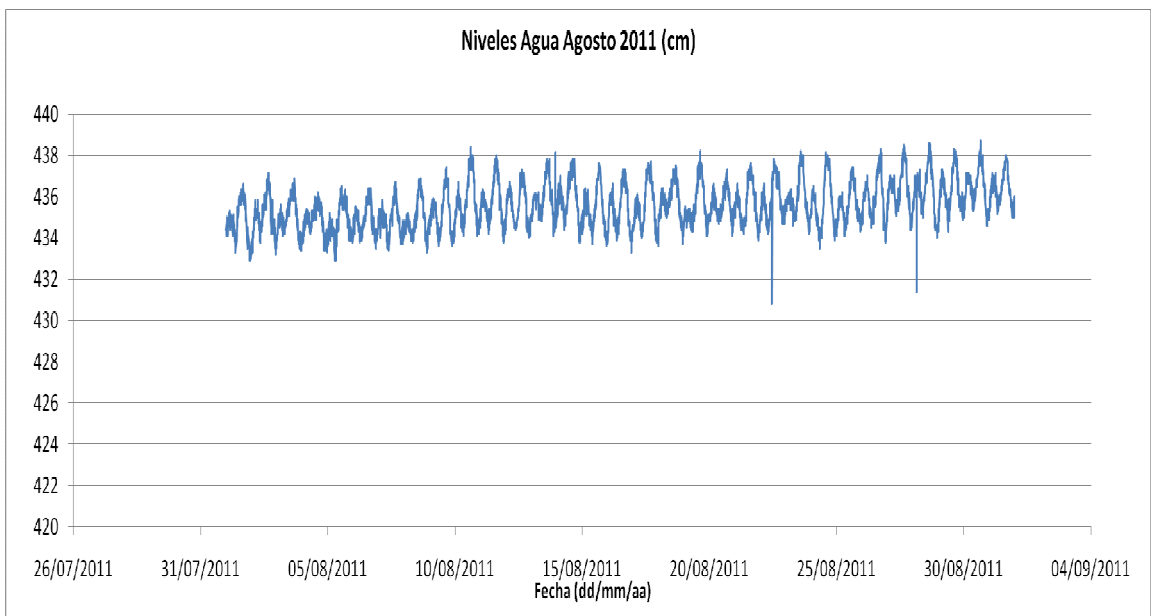
**Anexo C 1. Niveles del agua Piezómetro Superficial Bajos de Pan de Azúcar
MAYO de 2011.**



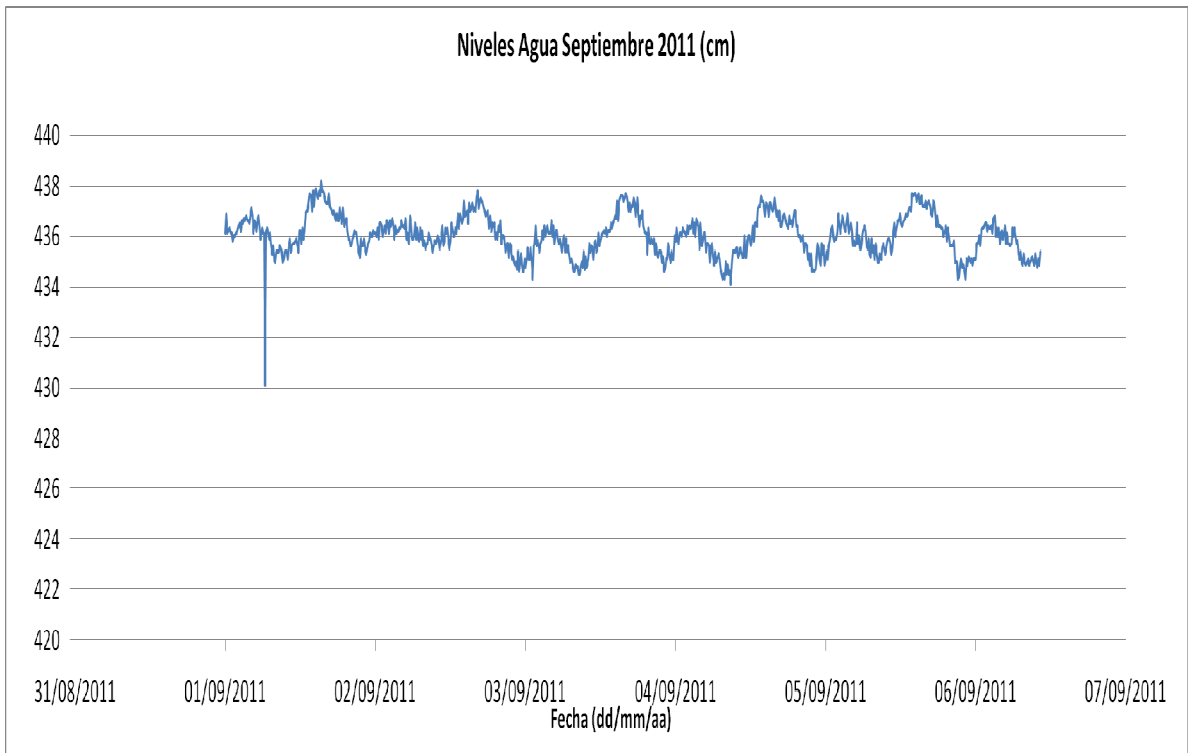
**Anexo C 2. Niveles del agua Piezómetro Superficial Bajos de Pan de Azúcar
JUNIO de 2011.**



Anexo C3. Niveles del agua Piezómetro Superficial Bajos de Pan de Azúcar JULIO de 2011.

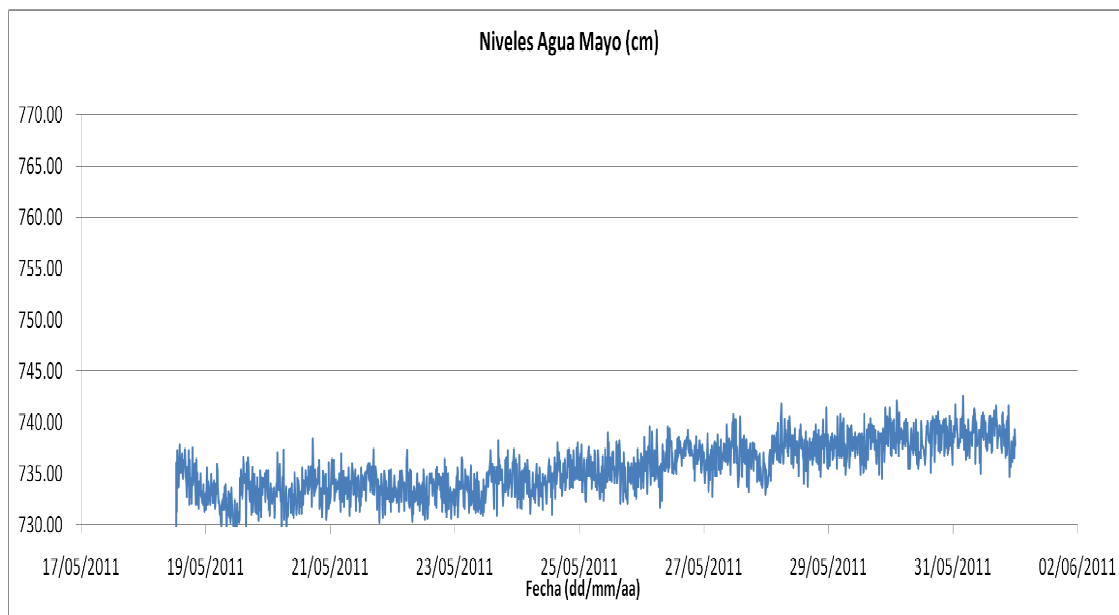


Anexo C4. Niveles del agua Piezómetro Superficial Bajos de Pan de Azúcar AGOSTO de 2011.

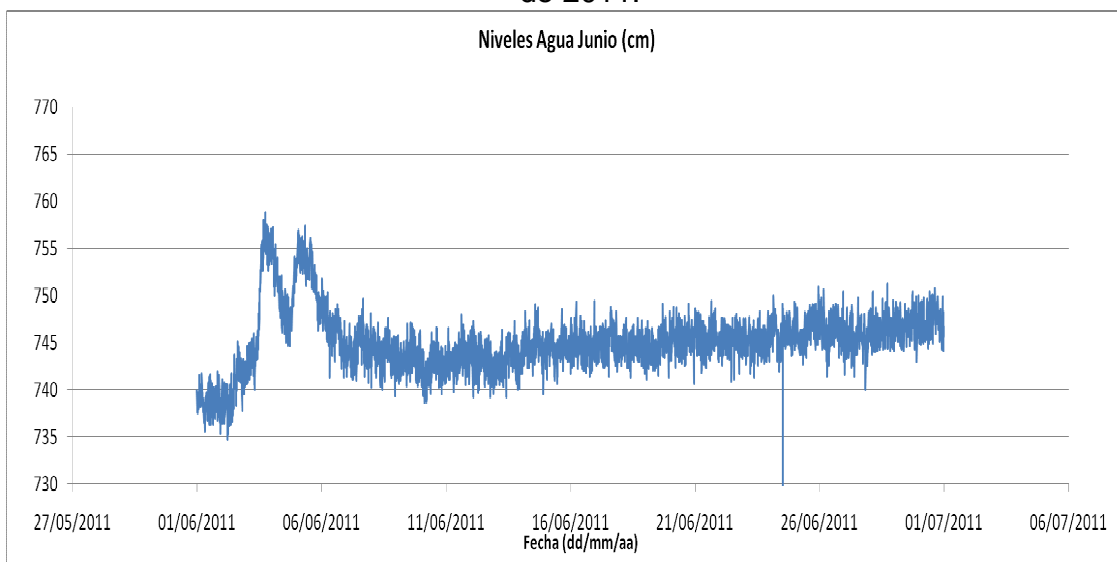


Anexo C 5. Niveles del agua Piezómetro Superficial Bajos de Pan de Azúcar SEPTIEMBRE de 2011.

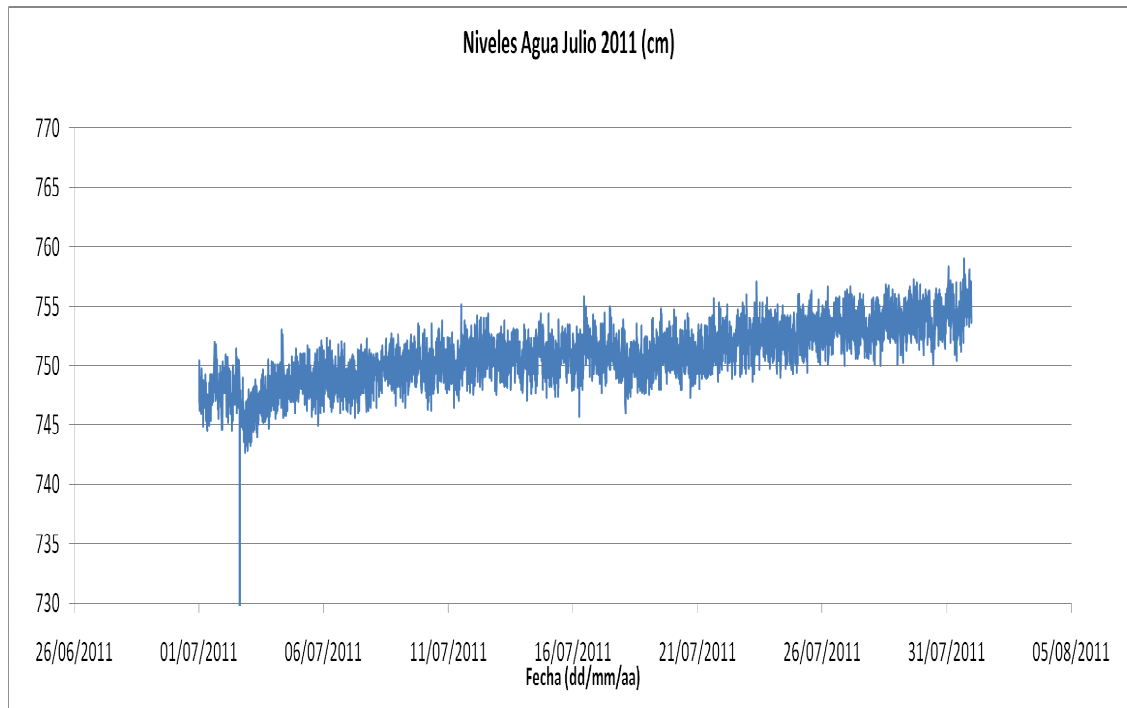
ANEXO D. REGISTROS DE NIVELES DE AGUA PIEZÓMETRO PROFUNDO AJOS DE PAN DE AZUCAR (PIEZÓMETRO NUMERO 2) MAYO DE 2011 A SEPTIEMBRE 2011



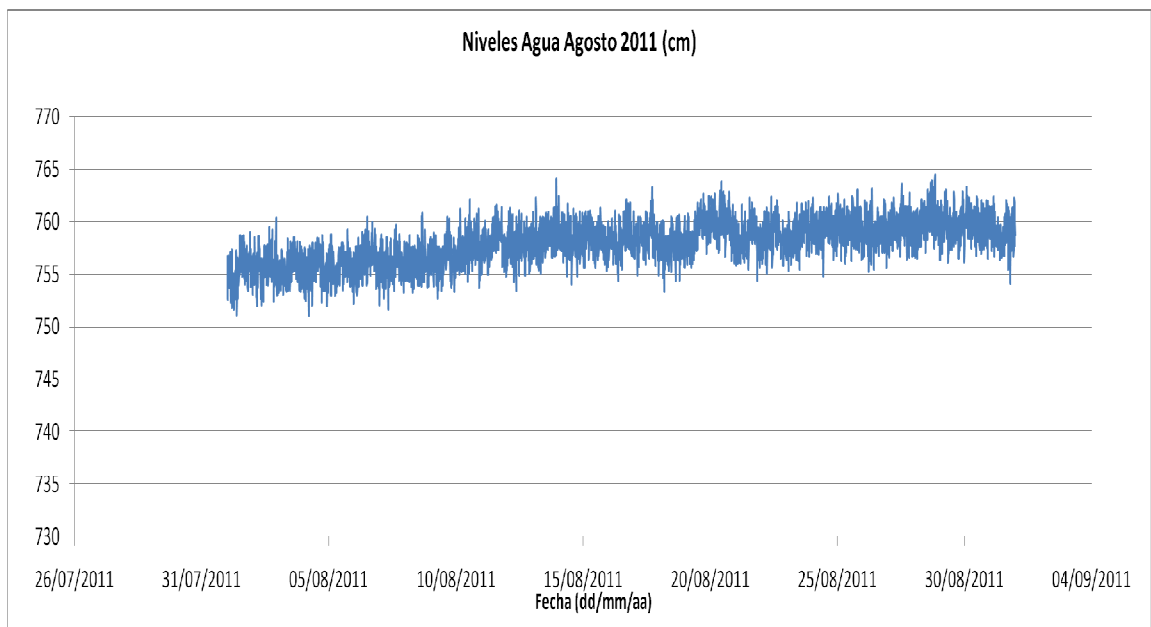
Anexo D 1. Niveles del agua Piezómetro Profundo Bajos de Pan de Azúcar MAYO de 2011.



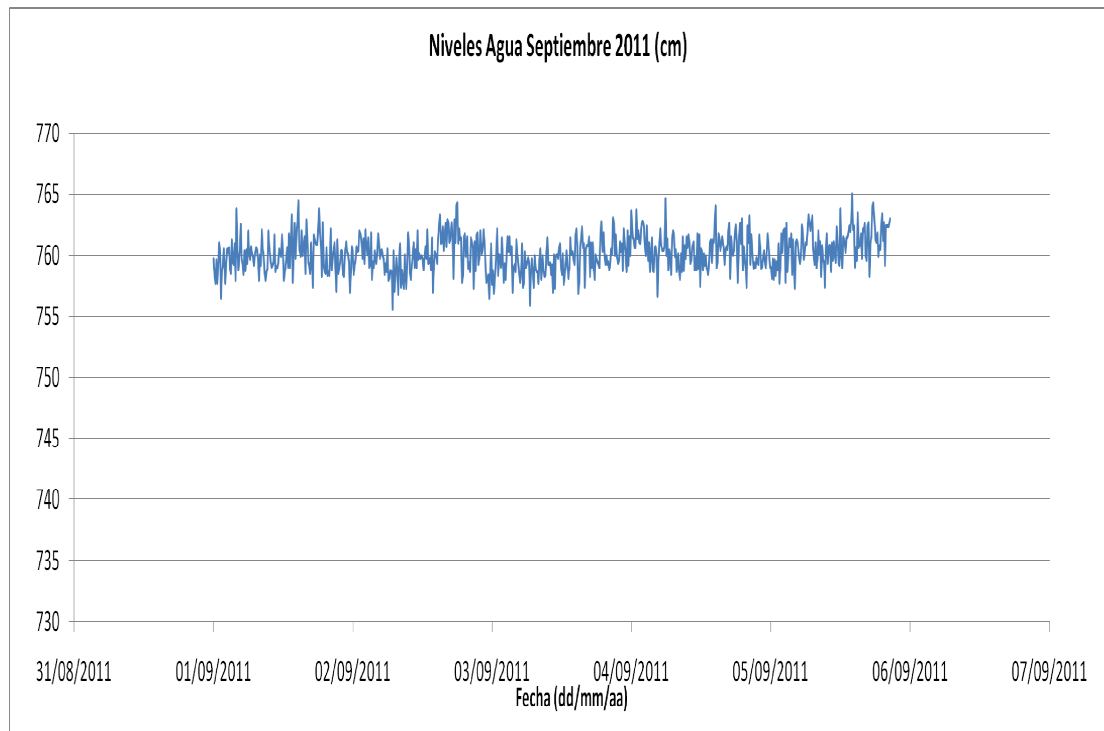
Anexo D 2. Niveles del agua Piezómetro Profundo Bajos de Pan de Azúcar JUNIO de 2011.



Anexo D 3. Niveles del agua Piezómetro Profundo Bajos de Pan de Azúcar JULIO de 2011.



Anexo D 4. Niveles del agua Piezómetro Profundo Bajos de Pan de Azúcar AGOSTO de 2011.



Anexo D 5. Niveles del agua Piezómetro Profundo Bajos de Pan de Azúcar SEPTIEMBRE de 2011.