

**CALIBRACION E INSTALACION DE UN CTD DIVER EN PIEZOMETRO
PILOTO PARA MEDICION CONTINUA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA
ZONA ALTA DE BUCARAMANGA.**

**CESAR AUGUSTO PARDO RUIZ
JHONATAN MARTINEZ MONSALVE**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

**CALIBRACION E INSTALACION DE UN CTD DIVER EN PIEZOMETRO
PILOTO PARA MEDICION CONTINUA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA
ZONA ALTA DE BUCARAMANGA.**

**CESAR AUGUSTO PARDO RUIZ
JHONATAN MARTINEZ MONSALVE**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora.

SULLY GOMEZ ISIDRO

Ingeniera Civil, MSc, PhD

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Civil, por brindarnos la oportunidad de adquirir una excelente formación profesional.

A nuestra Directora de Tesis, Ingeniera **SULLY GOMEZ ISIDRO**, por su valiosa dedicación y orientación para el desarrollo de este proyecto.

Al Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático – GPH, por todo el aporte técnico necesario para la culminación de este proyecto.

Dedicatorias

A Dios por el regalo más lindo que me brindó

“Una gran familia”

A mi María Camila del Alma, que con su ternura

Y travesuras me enseñó a ser un gran padre

Y a luchar siempre pensando en ella

Te Amo mi Bebe

A mi hermoso Bebe que está comenzando a nacer en el

Vientre de mi esposa, una nueva ilusión

Por la que día a día debo luchar

Te amo bebecita.

A mis Padres Segundo y María Martha, por enseñarme

A luchar en la vida y conseguir paso tras paso cada

Uno de los objetivos propuestos para mi vida

Los Amo Muchísimo

A mis hermanos Yuliana Katherine y Fabián Andrés

Quienes siempre me apoyaron y me contagiaron de su Alegría

Los quiero mucho hermanitos

*A mi esposa Viviana, que en buen momento llegó a mi vida, gracias
por apoyarme en aquellos momentos difíciles
Y por toda tu comprensión
Te Amo Amor*

CESAR AUGUSTO PARDO RUIZ

Dedicatorias

A Dios, por todas las cosas que me ha dado.

A mis padres, Álvaro y Lilia, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional, que el señor los bendiga.

*A mis hermanos, Ruben y Angely que siempre creyeron en mí.
A Shirley Adriana, que siempre estuvo conmigo en todo esta etapa de la vida.*

Gracias Uis por haberme brindado la oportunidad de tener una excelente formación profesional.

Jhenatan Martínez Monsalve

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 GENERAL	3
1.2 ESPECIFICOS	3
2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	4
2.1 Agua Subterránea	4
2.2 Calidad del agua	4
2.3 Conductividad	4
2.3.1 Conductividad del Agua.....	4
2.3.2 Conductividad Eléctrica.....	5
2.4 Agua potable	5
2.5 Temperatura	6
2.6 Presión	7
2.6.1 Presión Absoluta.....	7
2.6.2 Presión Atmosférica.....	7
2.6.3 Presión Manométrica.....	8
3. CARACTERISTICAS DEL PIEZOMETRO PILOTO	9
3.1 UBICACIÓN Y MARCO GEOLOGICO	9
3.1.1 UBICACIÓN	9
3.1.2 MARCO HIDROGEOLOGICO	10
3.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE MAEDIDA	10
3.2.1 CTD Diver.....	10
3.2.2 Baro Diver.....	11
3.2.3 Diver.....	12
3.2.4 USB Diver Reading.....	13
3.2.5 Software Diver Office.....	14
3.2.6 1920.57.OO Bomba Sumergible Comet-Combi 24-4T.....	15

4. MANEJO PRELIMINAR DE EQUIPOS EN LABORATORIO.....	17
4.1 Procedimiento en Laboratorio.....	17
4.2 Calibración CTD Diver.....	18
4.3 Programación de equipos.....	20
4.4 OBTENCION Y ANALISIS DE LOS DATOS EN LABORATORIO.....	21
4.4.1 Niveles.....	22
4.4.2 Conductividad.....	24
5. MEDICIONES EN CAMPO Y PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDIDA.....	29
5.1 Limpieza del Pozo.....	30
5.2 Medición de Niveles de Agua.....	31
5.3 Medición de Temperatura.....	31
5.4 Seguridad de equipos.....	32
5.5 Perfeccionamiento del Sistema.....	33
6. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS.....	35
6.1 Medición de la Conductividad Hidráulica y Proceso de Mejoramiento de la medición.....	35
6.1.1 Mejoramiento de la Medición de Conductividad.....	36
6.2 Análisis de la Presión Atmosférica.....	37
6.2.1 Mejoramiento en la Medición de Presiones Atmosféricas.....	39

6.3 Análisis de Niveles de Agua	41
6.3.1 Mejoramiento en la Medición de Niveles de Agua.....	42
6.4 Análisis de la Medición de la Temperatura	47
6.4.1 Temperatura Ambiente.....	48
6.4.2 Temperatura del Agua.....	49
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Entrada Parque la Flora.....	9
Figura 2. Ubicación Piezómetro Parque la Flora.....	9
Figura 3. CTD Diver.....	11
Figura 4. Baro Diver.....	12
Figura 5. Diver.....	13
Figura 6. Conexión USB Diver Reading.....	13
Figura 7. Software Diver Office	14
Figura 8. Bomba utilizada para Abatimiento del Acuífero.....	15
Figura 9. Sustancia Calibración CTD Diver.....	18
Figura 10. Selección Sustancia Patrón.....	19
Figura 11. Éxito en el Proceso de Calibración	20
Figura 12. Piezómetro Piloto Parque la Flora.....	30
Figura 13. Diferencia Niveles de Agua Pozo 1 y Pozo 2.....	31
Figura 14. Disposición del Piezómetro y Equipos.....	33
Figura 15. Tapa de Seguridad	33
Figura 16. Sistema de Seguridad Equipos por medio de Guaya 1/8”.....	34
Figura 17. Conversión unidades de conductividad.....	37
Figura 18. Tapa con un solo Orificio.....	39
Figura 19. Tapa de Seguridad con Varios Orificios.....	41
Figura 20. Instalación CTD Diver y Diver en el Piezómetro.....	44
Figura 21. Montaje Diver y CTD Diver.....	44
Figura 22. Diferencia de Altura CTD Diver y Diver.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Conductividad del agua.....	5
Tabla 2. Características Bomba.....	15
Tabla 3. Referencia para programación de equipos.....	20
Tabla 4. Programación equipos prueba laboratorio.....	22
Tabla 5. Errores Obtenidos medición de Niveles.....	24
Tabla 6. Programación CTD Diver ensayos de Conductividad.....	25
Tabla 7. Porcentaje de error obtenido ensayo Agua Destilada.....	26
Tabla 8. Porcentaje de error obtenido ensayo Agua Sal.....	27
Tabla 9. Porcentaje de error obtenido ensayo Solución Patrón.....	28
Tabla 10. Registro Máximos y Mínimos temperatura Ambiente.....	49
Tabla 11. Registro Máximos y Mínimos temperatura Agua.....	51

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Ensayo No 1.....	22
Gráfica 2. Datos obtenidos Programación corregida.....	23
Gráfica 3. Ensayo Conductividad con Agua destilada.....	26
Gráfica 4. Ensayo Conductividad con Agua Sal.....	27
Gráfica 5. Ensayo Conductividad Sustancia Patrón.....	28
Grafica 6. Presión Atmosférica 4 de marzo a 7 de marzo.....	38
Grafica 7. Presión Atmosférica 4 de mayo a 7 de mayo.....	39
Grafica 8. Presión Atmosférica Rio de Oro.....	40
Grafica 9. Presión Atmosférica 4 de sept. Hasta 7 de sept.....	41
Grafica 10. Presión Atmosférica 4 de Oct. Hasta 7 de Oct.....	41
Grafica 11. Niveles 4 Marzo a 7 de Marzo.....	42
Grafica 12. Niveles 4 de Mayo a 7 de Mayo.....	43
Grafica 13. Niveles sept. 18 hasta sept. 21.....	45
Grafica 14. Niveles 4 de Oct. Hasta 7 Oct. 7.....	45
Grafica 15. Niveles sept. Calculados con CTD Diver.....	46
Grafica 16. Niveles Sept. Calculados con el Diver.....	47
Grafica 17. Niveles Oct. Calculados con el CTD Diver.....	47
Grafica 18. Niveles Oct. Calculados con el Diver.....	48
Gráfica 19. Ciclo diario temperatura ambiente.....	50
Gráfica 20. Ciclo diario temperatura del agua.....	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009.....	55
Anexo A1. Conductividad Marzo.....	56
Anexo A2. Conductividad Abril.....	56
Anexo A3. Conductividad Mayo.....	57
Anexo A4. Conductividad Junio.....	57
Anexo A5. Conductividad Julio.....	58
Anexo A6. Conductividad Septiembre.....	58
Anexo A7. Conductividad Octubre.....	59
ANEXO B. REGISTROS DE PRESIONES ATMOSFERICAS MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009.....	60
Anexo B1. Presión Atmosférica Marzo.....	61
Anexo B2. Presión Atmosférica Abril.....	61
Anexo B3. Presión Atmosférica Mayo.....	62
Anexo B4. Presión Atmosférica Junio.....	62
Anexo B5. Presión Atmosférica Julio.....	63
Anexo B6. Presión Atmosférica Septiembre.....	63
Anexo B7. Presión Atmosférica Octubre.....	64
ANEXO C. REGISTROS DE NIVELES MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009.....	65
Anexo C1. Niveles Marzo.....	66
Anexo C2. Niveles Abril.....	66
Anexo C3. Niveles Mayo.....	67
Anexo C4. Niveles Junio.....	67
Anexo C5. Niveles Julio.....	68
Anexo C6. Niveles Septiembre.....	68
Anexo C7. Niveles Octubre.....	69

ANEXO D. REGISTROS DE TEMPERATURA AMBIENTE MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009	70
Anexo D1. Temperatura Ambiente Marzo.....	71
Anexo D2. Temperatura Ambiente Abril.....	71
Anexo D3. Temperatura Ambiente Mayo.....	72
Anexo D4. Temperatura Ambiente Junio.....	72
Anexo D5. Temperatura Ambiente Julio.....	73
Anexo D6. Temperatura Ambiente Septiembre.....	73
Anexo D7. Temperatura Ambiente Octubre.....	74
ANEXO E. REGISTROS DE TEMPERATURA DEL AGUA MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009	75
Anexo E1. Temperatura Agua Marzo.....	76
Anexo E2. Temperatura Agua Abril.....	76
Anexo E3. Temperatura Agua Mayo.....	77
Anexo E4. Temperatura Agua Junio.....	77
Anexo E5. Temperatura Agua Julio.....	78
Anexo E6. Temperatura Agua Septiembre.....	78
Anexo E7. Temperatura Agua Octubre.....	79

RESUMEN

TITULO: CALIBRACION E INSTALACION DE UN CTD DIVER EN PIEZOMETRO PILOTO PARA MEDICION CONTINUA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA ZONA ALTA DE BUCARAMANGA.

AUTORES: CESAR AUGUSTO PARDO RUIZ, JHONATAN MARTINEZ MONSALVE

PALABRAS CLAVES: Piezómetro piloto, CTDdiver, Barodiver

DESCRIPCIÓN:

En la zona alta de Bucaramanga en el parque la Flora se estudian parámetros fisicoquímicos como la temperatura, presión atmosférica y absoluta, niveles de agua y conductividad eléctrica. De esta manera se cuenta con un piezómetro piloto instrumentado que ofrezca información sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del acuífero y sobre el sistema de medida utilizado para ser replicado en otros sitios. En conjunto con la CDMB se han construido algunos de estos piezómetros en la parte alta de la ciudad, en lugares como pan de azúcar y en nuestro caso el parque la flora. Los autores del presente proyecto de grado instrumentaran con un CTD Diver, equipo que toma lecturas continuas de conductividad eléctrica, temperatura y nivel de agua las cuales pueden ser útiles como indicadores de cantidad y calidad del agua, además un BARO Diver, equipo que registra valores de temperatura ambiente y presiones atmosféricas. Fue necesario realizar una fase experimental en el laboratorio bajo condiciones controladas y determinar los errores que presenta y al final compararlos con el fabricante. Se realizó un monitoreo en campo de marzo a julio y de septiembre a octubre con intervalos de tiempo cada 3 y 30 minutos con mediciones continuas de parámetros fisicoquímicos, de esta manera se trata de realizar un estudio previo en el piezómetro piloto de algunos factores fisicoquímicos que se encuentran en el agua subterránea y así determinar a futuro otros estudios más profundos.

Proyecto de Grado

Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Director: Gómez Isidro, Sully.

ABSTRACT

TITLE: CALIBRATION AND INSTALLATION OF A DIVER IN PIEZOMETER PILOT CTD FOR CONTINUOUS MEASUREMENTS OF GROUNDWATER IN THE UPPER AREA OF BUCARAMANGA

AUTHOR: CESAR AUGUSTO PARDO RUIZ, JHONATAN MARTINEZ MONSALVE

KEY WORDS: Piezometer pilot CTDdiver, Barodiver

DESCRIPTION:

In the upper area of Bucaramanga in the Flora Park studied physicochemical parameters such as temperature, atmospheric pressure and absolute water levels and electrical conductivity. This will have a pilot piezometer instrumented to provide information on physical and chemical water parameters of the aquifer and on the measurement system used to be replicated elsewhere. In conjunction with the CDMB have built some of these piezometers in the upper part of the city, in places like Sugarloaf and in our case the park's flora. The authors of this draft grade instrument with a CTD Diver, equipment that takes continuous readings of electrical conductivity, temperature and water level which can be useful as indicators of water quality and quantity, also a BARO Diver, recording equipment values room temperature and atmospheric pressure. It was necessary to perform an experimental phase in the laboratory under controlled conditions and determine the errors introduced and the final comparison with the manufacturer. Monitoring was conducted in the field from March to July and from September to October time intervals of 3 and 30 minutes with continuous measurements of physicochemical parameters, so it comes to performing a previous study in the pilot piezometer some physicochemical factors that found in groundwater and determine the future other more detailed studies.

Project

UIS Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director: Gómez Isidro, Sully.

INTRODUCCION

En la Meseta de Bucaramanga el agua subterránea es un tema que ha sido durante años objeto de estudio debido a la necesidad de conocer su disponibilidad, recarga y calidad, como un recurso alternativo ya sea para uso domestico, industrial o agrícola. El origen de la recarga al acuífero superior 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). Se espera que al entrar el agua subterránea a la ciudad de Bucaramanga, sus propiedades de calidad cambien en la salida (sistemas de drenes) respecto a la zona de entrada, debido a la existencia de aguas negras y/o industriales en la zona alta urbanizada.

En conjunto con La CDMB se han construido algunos piezómetros en la parte alta de la ciudad (parque la flora y en Pan de Azúcar). En este proyecto se instrumentará uno de estos piezómetros con un CTD-Diver, equipo que toma lecturas continuas de conductividad eléctrica, temperatura y nivel de agua, las cuales pueden ser útiles como indicadores de cantidad y calidad del agua, además de un Baro Diver, equipo que registra valores de temperatura ambiente al igual que Presiones Atmosféricas. De esta manera se cuenta con un piezómetro piloto instrumentado que ofrezca información sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del acuífero, de los niveles de agua y sobre el sistema de medida utilizado para ser replicado en otros sitios.

El piezómetro piloto instrumentado es el denominado pozo No 2 el cual cuenta con una profundidad de 51m desde la superficie, el CTD Diver está ubicado a una altura de 40 m desde la superficie, limitado por la capacidad máxima de la bomba de referencia bomba Sumergible Comet-Combit que es de 36 m, el CTD Diver se encuentra a la altura mencionada garantizando que siempre se encuentre sumergido en agua.

El sistema cuelga de una guaya de diámetro de 1/8 de pulgada en acero inoxidable con recubrimiento en plástico, el CTD Diver a una altura de 40m y el

Baro Diver a una altura de 0.70 m, de acuerdo a este sistema se desea obtener unos registros de medición continua referentes a conductividad, temperatura y niveles que nos determinen las condiciones reales del agua subterránea ubicada en el acuífero, para esto se llevara a cabo un control no menor a 3 meses.

De acuerdo a los registros obtenidos de conductividad, se estudiaran para determinar si se encuentran entre el rango permitido de Conductividad correspondiente de agua potable, y proponer estudios más profundos para determinar la presencia de metales y/o organismos presentes en agua.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

A partir de la calibración e instalación de un equipo de medición continua (CTD Diver) de parámetros fisicoquímicos y niveles de agua, determinar el comportamiento del agua subterránea en un piezómetro piloto de la zona de Bucaramanga.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Instalación y manejo de software de equipo de medición continua CTD Diver.
- Calibración de parámetros fisicoquímicos y niveles de agua del CTD Diver mediante el uso de software bajo condiciones controladas.
- Programación del CTD Diver y verificación de toma de datos en laboratorio y en campo.
- Preparación del piezómetro e instalación del equipo.
- Toma y análisis de datos de parámetros fisicoquímicos y niveles de aguas Subterráneas.
- A partir de los parámetros medidos evaluar el posible uso del agua subterránea de la Meseta de Bucaramanga en un tiempo no menor de 3 meses.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1 AGUA SUBTERRANEA

Es el agua que se encuentra o fluye debajo de la superficie terrestre, ocupando los poros de formaciones no consolidadas y las grietas o fisuras de la roca solida, esta agua se infiltra en el terreno por las llamadas áreas de recarga durante el ciclo hidrológico del agua.

2.2 CALIDAD DEL AGUA

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

2.3 CONDUCTIVIDAD

La **conductividad** de una sustancia se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición SI y micromhos por centímetro [mmho/cm]

2.3.1 Conductividad del Agua

Agua pura es un buen conductor de la electricidad. El agua destilada ordinaria en equilibrio con dióxido de carbono en el aire tiene una conductividad aproximadamente de $10 \times 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ (20 dS/m). Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad cuando el agua disuelve compuestos iónicos.

Tabla 1. Rangos de Conductividad del agua

	Conductividad (S/m)
Agua Ultrapura	0.0000055
Agua Destilada	0.0001
Agua Potable	0.005 – 0.05
Agua de Mar	5.3

2.3.2 Conductividad Eléctrica (EC)

La corriente eléctrica resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. Dentro de la mayoría de los sólidos existe un flujo de electrones que provoca una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conducción electrónica. En todos los conductores, semiconductores y en la mayoría de los materiales aislados se genera conducción electrónica; la conductividad eléctrica depende en gran medida del número de electrones disponibles para participar en el proceso de conducción. La mayoría de los metales son buenos conductores de electricidad, debido al gran número de electrones libres que pueden ser excitados en un estado de energía vacío y disponible.

En el agua y materiales iónicos o fluidos puede generarse el movimiento de una red de iones cargados. Este proceso produce corriente eléctrica y se denomina conducción iónica.

La conductividad eléctrica se define como el radio entre la densidad de corriente (J) y la intensidad eléctrica del campo (ε) y es opuesta a la resistividad (ρ , [$\Omega \cdot m$]):

$$\sigma = J/\varepsilon = 1/\rho$$

2.4 AGUA POTABLE

El agua potable es esencial e imprescindible para que la vida misma sea posible sobre la faz de la tierra, es mucho más que un bien, que un recurso, que una mercancía, el agua potable es concretamente un derecho humano de

primer orden y un elemento esencial de la propia soberanía nacional ya que, muy probablemente, quien controle el agua controlará la economía y toda la vida en un futuro no tan lejano.

Los esfuerzos del hombre por mejorar el medio ambiente en el que habita y elevar su calidad de vida, dependen entonces, de la disponibilidad de agua, existiendo una estrecha correlación esencial entre la calidad del agua y la salud pública, entre la posibilidad de acceder al agua y el nivel de higiene y entre la abundancia del agua y el crecimiento económico y turístico.

Las medidas dirigidas a ampliar y mejorar los sistemas públicos de prestación del servicio de agua potable, contribuyen a una reducción de la morbimortalidad, relacionada con las enfermedades entéricas, porque dichas enfermedades, están asociadas directa o indirectamente con el abastecimiento de aguas deficientes o provisión escasa de agua. Actualmente, 1.400 millones de personas no tienen acceso a agua potable, y casi 4.000 millones carecen de un saneamiento adecuado. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades se transmiten a través de agua contaminada.

Esta situación se debe a que sólo una pequeña parte de la población, en particular en los países en desarrollo, tiene acceso a un abastecimiento de agua de calidad aceptable. Se estima que en algunos países solamente el 20% de la población rural, dispone de agua de calidad satisfactoria. Basándose en estas estadísticas, se desprende la urgente necesidad de tomar conciencia sobre el cuidado del uso del agua. Casi sin darnos cuenta, estamos poniendo en serio peligro este recurso tan esencial, no ya para nosotros, sino para los hijos de nuestros hijos y sus generaciones siguientes, tomar conciencia de que en otras partes del mundo (o aquí mismo dentro de unos años), cada gota tiene un valor que nosotros no le damos.

2.5 TEMPERATURA

Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca,

sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc. La temperatura en aguas subterráneas varía directamente proporcional al gradiente geotérmico, presentando una variación aproximada de 2 a 3 grados centígrados cada 100 metros de profundidad.

La temperatura de un cuerpo indica en qué dirección se desplazará el calor al poner en contacto dos cuerpos que se encuentran a temperaturas distintas, ya que éste pasa siempre del cuerpo cuya temperatura es superior al que tiene la temperatura más baja; el proceso continúa hasta que las temperaturas de ambos se igualan.

2.6 PRESIÓN

2.6.1 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.

2.6.2 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.

2.6.3 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

3. CARACTERISTICAS DEL PIEZOMETRO PILOTO

3.1 UBICACIÓN Y MARCO HIDROGEOLOGICO

Figura 1. Entrada Parque la Flora

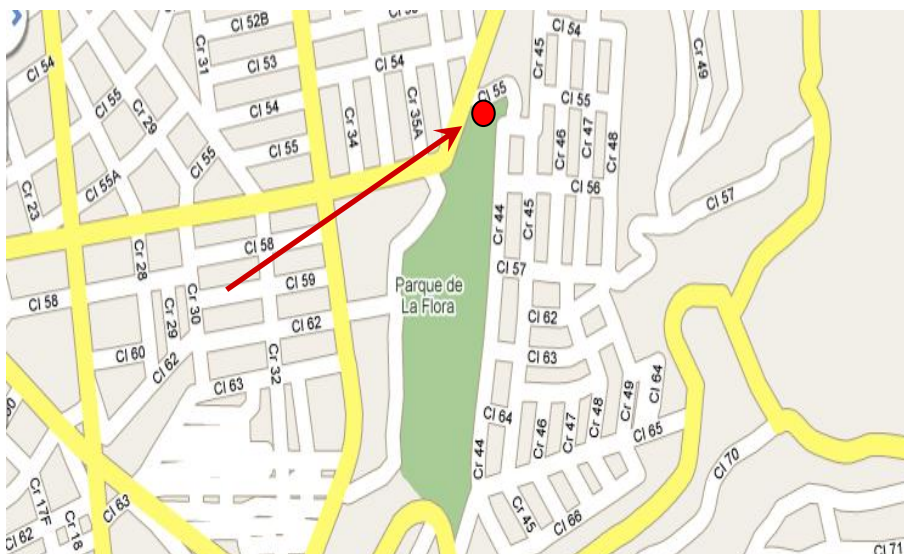


Fuente: Los Autores

3.1.1 UBICACION

Este Piezómetro piloto se encuentra ubicado en el Parque la Flora ubicado en la calle 57 entre carrera 33 y carrera 36, el parque la flora se encuentra a una altura aproximada de 980 msnm y unas coordenadas de 7°06'39.77" N; 73°06'23.49" O.

Figura 2. Ubicación Piezómetro Parque la Flora



Fuente: Google Maps

Para acceder al piezómetro ubicado en el parque la flora desde la UIS, se debe tomar la carrera 33 hasta el colegio la Merced como se indica en la figura 2

3.1.2 MARCO HIDROGEOLOGICO

Se debe aclarar que El objetivo del pozo fue la instalación de un piezómetro piloto y no un pozo de producción como tal, lo cual no permitió las condiciones hidráulicas del medio en el subsuelo.

La litología encontrada en profundidad corresponde a un cuerpo ígneo de característica homogénea con algunos cambios composicionales de granito a cuarzo monzonita y algunos más notables a granodioritas. (* Vergara Otoniel, 2004)

3.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDIDA

En el Piezómetro ubicado en el parque de la flora, los equipos están en capacidad de registrar de forma continua los Parámetros Físicoquímicos y niveles de agua. Para que esto se lleve a cabo es necesaria la siguiente instrumentación.

3.2.1 CTD Diver

Para la medición de los Parámetros físicoquímicos y niveles de agua se optó por el uso del equipo de medición continua CTD Diver de Van Essen Instruments, quien supone un estándar en fiabilidad y longevidad en el control de calidad de las aguas subterráneas.

La carcasa de Cerámica del CTD Diver, soporta condiciones que no resistirían los metales más robustos, es insensible a las sustancias más agresivas que puedan encontrarse en el agua gracias a su incomparable rango de conductividad de 0-80 mS/cm.

Figura 3. CTD Diver



Fuente: Los Autores

Con el CTD Diver, además del nivel de las aguas subterráneas, se desea medir la polución, intrusión de aguas salinas o la contaminación por proyectos de saneamiento del suelo o vertederos, esto se obtiene a partir de los datos suministrados referentes a la conductividad del agua y a los estudios a realizar en la zona para verificar las posibles causas de contaminación. El CTD Diver dispone además de un sensor de presión y un sensor de temperatura, además de un sensor de 4 electrodos que permite determinar la conductividad en un campo de medición aceptable de (0-80 mS/cm).

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.

3.2.2 Baro Diver

Con el Baro Diver podemos registrar Presiones Barométricas al igual que variaciones en temperatura.

El Baro Diver se encuentra suspendido con una guaya de 1/8" que está amarrada en la parte superior a la tapa de seguridad con una longitud de 30 cm, la capacidad de almacenamiento del Baro Diver es de 24000 medidas en la memoria interna y una batería al igual que el CTD Diver de aproximadamente 10 años.

Figura 4. Baro Diver



Fuente: Los Autores

El Baro Diver tiene una longitud de 125 mm, un diámetro exterior de 22 mm y un peso aproximado de 160 gr.

Los datos de temperatura los toman en un rango de -20 °C a 80 °C, y esta toma de datos se puede tomar en un delta de tiempo de 0.5 segundos a 99 horas.

3.2.3 DIVER

El Diver al igual que el CTD Diver registra valores de presiones absolutas y valores de temperatura del agua, estos se encuentran sumergidos a una altura de 38 metros desde la superficie, existen dos diferencias entre estos dos equipos, una es que el CTD Diver registra valores de conductividad, y la otra es la capacidad de almacenamiento de datos, el CTD Diver tiene una capacidad de almacenamiento de 16000 datos, mientras el Diver tiene una capacidad de 24000 datos.

Figura 5. Diver



Fuente: Los Autores

El Diver utilizado para esta toma de datos es el DI 242, este al igual que el Baro Diver tienen una longitud de 125mm, un diámetro exterior de 22mm y un peso aproximado de 160 gr. Los datos de temperatura son tomados en un rango de -20 °C hasta 80 °C, y los registros se pueden tomar en un delta de tiempo de 0.5 seg hasta 99 horas

3.2.4 USB Diver Reading

Dispositivo que se utiliza para conectar los equipos que se encuentran en el piezómetro de la flora a un PC por medio de conexión USB para poder descargar la información y reprogramar la toma de datos en la estación.

Figura 6. Conexión USB Diver Reading



Fuente: Los Autores

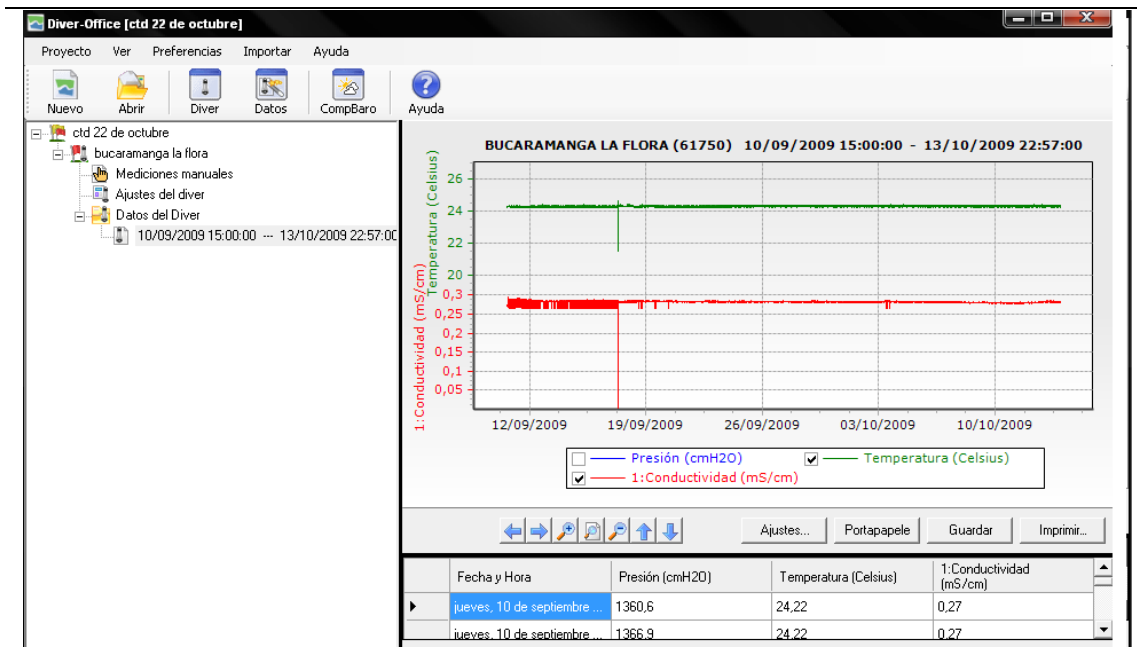
El dispositivo cuenta con dos terminales, uno de ellos es para conectar el CTD Diver o el Bar Diver y el otro terminal es una conexión USB para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador.

3.2.5 Software Diver Office

Diver Office es un programa desarrollado para leer, descargar, programar y procesar la información de los equipos que se utilizan en el piezómetro la flora en este caso el CTD Diver y el Baro Diver.

Es una herramienta que nos permite en el caso del CTD Diver realizar el proceso de calibración, es de fácil entendimiento y manejo, los datos suministrados el programa da la opción de exportarlos de una manera organizada a Excel

Figura 7. Software Diver Office



Fuente: Los Autores

Este Software fue creado por Schlumberger Water Services para ser utilizados con los instrumentos CTD Diver, Baro Diver, OTD Diver y Diver, los cuales son producidos por Eijkelkamp Agrisearch Equipment.

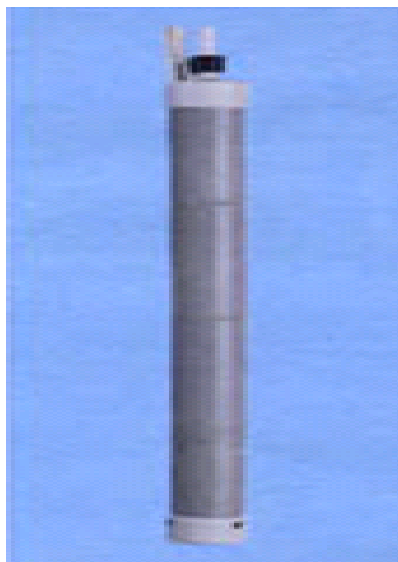
3.2.6 “1920.57.OO SUBMERSIBLE PUMP COMET-COMBI 24-4T”

La Bomba Sumergible Comet-Combi, es una bomba utilizada para el abatimiento y limpieza de pozos subterráneos, esta bomba presenta las siguientes características.

Tabla 2. Características Bomba

Altura de la Bomba	480 mm
Longitud del cable	40 m
Longitud de la Manguera	40 m
Voltaje	24 Voltios
Amperaje	11.5 Amperios
Peso	5.3 Kg
Altura máxima entrega Agua	Máximo 36 m

Figura 8. Bomba utilizada para Abatimiento del Acuífero



Fuente: Los Autores

La utilización de la bomba se realiza en intervalos de 10 minutos, según las instrucciones de la misma, 10 minutos realizando el abatimiento y 10 minutos de descanso de la bomba

4. MANEJO PRELIMINAR DE EQUIPOS EN LABORATORIO

Esta es la fase preliminar al manejo e instalación de los equipos en campo, se comprobaron mediante condiciones controladas el funcionamiento de los equipos para su posterior análisis y comparación de los errores presentados en las pruebas tomadas y las propuestas por el fabricante (Eijkelkamp Agrisearch Equipment).

4.1 PROCEDIMIENTO EN LABORATORIO

Lo primordial del trabajo en laboratorio es encontrar por medio de distintas pruebas los errores obtenidos y compararlos con los propuestos por el fabricante, en el caso del CTD Diver (Van Essen Instruments) y en el caso del BaroDiver y Diver (Eijkelkamp Agrisearch Equipment)

En cuanto a las pruebas de conductividad, se debió adquirir una solución 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.

4.2 CALIBRACION CTD DIVER

Para calibrar el CTD-DIVER con el DIVER-OFFICE. Se coloca el equipo en una solución de calibración con una conductividad estándar.

Figura 9. Sustancia Calibración CTD Diver



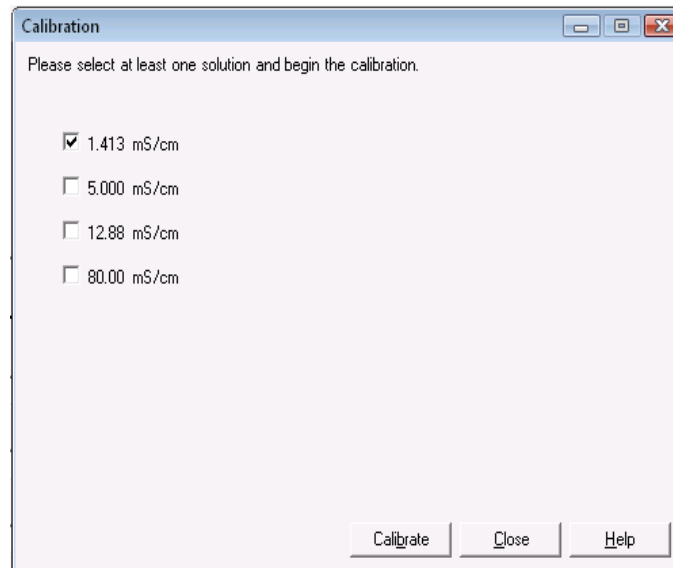
Fuente: Los Autores

El CTD-DIVER puede ser calibrado en un máximo de cuatro puntos. Las soluciones deberán tener una temperatura entre 5 °C (41 °F) y 30 °C (86 °F).

Para calibrar el CTD-DIVER, se busca la opción calibrar localizada en la barra de tareas de diálogo del DIVER. Este se hará disponible si el DIVER es reconocido como un CTD-DIVER. Posteriormente aparecerá el siguiente cuadro.

Seleccionamos una de las cuatro opciones según el rango de calibración que presenta el equipo, después clic en el botón [Calibrar] para comenzar a calibrar el CTD-DIVER

Figura 10. Selección Sustancia Patrón



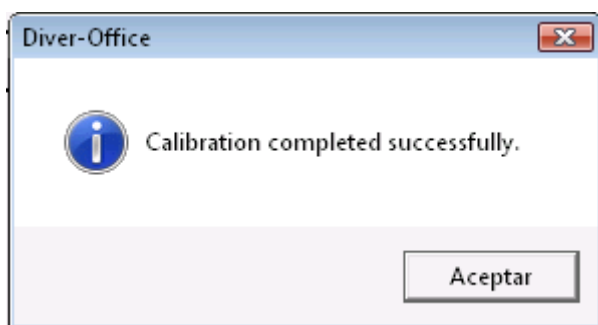
Fuente: Software Diver Office

Un mensaje aparecerá declarando que todos los datos sobre el CTD-DIVER serán borrados por el proceso de calibración.

El CTD-DIVER es sumergido en la solución seleccionada correspondiente a 1413 mS/cm y continuamos con el proceso de calibración.

Según las soluciones especificadas, se calibrará el CTD-DIVER. Si la calibración es acertada, un mensaje de confirmación aparecerá, dando por terminado el proceso de calibración.

Figura 11. Éxito en el Proceso de Calibración



Fuente: Software Diver Office

Posterior a la calibración del equipo se comprobó la densidad del agua con un picnómetro obteniendo un valor de densidad de $0.974 \pm 0.0003 \text{ g/cm}^3 \approx 1 \text{ g/cm}^3$.

4.3 PROGRAMACION DE EQUIPOS

Para la programación de equipos es importante saber la referencia de cada uno de ellos al igual que la capacidad de almacenamiento de cada uno de ellos, de acuerdo a esto se presenta la referencia para la programación de equipos.

Tabla 3. Referencia para programación de equipos

Programación de Equipos		
Equipo	CTD Diver DI263	BaroDiver
Código Interno	61750	66325
Ubicación	-----	-----
Altura (msnm)	Cota real $\pm 3\text{m}$	Cota real $\pm 3\text{m}$
Conductividad	0 ms/cm – 80 ms/cm	-----
Intervalo de Medición	0.5 seg a 99 horas	0.5 seg a 99 horas
Método de Muestreo	Fijo	Fijo
Capacidad Almacenamiento	16000 datos	24000 datos

Fuente: Manual Diver

Como la capacidad de almacenamiento de los datos es distinta, los intervalos de medición se fijan de acuerdo al CTD Diver quien tiene la menor capacidad de almacenamiento.

El método de muestreo para este proyecto es fijo, esto quiere decir que los aparatos están en capacidad de tomar registros continuos que nos permitan conocer de fondo el comportamiento del agua en este piezómetro.

4.4 OBTENCIÓN Y ANALISIS DE LOS DATOS EN LABORATORIO

EL CTD Diver registra valores de presión absoluta, mientras que el BaroDiver registra valores de presión barométrica, ambas dadas en unidades de cabeza de agua (cmH₂O), Para obtener el valor de agua que hay por encima del CTD Diver la calculamos de la siguiente forma.

$$H = \textit{presion absoluta(CTD Diver)} - \textit{presion barometrica(BaroDiver)}$$

Este procedimiento se conoce como compensación, los datos registrados por los equipos se exportan a hojas de cálculo de Excel.

Para la toma de datos de conductividad fue necesaria la calibración del equipo con la sustancia patrón y el software Diver Office, fue necesaria la comprobación de los datos con un Conductivímetro.

La programación de los equipos se hizo de la siguiente forma

Tabla 4. Programación equipos prueba laboratorio

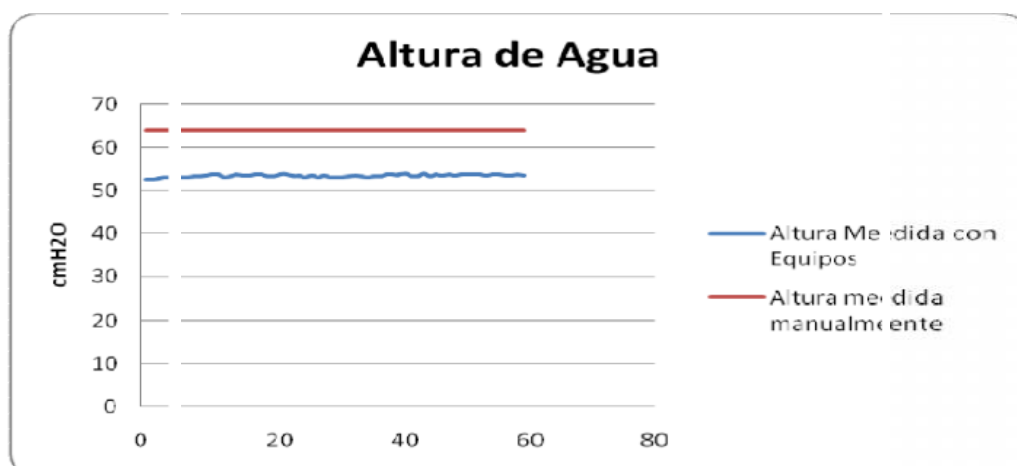
Programación de Equipos		
Equipo	CTD Diver DI263	BaroDiver
Código Interno	61750	66325
Ubicación	Laboratorio hidráulica	Laboratorio hidráulica
Altura (msnm)	980 msnm	980 msnm
Conductividad	0 ms/cm – 80 ms/cm	-----
Intervalo de Medición	0.5 seg	0.5 seg
Método de Muestreo	Fijo	Fijo
Capacidad Almacenamiento	16000 datos	24000 datos

Fuente: los autores

4.4.1 Niveles

Para los ensayos en laboratorio correspondiente al cálculo de niveles se trabajó en el tanque subterráneo del laboratorio de hidráulica bajo condiciones controladas, se hizo mediciones tanto con los equipos como manualmente y así obtener los errores observados para posteriormente ser comparados con los errores del fabricante.

Gráfica 1. Ensayo No 1.



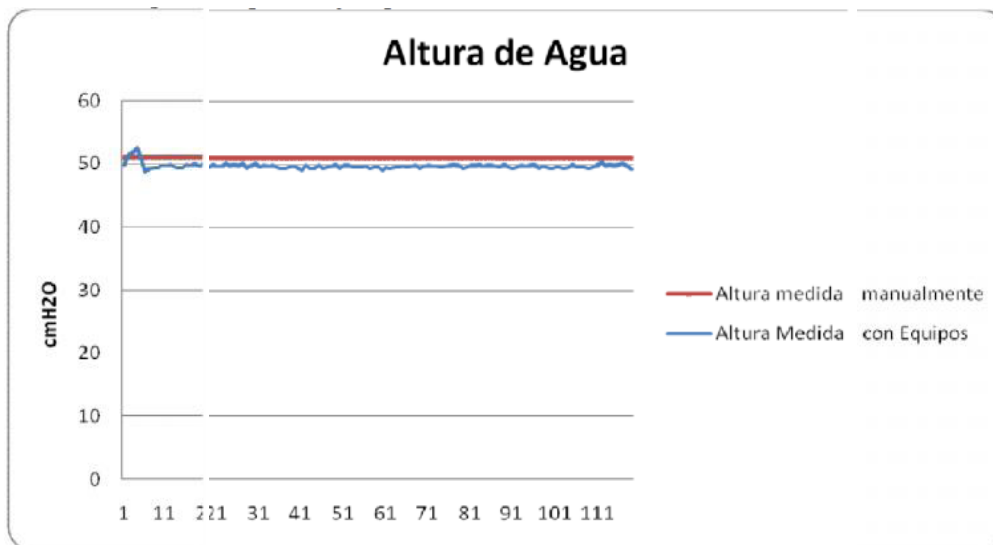
Fuente: Tesis de grado (Rueda & Flores)

Con esta primera prueba de laboratorio, se estableció una altura constante de 64 cm por encima del CTD Diver, con el CTD Diver y el Baro Diver se tomó los registros respectivos de presiones y al hacer la compensación se obtuvo la línea azul de la figura 1. Estas medidas obtenidas no fueron satisfactorias ya que se encontraba una gran diferencia con el valor real medido.

Esta gran diferencia que se presentaba se debía a que en la programación del CTD Diver así como en la del BaroDiver los datos de entrada no eran los acertados.

La altura de 960 msnm que se había registrado en la programación del CTD Diver y el Baro Diver era un valor promedio para la ciudad de Bucaramanga, además cada uno de los equipos presentaban un margen de error aceptable de $\pm 3m$, lo cual llevo a la revisión y reprogramación de los equipos.

Gráfica 2. Datos obtenidos Programación corregida



Fuente. Los autores

Al corregir los datos de entrada se estableció que el laboratorio de hidráulica tenía una altura promedio sobre el nivel del mar de 980 m, de esta forma los datos tomados a partir de la compensación de los equipos se acercaban a los obtenidos manualmente.

Trabajar bajo condiciones controladas en el laboratorio es de vital importancia ya que genera la confianza suficiente a la hora de la instalación en campo de los equipos, es importante aclarar la importancia de la precisión de los datos suministrados a la hora de la programación de los equipos, ya que estos nos proporcionan un menor % error, a continuación hacemos una relación de estos ensayos realizados tanto para la altura promedio sobre el nivel del mar de Bucaramanga y la altura promedio sobre el nivel del mar del laboratorio de hidráulica.

Tabla 5. Errores Obtenidos medición de Niveles

msnm programado	H real medida en tanque (cm)	H promedio compensación (cm)	Error Absoluto (cm)	Error relativo %
960	64	53.40	10.6	16.56
	58.5	48.90	9.6	16.41
980	51	49.8	1.2	2.35
	51	50.7	0.3	0.59

Fuente: Los Autores

Al trabajar con una altura sobre el nivel del mar de 980m el porcentaje de error disminuyo en un gran porcentaje, y los datos registrados por los equipos se semejaban a lo registrado manualmente, gracias a esto concluimos que los ensayos bajo condiciones controladas fueron satisfactorios.

4.4.2 Conductividad

Para comprobar la calibración del CTD Diver por medio del Diver Office, se propuso hacer diferentes pruebas de conductividad para tres distintas soluciones.

- Ensayo Con Agua Destilada
- Ensayo con Agua Sal
- Ensayo con Solución Patrón de 1413 mS/cm

Con estos ensayos se busca encontrar el error que se presenta y al final compararlos con el propuesto por el fabricante.

Para estos ensayos se uso un Conductivímetro de especificación PWT (pure wáter tester) con una precisión de $\pm 2\%$ del rango de medición el cual daba una idea de los valores a registrar con el CTD Diver, la programación del CTD Diver se desarrollo de la siguiente manera.

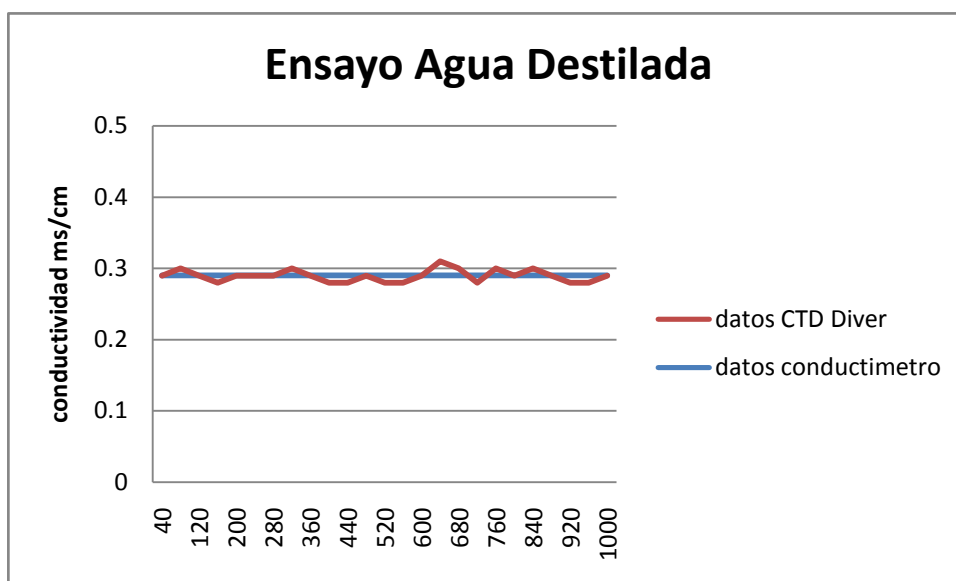
Tabla 6. Programación CTD Diver ensayos de Conductividad

Programación de CTD Diver		
Equipo	CTD Diver DI263	
Código Interno	61750	
Ubicación	Oficina laboratorio	
Altura (msnm)	980 msnm	
Conductividad	0 ms/cm – 80 ms/cm	
Intervalo de Medición	0.5 seg	
Método de Muestreo	Fijo	
Capacidad Almacenamiento	16000 datos	

Fuente: los autores

Para los ensayos con Agua Destilada se obtuvieron los siguientes resultados

Gráfica 3. Ensayo Conductividad con Agua destilada



Fuente: Los autores

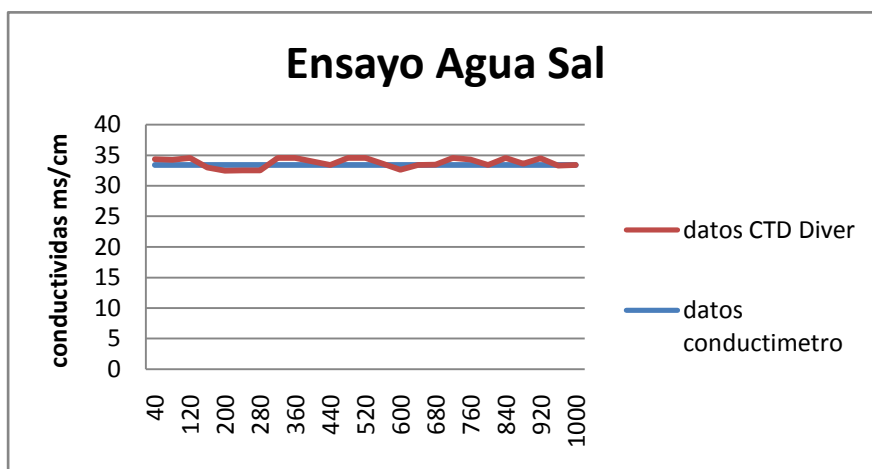
En este primer ensayo con agua destilada, el conductímetro registró un valor de 0.29 ms/cm, al compararlos con los datos del CTD Diver podemos concluir que la calibración del equipo fue satisfactoria para las expectativas requeridas.

Tabla 7. Porcentaje de error obtenido ensayo Agua Destilada

Conductividad Conductímetro ($\mu\text{s/cm}$)	Conductividad Promedio CTD Diver ($\mu\text{s/cm}$)	Error Absoluto ($\mu\text{s/cm}$)	% Error Relativo
0.29	0.2896	0.0004	0.14%

Fuente. Los Autores

Gráfica 4. Ensayo Conductividad con Agua Sal



Fuente: los Autores

Se hizo una segunda prueba con agua sal con una conductividad de 33.4 ms/cm medida con conductímetro, al compararlo con los registros obtenidos por el CTD Diver, concluimos de igual forma que el ensayo anterior.

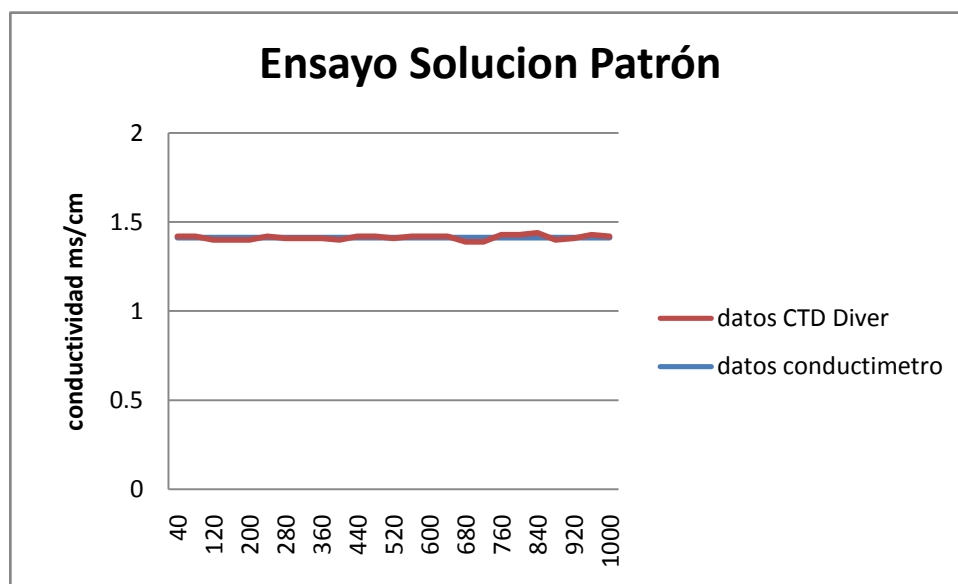
Tabla 8. Porcentaje de error obtenido ensayo Agua Sal

Conductividad Conductímetro ($\mu\text{s/cm}$)	Conductividad Promedio CTD Diver ($\mu\text{s/cm}$)	Error Absoluto ($\mu\text{s/cm}$)	% Error Relativo
33.4	33.04	0.36	1.07 %

Fuente. Los Autores

Ya teniendo plena confianza en la toma de registros del CTD Diver se programó un último ensayo con la sustancia patrón de calibración del equipo, donde los datos registrados por el CTD Diver no presentaban una variación con respecto al valor registrado por el conductímetro, los resultados se muestran a continuación (Gráfica 6).

Gráfica 5. Ensayo Conductividad Sustancia Patrón



Fuente: los Autores

Tabla 9. Porcentaje de error obtenido ensayo Solución Patrón

Conductividad Conductímetro ($\mu\text{s/cm}$)	Conductividad Promedio CTD Diver ($\mu\text{s/cm}$)	Error Absoluto ($\mu\text{s/cm}$)	% Error Relativo
1.413	1.4128	0.0002	0.014 %

Fuente. Los Autores

Con estos datos de errores relativos obtenidos para los ensayos de conductividad bajo condiciones controladas, podemos concluir que la etapa o proceso de calibración del CTD Diver fue un éxito y los datos esperados fueron los obtenidos.

Finalmente podemos concluir que para un buen registro de datos tanto para niveles como para conductividad es importante programar los equipos con datos reales, de esto depende la veracidad de los datos.

En cuanto a niveles el error relativo obtenido a partir de los ensayos elaborados fue del 0.59%, lo que nos indica un porcentaje menor al error propuesto por el fabricante del 1%.

Por otro lado los ensayos de conductividad arrojaron errores relativos cercanos al 1% con respecto a los datos tomados por el Conductivímetro de referencia PWT (pure wáter tester) quien a su vez presentaba un error del 2%.

Para comprobar que los datos de conductividad eran confiables se hizo un ensayo con la solución patrón de calibración de 1413 mS/cm, de esta forma se determino que los equipos registraban errores relativos menores comparados con lo propuesto por el fabricante del CTD Diver y el Propuesto por el fabricante del Conductivímetro.

5. MEDICIONES EN CAMPO Y PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDIDA

En este capítulo se hablara de las mediciones hechas en campo con cada uno de los equipos CTD Diver y Baro Diver, además se hablará del proceso de limpieza del pozo.

Se hablara también del perfeccionamiento del sistema de medida que se debió implementar debido a la alteración en la oxidación de la guaya que inicialmente fue instalada en el sistema y que alteraron los registros de conductividad.

De acuerdo a esto se sugirieron modificaciones a la tapa de seguridad (perforación de nuevos agujeros en la parte superior de la tapa), para así observar si se presentaban cambios en los registros de presiones atmosféricas

Figura 12. Piezómetro Piloto Parque la Flora

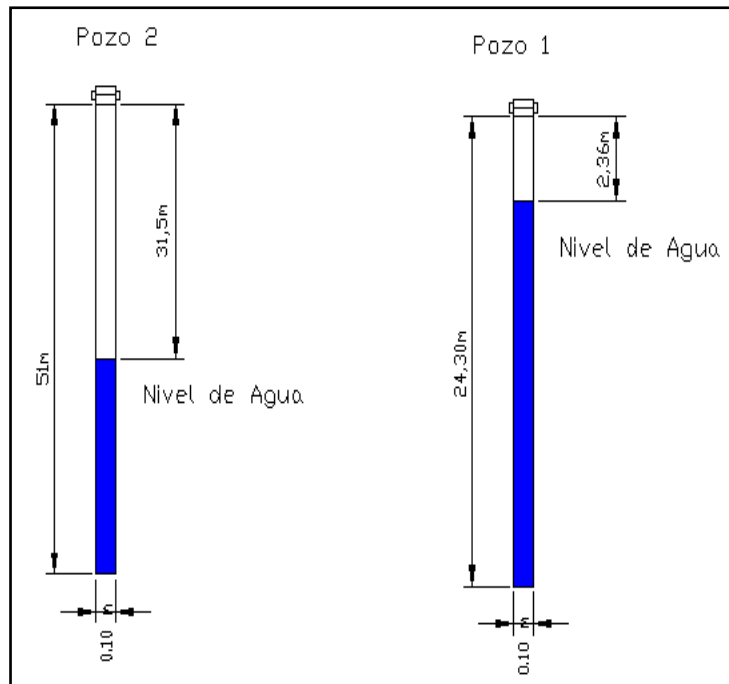


Fuente: Los Autores

En el parque la flora, se encuentran ubicados dos piezómetros pilotos, denominados pozo 1 y pozo 2, en el actual proyecto de grado se hizo un monitoreo al pozo 2 en el cual el nivel del agua se encontraba a una profundidad mayor que la del pozo 1.

- Nivel de Agua pozo 1 = 2.36 metros
- Nivel de Agua pozo 2 = 31.50 metros

Figura 13. Diferencia Niveles de Agua Pozo 1 y Pozo 2



Fuente: Los Autores

5.1 Limpieza del Pozo

Para el abatimiento o limpieza del pozo se utilizó una Bomba Sumergible Comet-Combi, es una bomba especial para la extracción de aquellos sedimentos que de alguna forma contaminan el pozo.

El abatimiento o limpieza del pozo garantizan aún más las condiciones reales en las que se encuentra EL AGUA SUBTERRANEA en el piezómetro en el parque la flora, es importante precisar que esta actividad se realiza cada vez que los equipos vuelven a ser instalados en campo, esto debe hacerse para lograr muestrear el agua en sus condiciones naturales.

Debido a la perforación hecha en la construcción del Piezómetro, se encuentran sedimentos en el fondo del piezómetro piloto, pero al analizar el agua se encuentra que no hay presencia de sedimentos.

5.2 Medición de Niveles de Agua

Para la medición de Niveles de Agua se utilizó el CTD Diver y el Baro Diver, los cuales fueron instalados en el piezómetro piloto, estos se programaron para registrar valores cada 3 minutos inicialmente, y así observar la fluctuación de los niveles de agua que se presentaban en este intervalo de tiempo para así determinar, si era posible cambiarlo a un intervalo mayor.

El CTD Diver registra valores de presión absoluta mientras que el Baro Diver registra valores de presión barométrica, para la medición de niveles utilizamos esta expresión:

$$H = \text{presion absoluta(CTD Diver)} - \text{presion barometrica(BaroDiver)}$$

5.3 Medición de Temperatura

El CTD Diver registra valores de temperatura del agua mientras el Baro Diver registra valores de la temperatura ambiente, los equipos están en capacidad de registrar valores que oscilen entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El CTD Diver se encuentra a una profundidad de 40 metros mientras el Baro Diver se encuentra a una profundidad de 0.70m

Figura 14. Disposición del Piezómetro y Equipos



Fuente: Los Autores

5.4 Seguridad de Equipos

En cuanto a la seguridad de los equipos se optó por utilizar una tapa de seguridad en la parte superior del Piezómetro piloto como se muestra en la Figura 20, de esta tapa de seguridad cuelgan dos guayas donde van sujetados los equipos.

Figura 15. Tapa de Seguridad



Fuente: Los Autores

En cuanto a la guaya de acuerdo a proyectos de grado anteriores se determino un diámetro de 1/8 de pulgada y en Acero Inoxidable (Rueda, Flores 2009), una guaya es la encargada de sostener el CTD Diver y tiene una longitud de 40 metros, la otra es la encargada de sostener el Baro Diver a una altura de 0.70 metros, estas guayas están aseguradas por un sistema de perros de 1/8" quienes garantizan el sostenimiento de los equipos.

Figura 16. Sistema de Seguridad Equipos por medio de Guaya 1/8"



Fuente: Los Autores

Esta Guaya en Acero Inoxidable presentó cambios durante la toma de datos debido a la Oxidación que presento la guaya alterando de alguna forma los registros de conductividad del CTD Diver.

5.5 Perfeccionamiento del Sistema

De acuerdo al problema de oxidación explicado anteriormente se opto por un mejoramiento del material de la guaya, cuyas modificaciones fueron una guaya con las mismas especificaciones pero recubierta en plástico, no permitiendo el paso o la humedad del agua al contacto con la guaya, de esta manera se trataba de mitigar tal impacto que genera la oxidación de la guaya por efecto del agua.

Fue necesario antes de la implementación del nuevo sistema, observar el comportamiento de la nueva guaya forrada en plástico sumergida en agua sal,

para determinar que efectos se producían en ella, después de una semana se observó que la nueva guaya no presentaba ningún tipo de alteración.

También se realizó cambios en la tapa de seguridad en donde se realizó perforación de nuevos agujeros en la parte superior de la tapa, para verificar si presentaba algún cambio en los datos registrados de las presiones atmosféricas.

6. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

En este capítulo se analizarán los registros obtenidos en campo, se analizarán los datos de conductividad, temperatura, presión absoluta y barométrica al igual que los niveles de agua, cada uno de ellos se estudiarán de tal forma que podamos entender su comportamiento temporal.

6.1 Medición de la Conductividad Hidráulica y Proceso de Mejoramiento de la medición

Los valores de conductividad fueron registrados por el CTD Diver. En los meses de marzo y abril 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, 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 la conductividad osciló en un rango de 0.26 a 0.30 mS/cm, en los meses de abril y mayo la conductividad registró valores constantes de 0.31 mS/cm, mientras que en los meses de junio y julio El CTD Diver registró valores de conductividad hasta de 0.32 mS/cm (Ver Anexos A.1, A.2, A.3, A.4, A.5).

Como se puede observar la conductividad a lo largo de los meses sufrió un incremento de 0.29 a 0.32 mS/cm lo que demuestra que el Agua Subterránea sufrió un cambio de conductividad debido a algún agente externo.

Se observó físicamente que la guaya en acero inoxidable de un 1/8 de pulgada 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.

6.1.1 Mejoramiento de la Medición de Conductividad

Después de observar las alteraciones debidas a la oxidación de la guaya, se propuso la implementación de una nueva Guaya en Acero Inoxidable pero recubierta en plástico la cual garantizaba que de alguna forma la guaya en si no tuviera contacto con el agua y así prevenir una nueva oxidación.

En los datos registrados en el mes de septiembre y octubre (ver Anexos A.6, A.7), se obtiene que los valores de conductividad registran variaciones entre 0.28 y 0.29 mS/cm, lo cual indica que este nuevo sistema ayudo a la mejora de las condiciones del agua subterránea.

De acuerdo a estos registros de conductividad se encontró que el Agua subterránea monitoreada en el pozo, presenta valores de conductividad entre 0.28 a 0.29 mS/cm equivalentes a 0.028 S/m y 0.029S/m, los cuales son aceptables para consumo humano.

$0.005 \text{ S/m} \leq \text{Agua Potable} \leq 0.05 \text{ S/m}$

Figura 17. Conversión unidades de conductividad

Lenntech BV
Rotterdamseweg 402 M
2629 HH Delft
Holanda
España México Estados Unidos
Chile Perú Argentina
tel: +3115 27 55 702
fax: (+31)(0)15 26.16.289
e-mail: info@lenntech.com

Este conversor puede ser usado para convertir por ejemplo siemens por metro en tds en ppm o mho cm.

Entrada:

S/cm	<input type="text" value="0.000290"/>
mS/cm	<input type="text" value="0.290"/>
microS/cm	<input type="text" value="290"/>
EC	<input type="text" value="0.290"/>
CF	<input type="text" value="2.90"/>
mho cm	<input type="text" value="0.000290"/>
mho m	<input type="text" value="0.00000290"/>
ppm TDS	<input type="text" value="186"/>

Siemens (S) es una unidad de conductividad eléctrica. La conductividad del agua se mide dentro de una cierta distancia de modo que la entrada es en S/cm or mS/cm. Otras unidades de conductividad eléctrica son Mho cm, CF (en América y Australia) y EC.

Fuente: Los Autores

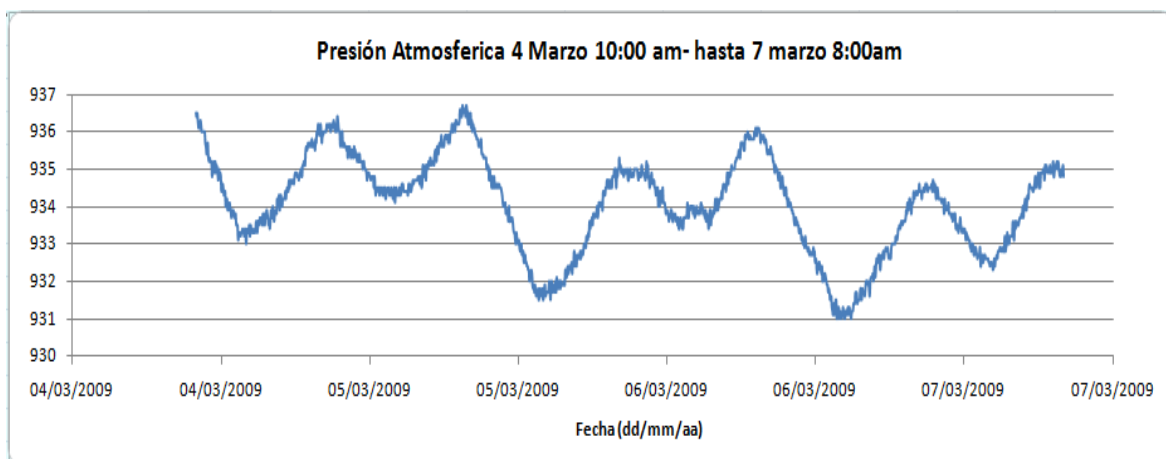
6.2 Análisis de la presión Atmosférica

La presión atmosférica recibe el nombre también de presión barométrica, esta presión es registrada por el Baro Diver, el cual se encuentra suspendido en el piezómetro piloto ubicado en el parque la flora, las unidades en las que se presenta la presión atmosférica es en cm. H₂O.

De acuerdo a las graficas presentadas a continuación podemos observar que las presiones atmosféricas presentan la misma tendencia independientemente del lugar donde se registran los datos y de su delta de tiempo ya sea de 3min o 30min.

Se analizaron las graficas para un mismo intervalo de tiempo en distintas épocas del proyecto

Grafica 6. Presión Atmosférica 4 de marzo a 7 de marzo



Fuente: Los Autores

Se observa que la presión atmosférica presenta una tendencia que se repite con el tiempo, con las demás graficas mostradas comprobaremos que este comportamiento se mantiene, cabe resaltar que en el periodo de marzo a julio, la tapa de seguridad contaba con un solo orificio en su parte superior permitiendo que la presión atmosférica oscilara entre 930 cmH₂O A 939 cmH₂O (Ver Anexos B1, B2, B3, B4, B5)

Figura 18. Tapa con un solo Orificio



Fuente: Los Autores

A continuación se presenta otras graficas donde se demuestra que la tendencia de la presión atmosférica se conserva.

Grafica 7. Presión Atmosférica 4 de mayo a 7 de mayo

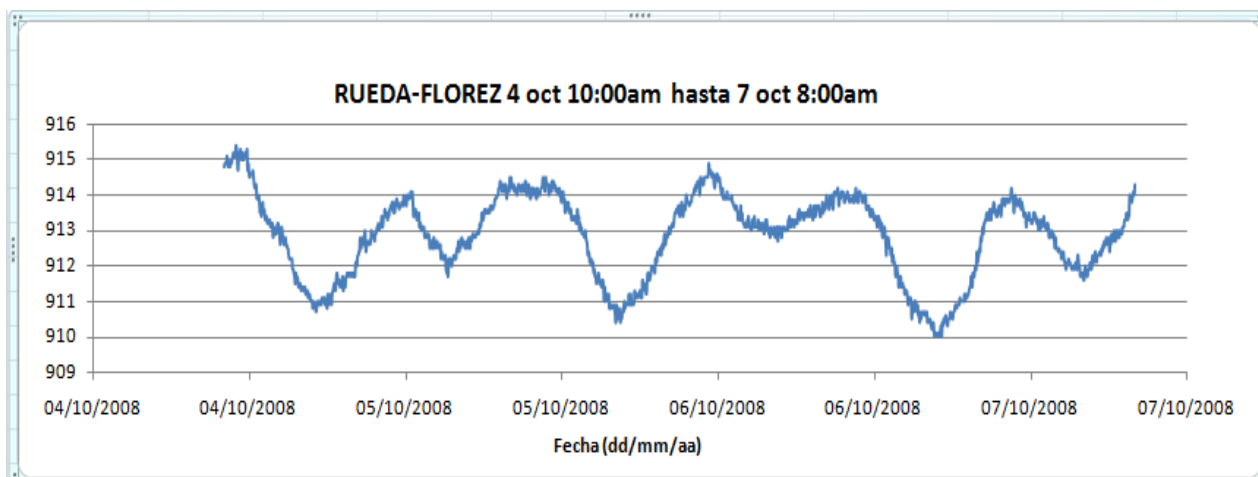


Fuente: Los Autores

Es bueno resaltar que la grafica de presión atmosférica del mes de marzo es calculada con valores en intervalos de tiempo de 3 minutos, mientras la grafica de mayo corresponde a intervalos de tiempo de 30 minutos, lo que nos comprueba que independientemente del intervalo de tiempo la tendencia se conserva.

En el Proyecto de grado de Rueda, Flores (2009), la presión atmosférica presenta la misma tendencia al igual que en el actual proyecto, estos datos fueron registrados en la cuenca superior del rio de Oro.

Grafica 8. Presión Atmosférica Rio de Oro



Fuente: Tesis de grado (Rueda & Flores)

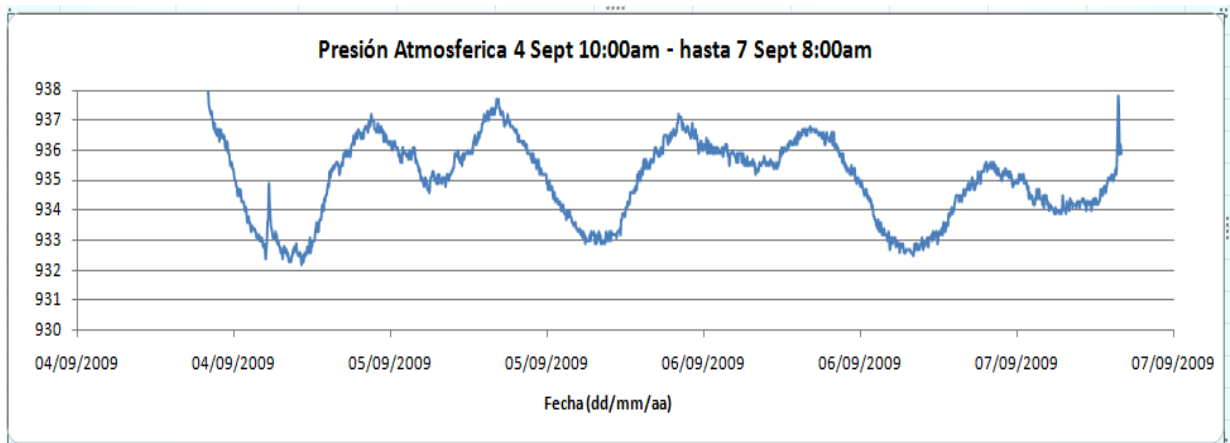
6.2.1 Mejoramiento en la Medición de Presiones Atmosféricas

Cuando se hizo el cambio al sistema de la guaya de acero inoxidable por una guaya forrada en plástico, se decidió además que deberíamos abrir más orificios a la tapa de seguridad para que así el Baro Diver registrara valores de presión atmosférica más confiables.

Se hizo un registro en los meses de Septiembre y Octubre (Ver Anexos B6, B7), donde se demostró que la tendencia de la presión atmosférica se conservaba.

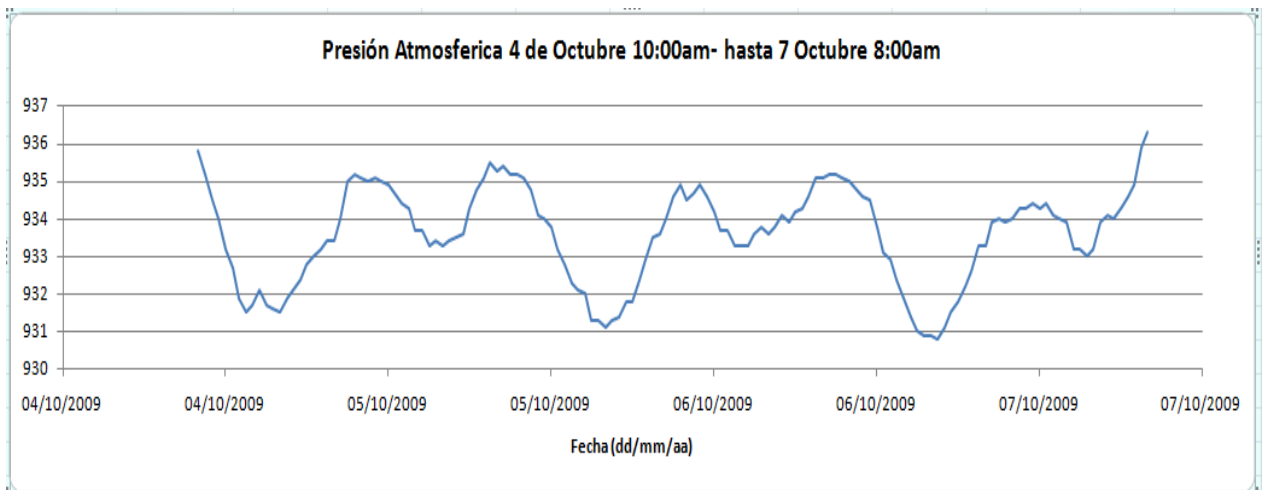
En las siguientes graficas se puede apreciar que la presión atmosférica oscila entre 931 cmH₂O Y 938 cmH₂O, lo que demuestra que los nuevos orificios en la tapa de seguridad no incidieron en el registro de los datos de Presión Atmosférica Registrados por el Baro Diver.

Grafica 9. Presión Atmosférica 4 de sept. Hasta 7 de sept.



Fuente: Los Autores

Grafica 10. Presión Atmosférica 4 de Oct. Hasta 7 de Oct.



Fuente: Los Autores

Figura 19. Tapa de Seguridad con Varios Orificios



Fuente. Los Autores

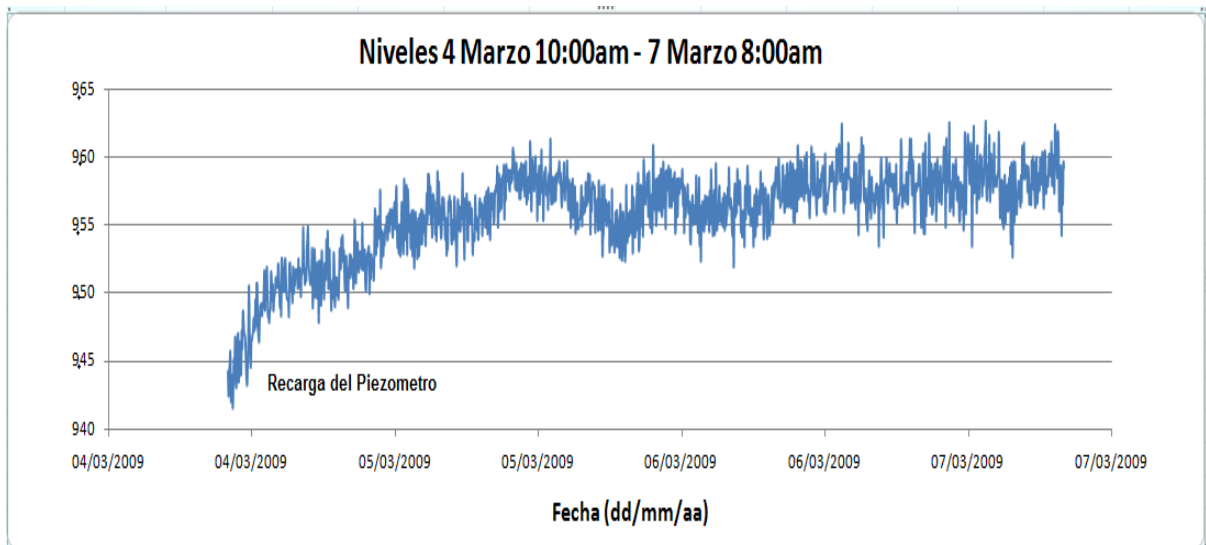
6.3 Análisis e Niveles de Agua

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

$$H = \text{presion absoluta(CTD Diver)} - \text{presion barometrica(BaroDiver)}$$

Esta medición de niveles se registró desde el 3 de marzo de 2009 hasta el 28 de julio de 2009, los datos registrados tanto por el CTD Diver como por el Baro Diver fueron tomados en intervalos de 3 minutos en el mes de marzo y abril (Ver Anexo C1,C2), para los meses de mayo, junio y julio (Ver Anexo C3, C4, C5) se optó por intervalos de 30 minutos para tener un mejor manejo y análisis sobre los datos.

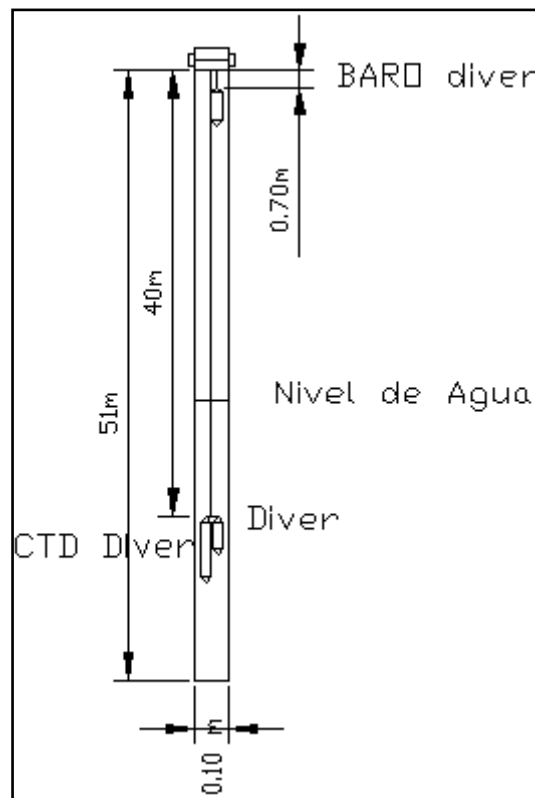
Grafica 11. Niveles 4 Marzo a 7 de Marzo



Fuente: Los Autores

Para este intervalo el delta de tiempo utilizado fue de 3 minutos, la cabeza de agua por encima del CTD Diver está entre 9,55 y 9.60 metros, en una primera parte se observa que el nivel del agua va en forma creciente hasta que llega a un punto donde se estabiliza, esto debido a que cada vez que se instalaron los equipos se realizaba el abatimiento o limpieza del pozo.

Figura 20. Instalación CTD Diver y Diver en el Piezómetro



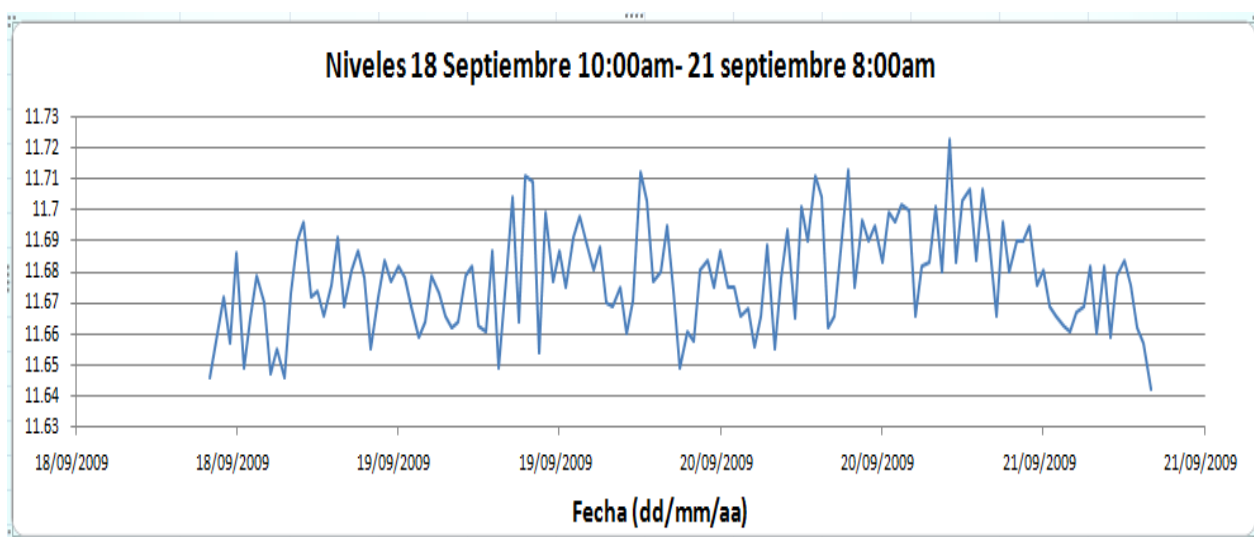
Fuente. Los Autores

Figura 21. Montaje Diver y CTD Diver



Fuente: Los Autores

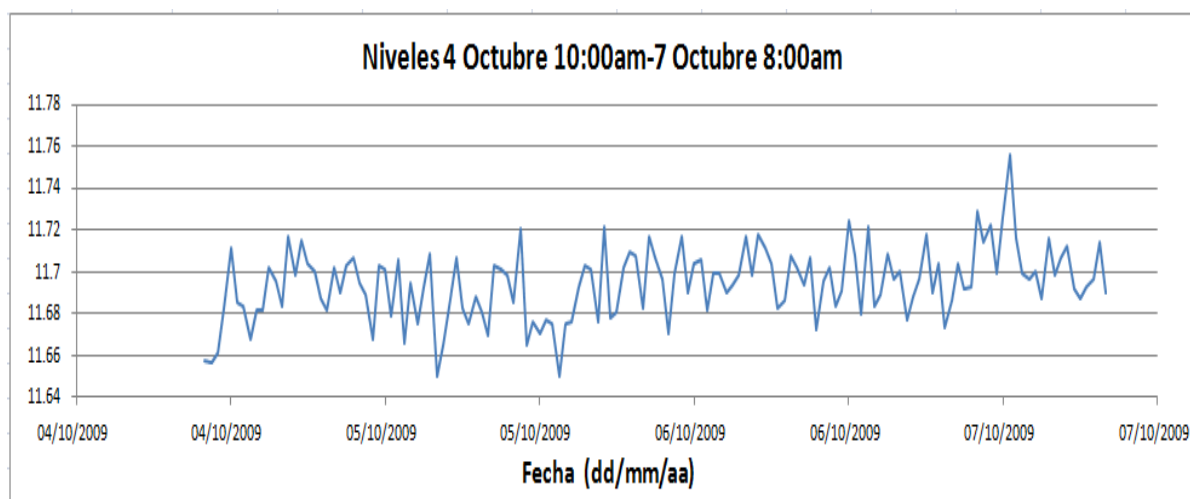
Grafica 13. Niveles sept. 18 hasta sept. 21



Fuente: Los Autores

De acuerdo a la Grafica determinamos que la variación en los niveles presenta una tendencia muy similar a la presentada cuando el sistema de la tapa de seguridad contaba con un solo orificio.

Grafica 14. Niveles 4 de Oct. Hasta 7 Oct. 7



Fuente: Los Autores

Al comparar los datos de Niveles de Agua registrados por el CTD Diver y el Diver, se encontró que estos datos presentan un desfase de 40 a 50 cm, según la figura 26 se observa que la diferencia de alturas entre el CTD Diver y el Diver en el montaje del sistema es de 8cm lo cual nos reduce el desfase a 30 cm.

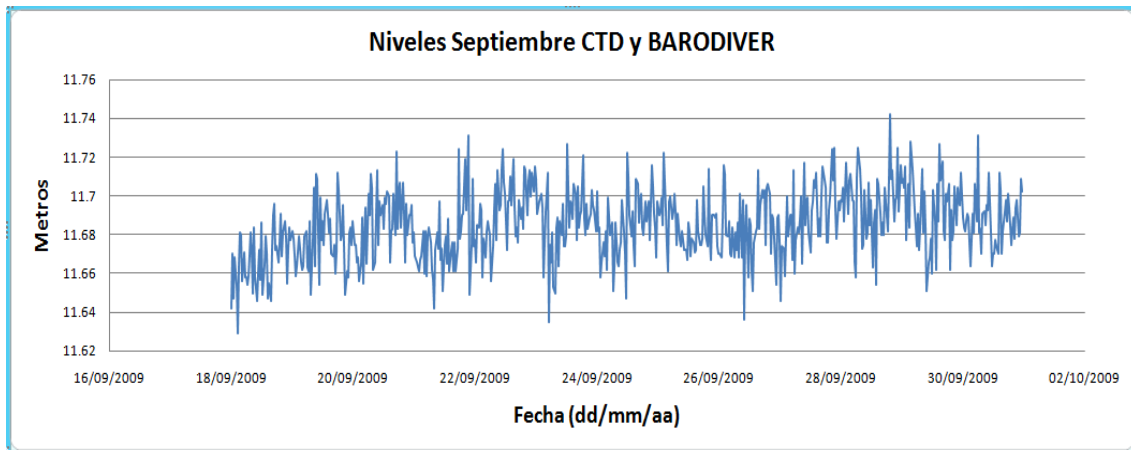
Figura 22. Diferencia de Altura CTD Diver y Diver



Fuente. Los Autores

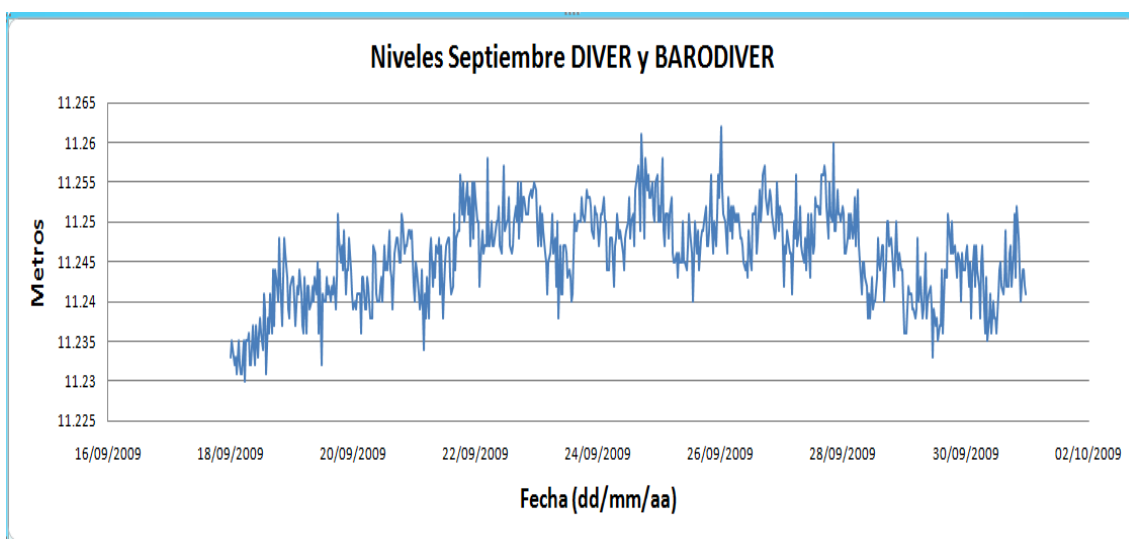
A continuación se presenta los niveles de agua calculados para el mes de septiembre tanto por el CTD Diver como para el Diver

Grafica 15. Niveles sept. Calculados con CTD Diver



Fuente: Los Autores

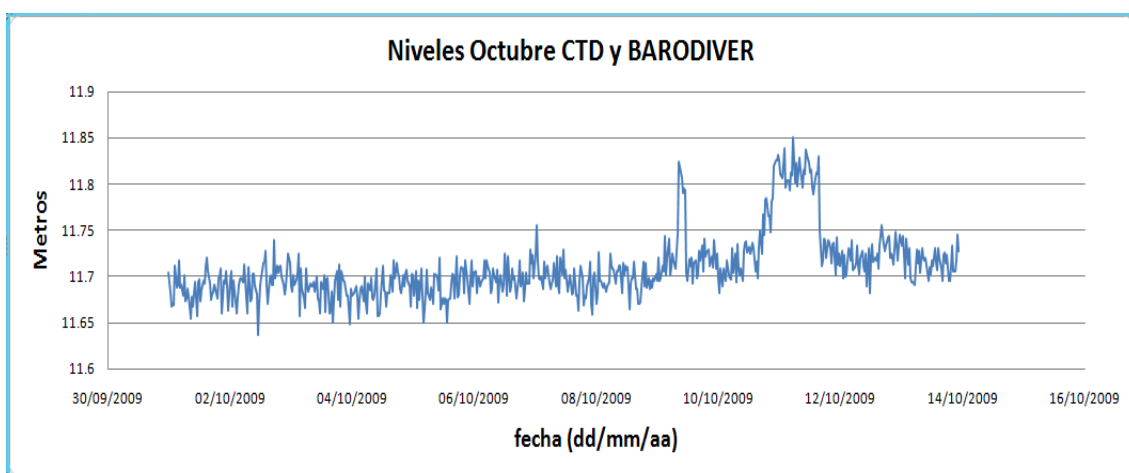
Grafica 16. Niveles Sept. Calculados con el Diver



Fuente: Los Autores

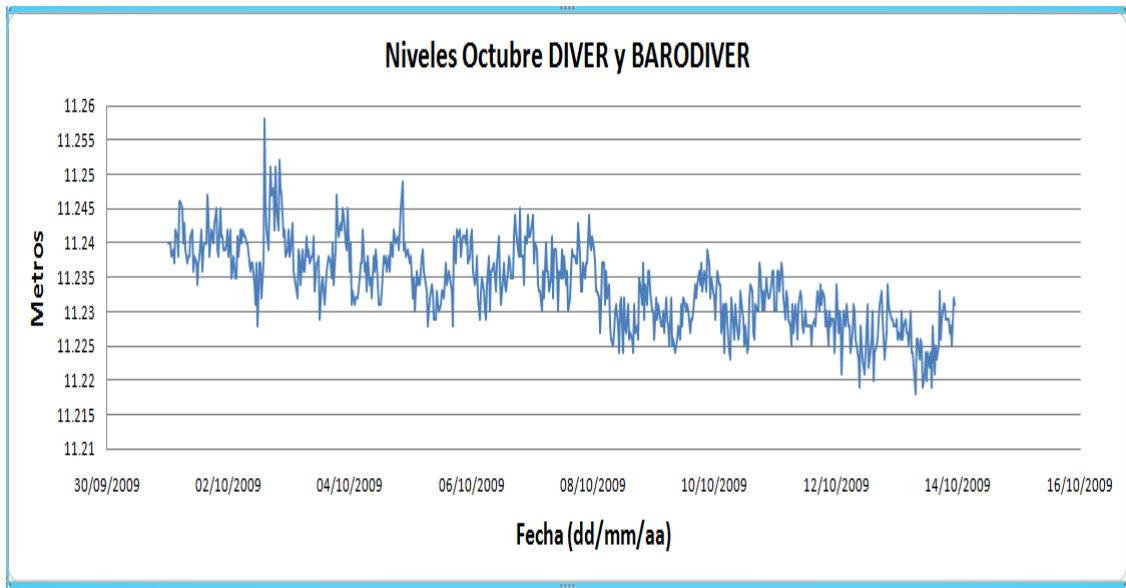
Como podemos observar en las graficas el comportamiento de los niveles presentan una tendencia que es repetitiva en las dos, en la grafica 18 los valores de nivel oscilan entre 11.62 m y 11.74m mientras que en la grafica 19 los valores oscilan entre 11.23m y 11.26m, donde se presenta un desfase de 40 a 50 cm.

Grafica 17. Niveles Oct. Calculados con el CTD Diver



Fuente: Los Autores

Grafica 18. Niveles Oct. Calculados con el Diver



Fuente: Los Autores

Como podemos observar en todas las épocas del proyecto, la fluctuación que se observa es en forma de dientes de sierra es de 2 a 5cm que se pueden relacionar con periodos secos y periodos húmedos.

Como se puede observar en los meses de marzo, abril y mayo los valores de niveles de agua oscilaron entre 9.6m y 9.8m, para los meses de junio y julio los niveles oscilaron entre 9.9m y 10.1m, demostrando un incremento de agua subterránea en el acuífero, finalmente en los meses de septiembre y octubre los niveles de agua presentaban valores entre 11.64 m y 11.8m comprobando aun mas este incremento del agua subterránea en el piezómetro.

6.4 Análisis de la Medición de la Temperatura

El CTD Diver registra 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.

6.4.1 Temperatura Ambiente

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.

En el mes de marzo la temperatura ambiente máxima fue de 24.3 °C, el día 11 de marzo y la temperatura mínima que se registró fue de 22 °C el día 23 de marzo (Ver Anexo D1).

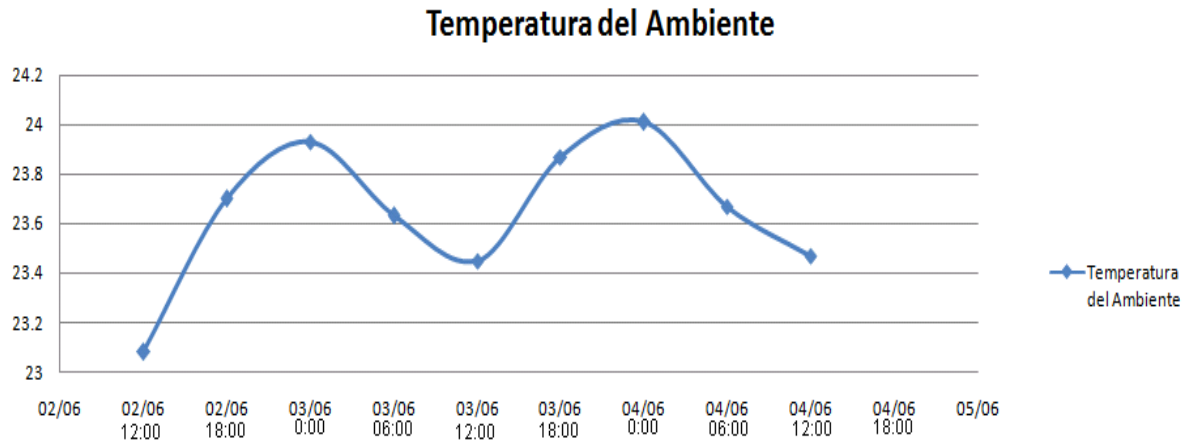
Para el mes de abril la temperatura ambiente máxima fue de 24.4 registrada el día 27 de abril y la temperatura mínima fue de 23°C (Ver Anexo D2).

Tabla 10. Registro Máximos y Mínimos temperatura Ambiente

Temperatura Ambiente		
Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)
Marzo (anexo D1)	24.3	22
Abril (anexo D2)	24.4	23
Mayo (anexo D3)	23.7	22.4
Junio (anexo D4)	24.1	22
Julio (anexo D5)	23.7	21.8
Septiembre (anexo D6)	23.3	22.35
Octubre (anexo D7)	23.5	22.4

Fuente. Los Autores

Gráfica 19. Ciclo diario temperatura ambiente

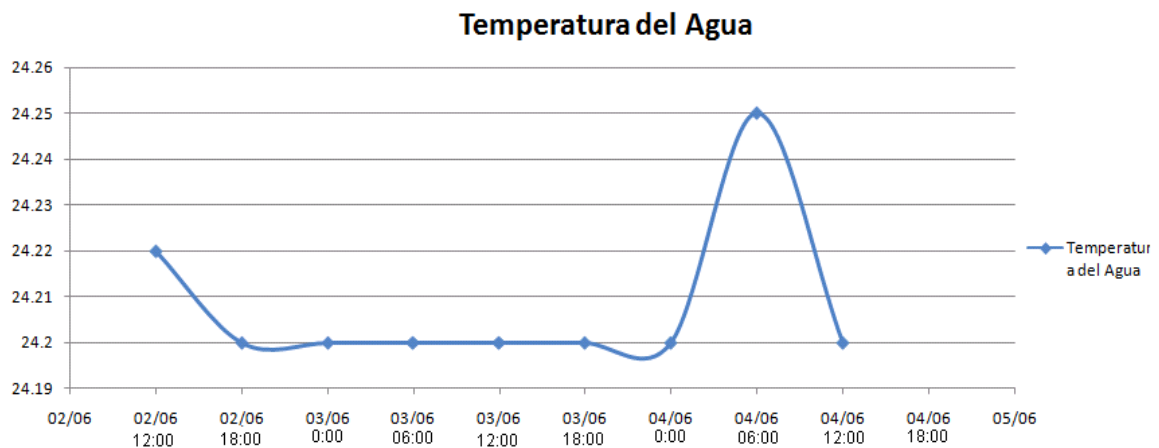


Fuente: los autores

6.4.2 Temperatura del Agua

La temperatura del agua, es registrada por el CTD Diver, al igual que en el Baro Diver estos valores se registran en intervalos de tiempo ininterrumpidos según como fuese programado el equipo, estos datos se registran gracias a que el aparato siempre está sumergido en el agua.

Gráfica 20. Ciclo diario temperatura del agua



Fuente: los autores

Los datos registrados de temperatura del agua con el CTD Diver se muestran en la siguiente tabla

Tabla 11. Registro Máximos y Mínimos temperatura Agua

Temperatura del Agua		
Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)
Marzo (anexo E1)	24.44	24.29
Abril (anexo E2)	24.41	24.2
Mayo (anexo E3)	24.38	24.18
Junio (anexo E4)	24.34	24.15
Julio (anexo E5)	24.34	24.15
Septiembre (anexo E6)	24.37	24.17
Octubre (anexo E7)	24.37	24.2

Fuente. Los Autores

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.

Estos datos arrojados por el CTD Diver nos muestran que hay un comportamiento de temperatura mayor en las horas de la mañana, en cambio en las horas del medio día la temperatura es baja.

CONCLUSIONES

- Con este proyecto se inicio el proceso de automatización de un piezómetro piloto localizado en el parque la flora y construido por la CDMB con asesoría del grupo GPH-UIS. En el pozo denominado pozo numero 2 de profundidad de 51 metros se instalo un CTD Diver y un Baro Diver, para medición continua de niveles de agua subterránea, Conductividad eléctrica y temperatura.
- Con respecto al proceso de calibración de conductividad del CTD Diver en laboratorio, los errores relativos obtenidos estuvieron cercanos al 1% lo cual indica que el error relativo suministrado por el fabricante corresponde a los observados.
- Después de mejorar el sistema de medida de la conductividad eléctrica (EL MATERIAL UTILIZADO INICIALMENTE EN LA GUAYA AFECTO LOS VALORES REGISTRADOS) en el piezómetro se midieron valores que fluctúan entre 0.28 y 0.29 mS/cm equivalentes a 0.028 y 0.029 S/m, medidos entre el 10 de septiembre y el 13 de Octubre que corresponden al intervalo de agua potable que está entre 0.005 hasta 0.05 S/m.
- Entre los meses de marzo, abril, y mayo lo niveles de Agua oscilaron entre 9.6m y 9.8m, para los meses de junio y julio los niveles oscilaron entre 9.9m y 10.1m demostrando un incremento de agua subterránea en el acuífero, finalmente en los meses de septiembre y octubre los niveles de agua presentaban valores entre 11.64 m y 11.8m comprobando aun mas este incremento del agua subterránea en el piezómetro.
- Se demostró que en todas las épocas del actual proyecto, la temperatura del agua siempre estuvo por encima de la temperatura ambiente, el máximo valor registrado de temperatura del agua fue de 24.44°C, mientras que la máxima de temperatura ambiente fue de 24.4°C.

- De acuerdo al ciclo diario de la temperatura ambiente, se demostró que las temperaturas más altas se dan a las 0:00 horas y registran valores entre 23.8 °C a 24.4°C, mientras las temperaturas más bajas se dan de 12:00am y registran valores de 23.4°C.
- En los meses de marzo y abril los equipos fueron programados para registrar datos con un delta de tiempo de 3 minutos, mientras que para los meses siguientes trabajamos con intervalos de tiempo de 30 minutos, de acuerdo a esto se pudo determinar que independientemente del delta de tiempo utilizado en la programación del Baro Diver la presión atmosférica mantiene su tendencia en forma sinusoidal.
- Con respecto a los ensayos bajo condiciones controladas de medición de niveles de agua en el laboratorio, se obtuvieron errores relativos alrededor de 0.58% lo que indica, que los errores relativos propuestos por el fabricante son los observados que es de $\pm 3\text{cm}$ del valor obtenido hasta un rango de 3000 m columna de agua

RECOMENDACIONES

- 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.
- Es aconsejable un estudio profundo de laboratorio que nos permita determinar los factores fisicoquímicos que presenta el agua, para determinar su respectivo tratamiento y purificación.
- 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 mas afondo acerca de los desfases presentados en cuanto a niveles calculados con el CTD Diver y los niveles calculados con el Diver

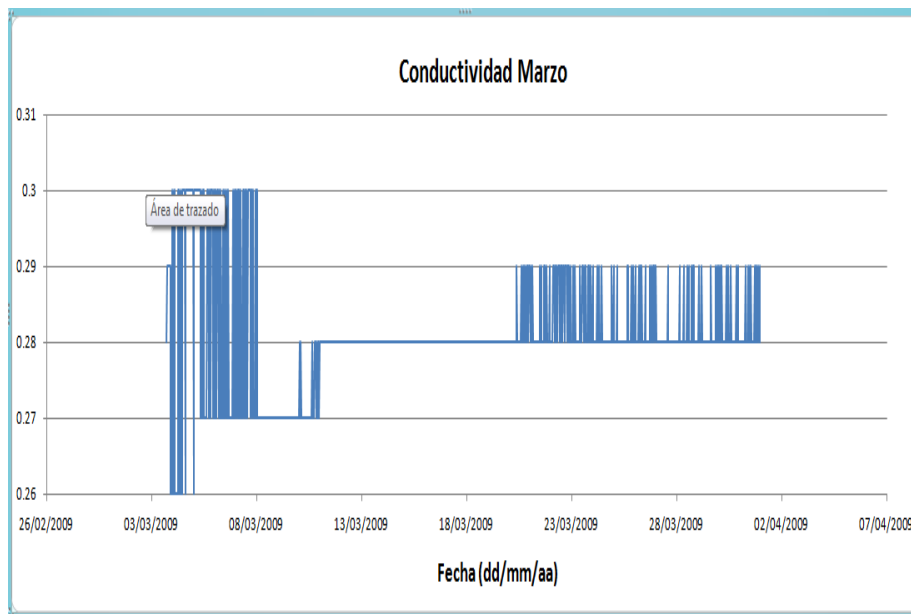
BIBLIOGRAFIA

- José Miguel Rodríguez Mellado & y Rafael Marín Galvín; Físicoquímica de Aguas, Editorial Díaz de Santos, S.A, 1999.
- C.W. FETTER; Contaminant Hidrogeology, Editorial Prentice Hall, segunda edición 1999,1993.
- SCHLUMBERGER Water Services by Van Essen Instruments BV(2006). Diver Product Manual <http://www.vanessen.com>
- Referencia: AGUAS SUBTERRÁNEAS CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO, Autor: Martínez, año 1998.
- USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, Autor: MR Llamas, proyecto aguas subterráneas, año 2000.
- MANUAL de USUARIO DIVER OFFICE, Calibración y análisis de Datos Tomados a partir del CTD Diver.
- GOMEZ, S, COLEGIAL J.D. Interacción entre sistemas hidrogeológicos en el Macizo de Santander y localización de recarga. Proyecto Colciencias. 2003
- VELEZ, M.V. Hidráulica de Aguas Subterráneas. Publicación Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. 2ª. Ed. 1999.

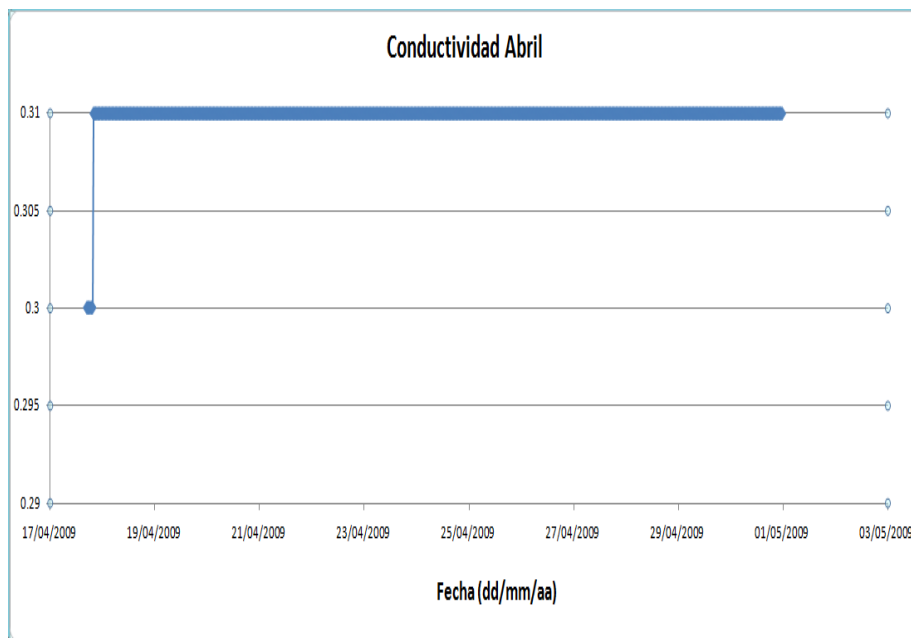
ANEXO A

**REGISTROS DE CONDUCTIVIDAD
MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009**

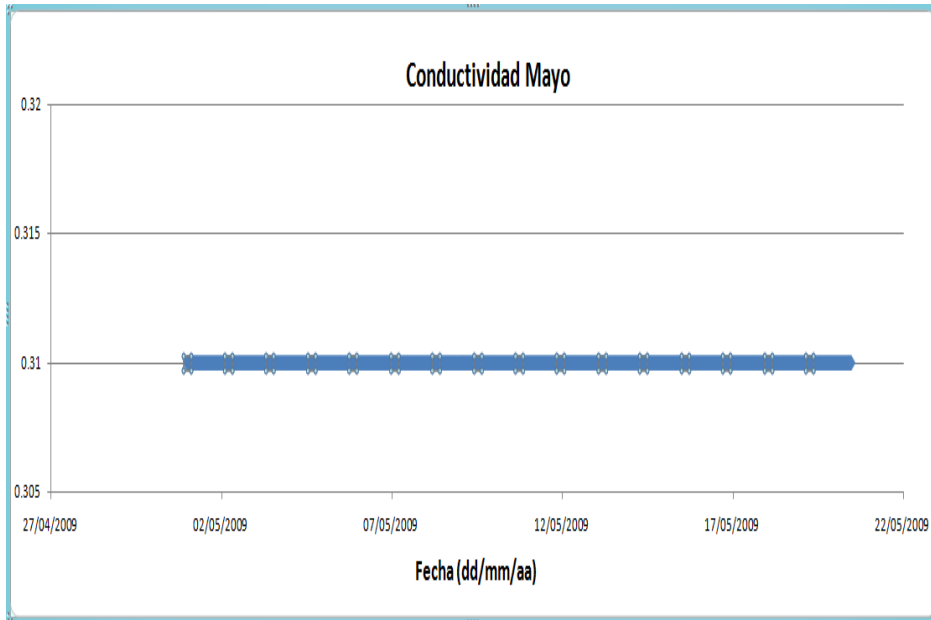
Anexo A1 Conductividad Marzo



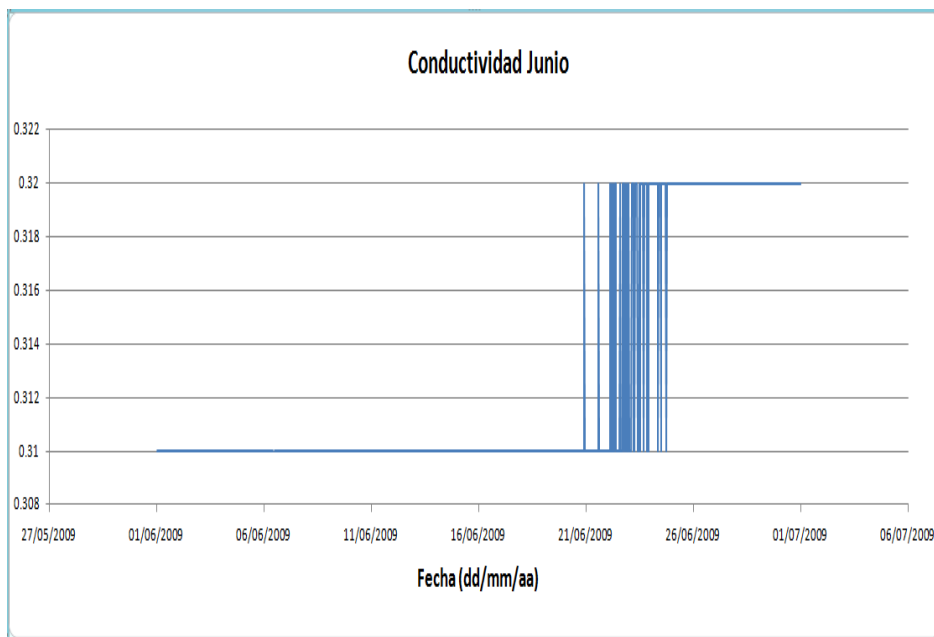
Anexo A2 Conductividad Abril



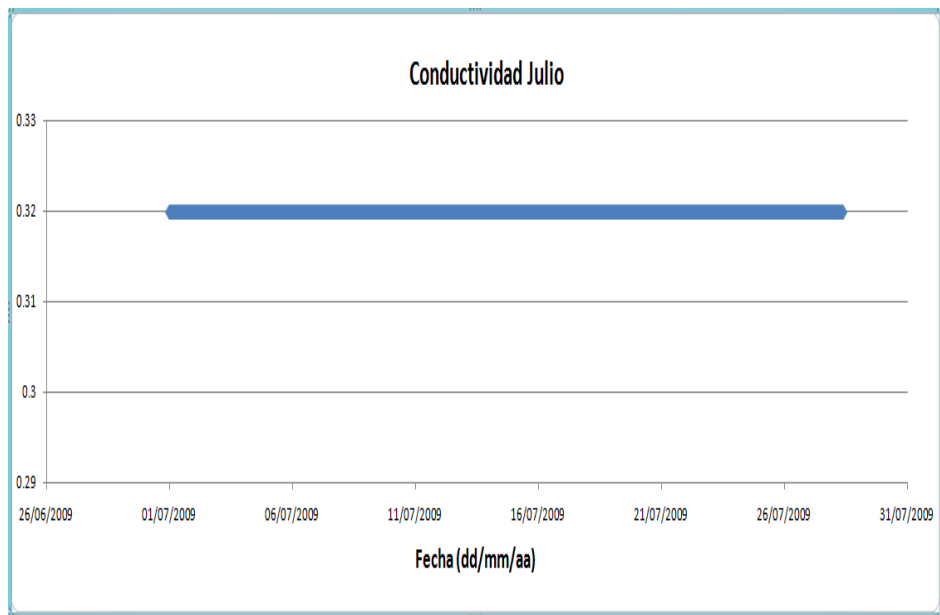
Anexo A3 Conductividad Mayo



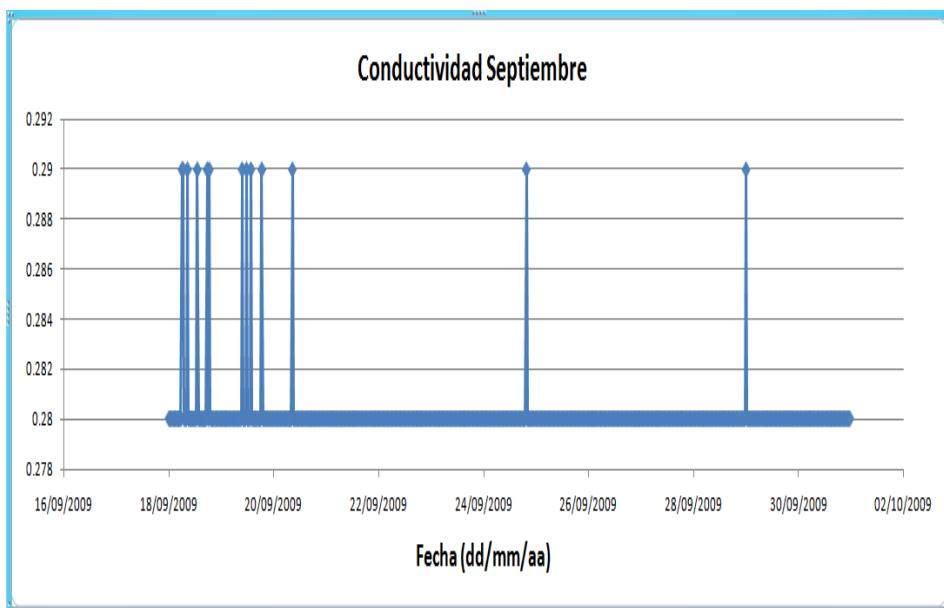
Anexo A4 Conductividad Junio



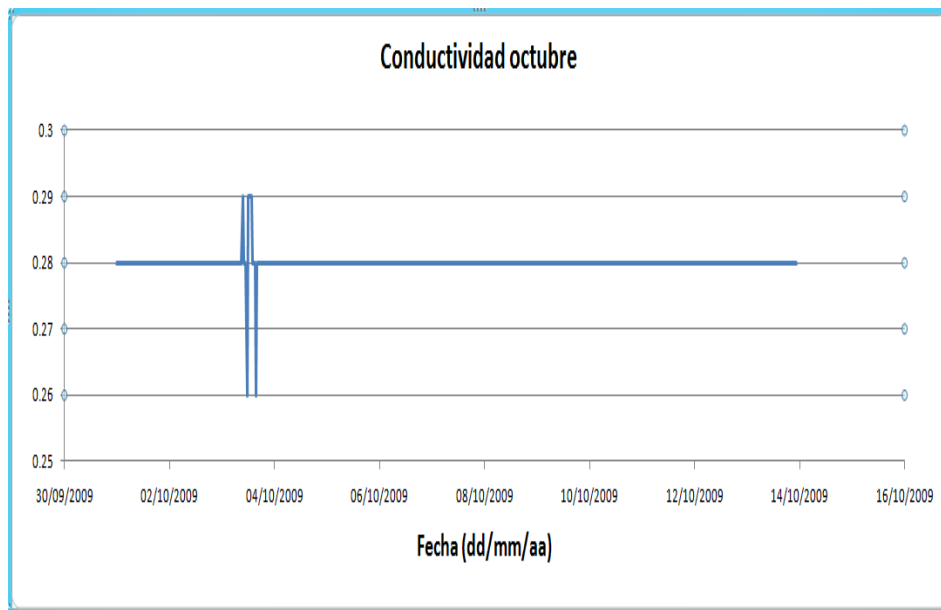
Anexo A5 Conductividad Julio



Anexo A6 Conductividad Septiembre



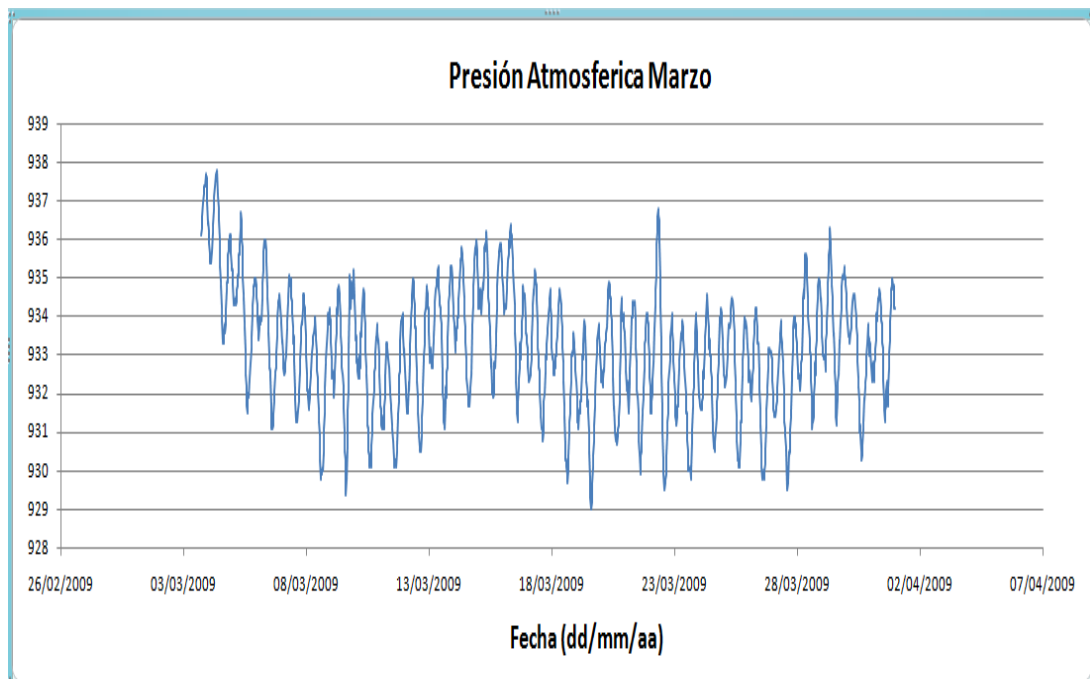
Anexo A7 Conductividad Octubre



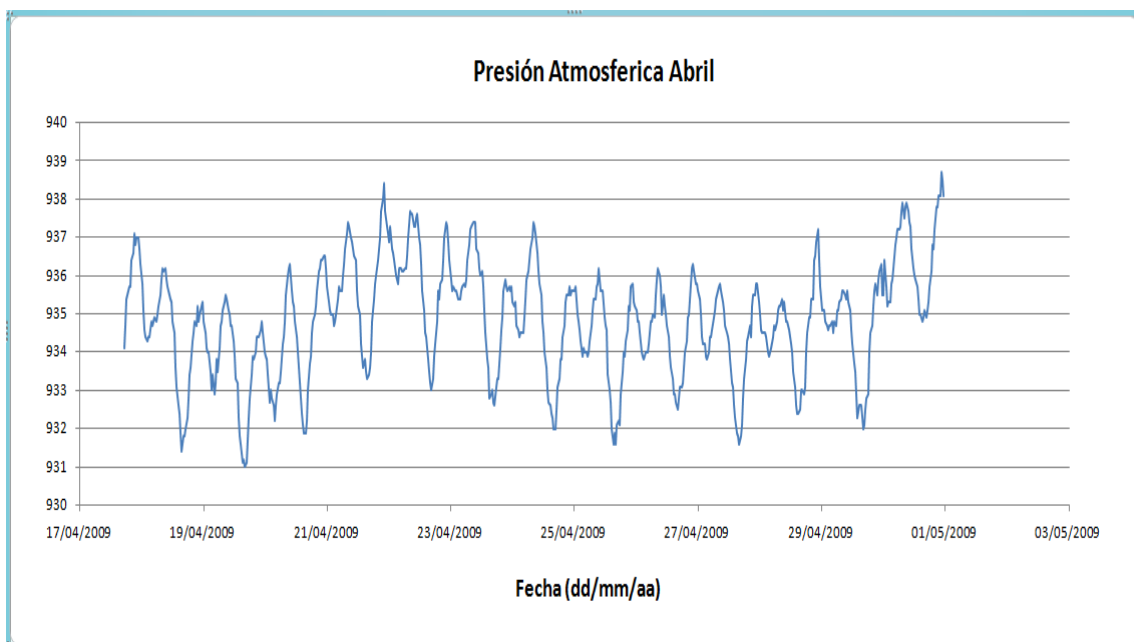
ANEXO B

**REGISTROS DE PRESIONES ATMOSFERICAS
MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009**

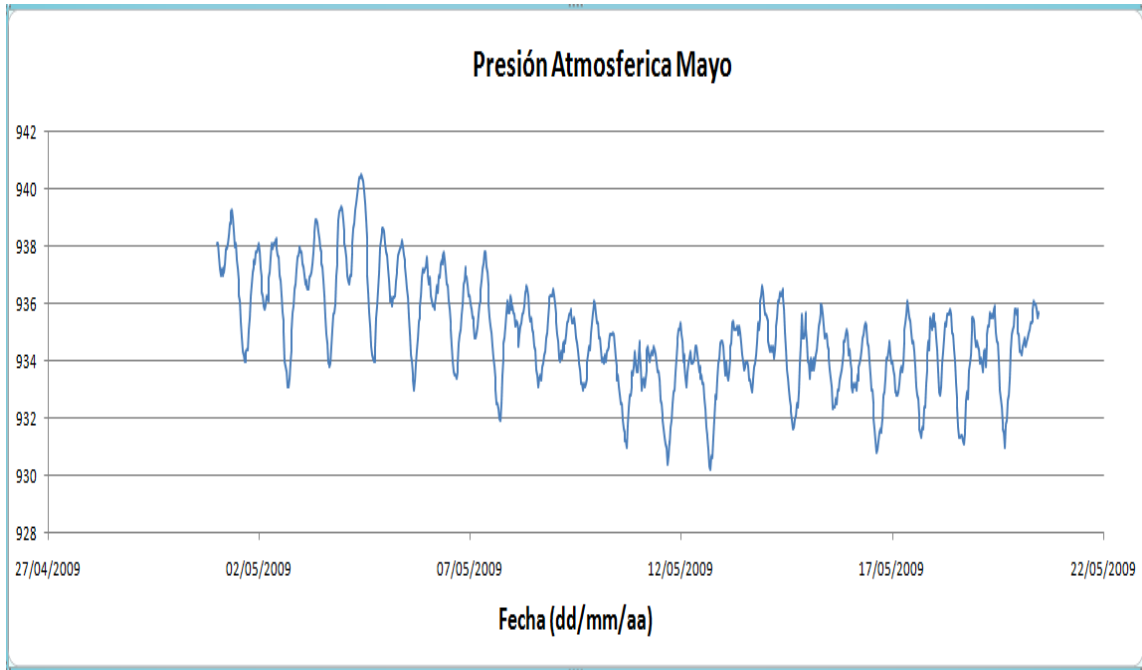
Anexo B1 Presión atmosférica Marzo



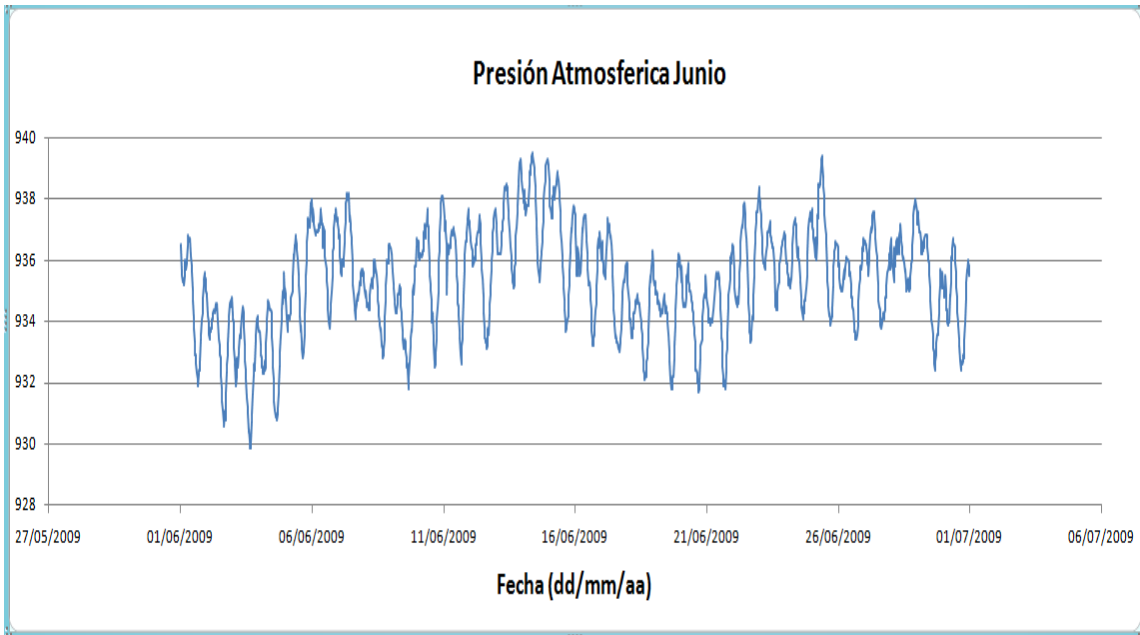
Anexo B2 Presión atmosférica Abril



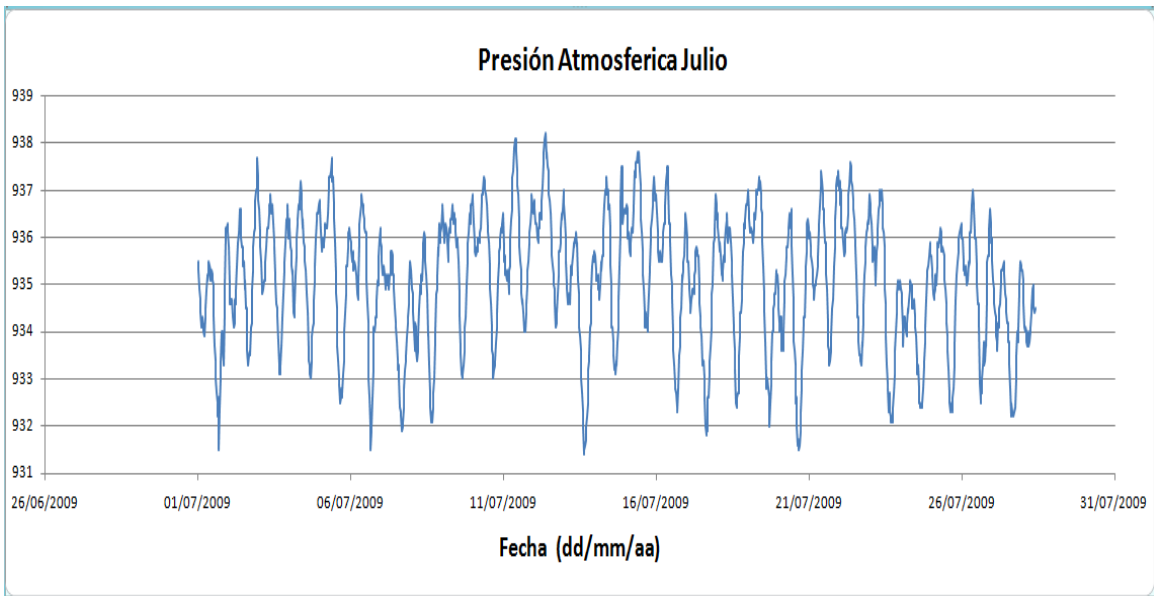
Anexo B3 Presión atmosférica Mayo



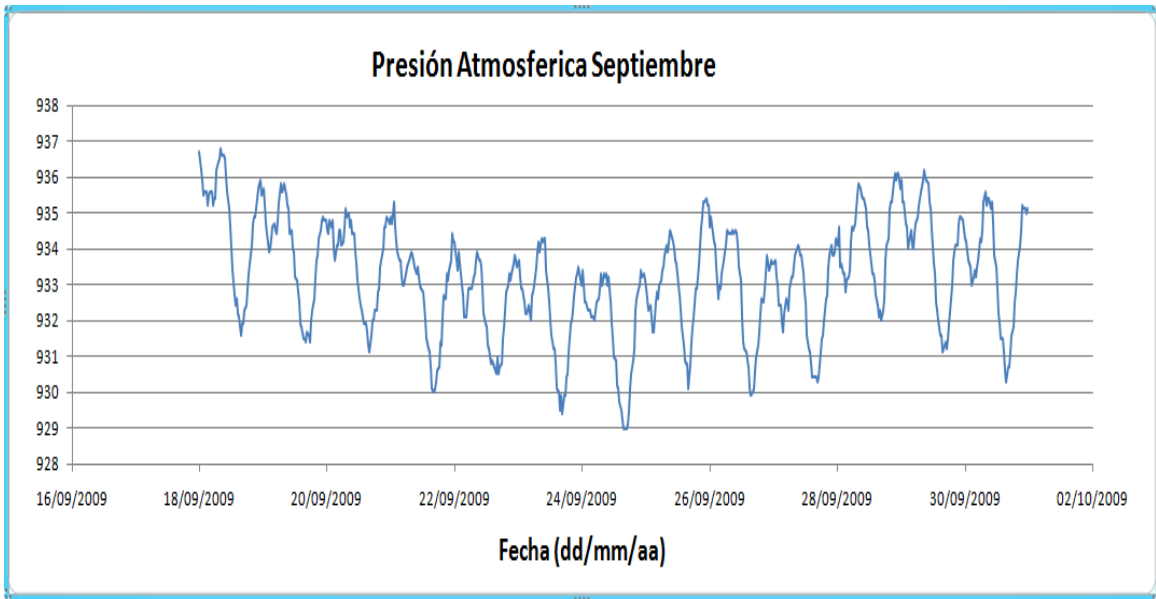
Anexo B4 Presión atmosférica Junio



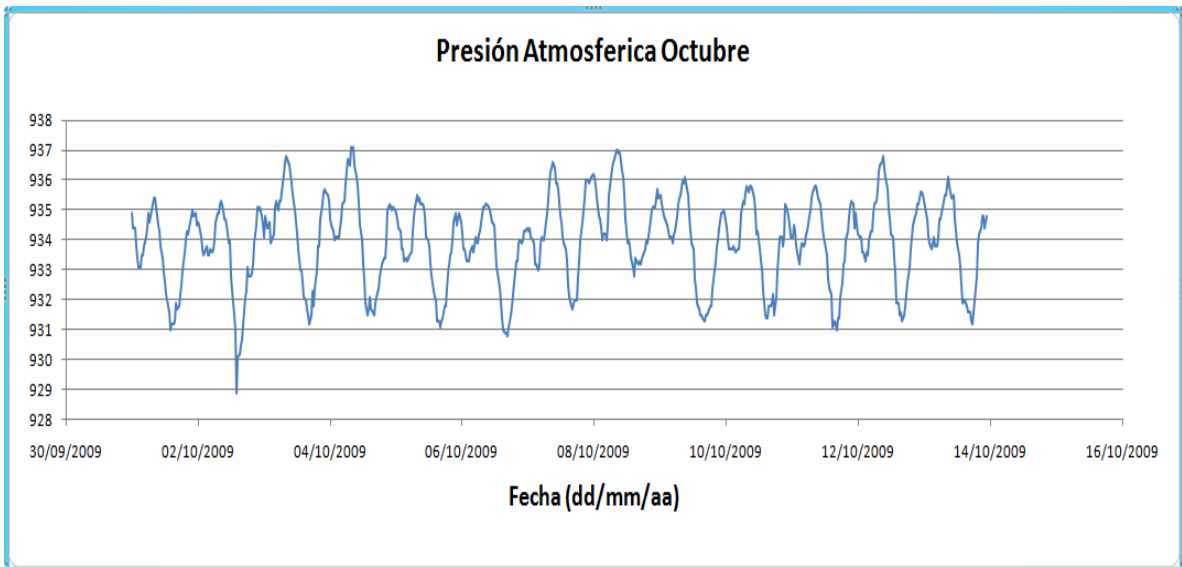
Anexo B5 Presión atmosférica Julio



Anexo B6 Presión atmosférica Septiembre



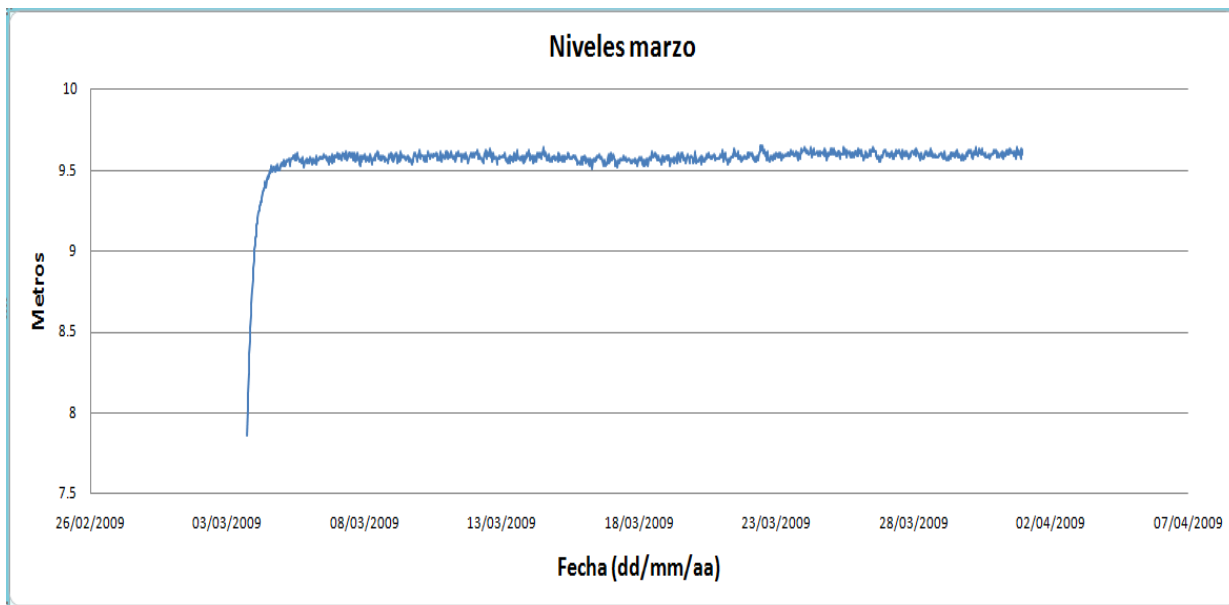
Anexo B7 Presión atmosférica Octubre



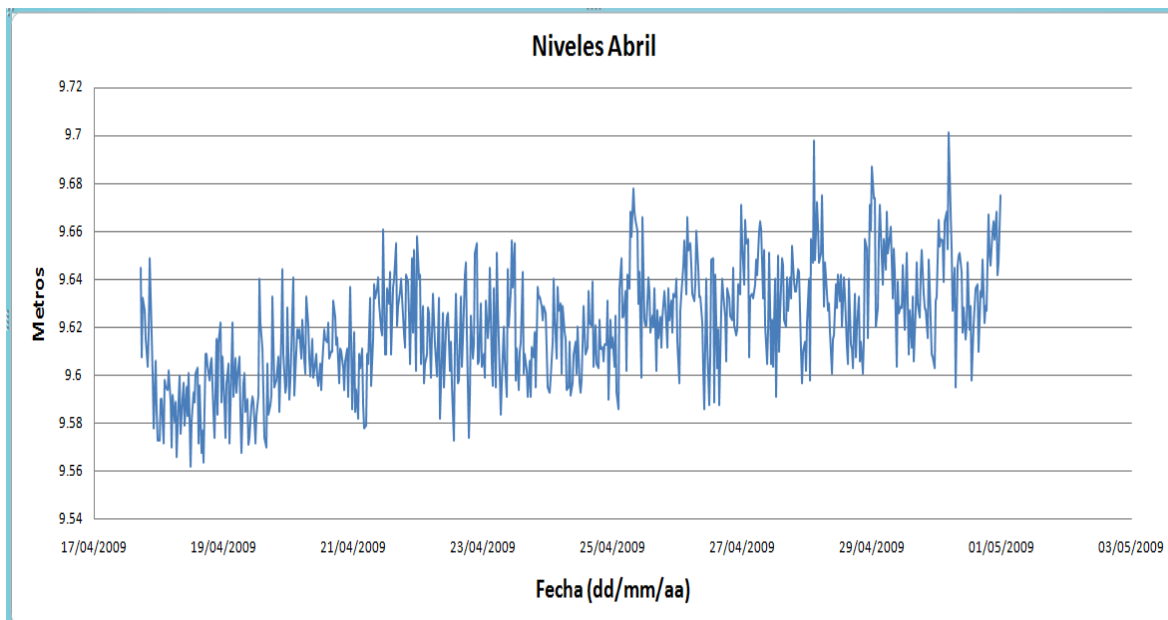
ANEXO C

**REGISTROS DE NIVELES
MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009**

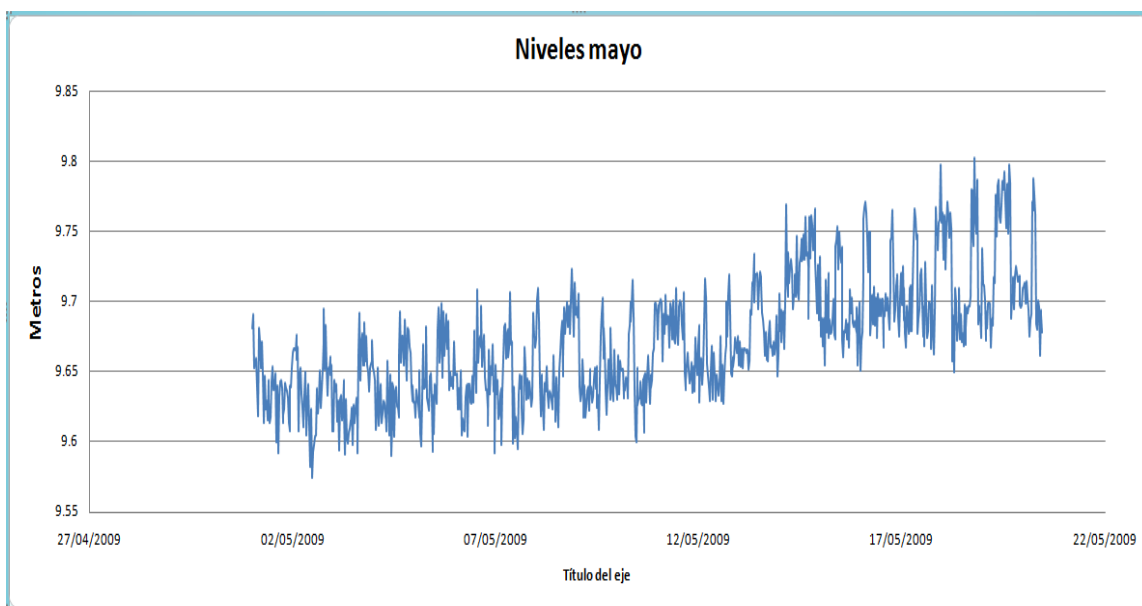
Anexo C1 Niveles de Agua Marzo



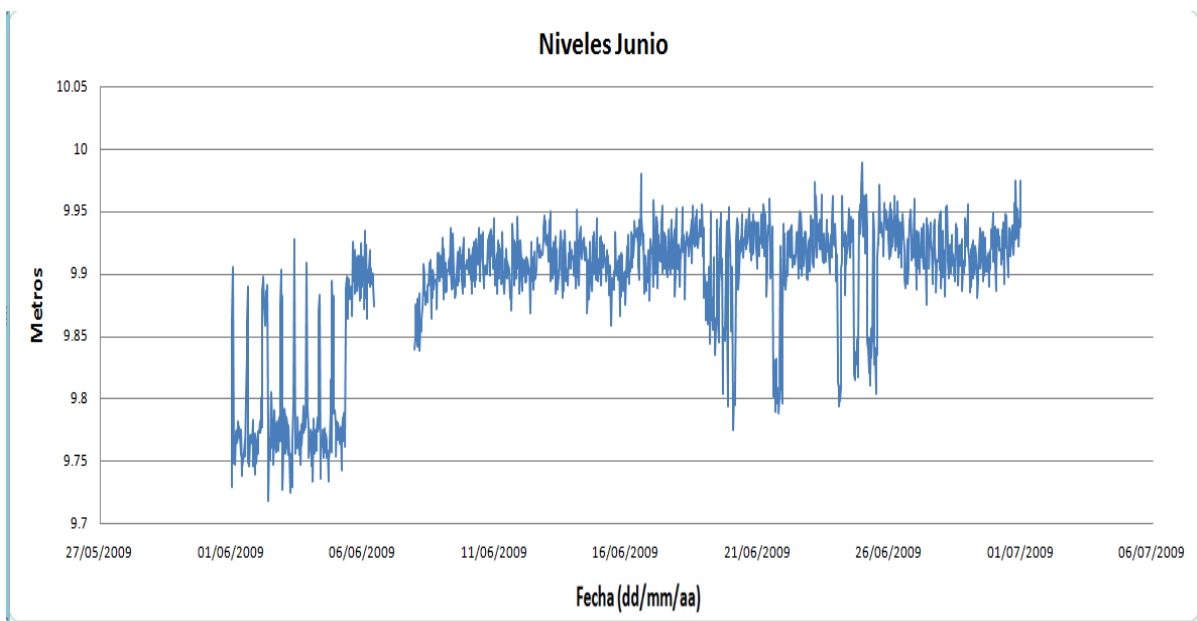
Anexo C2 Niveles de Agua Abril



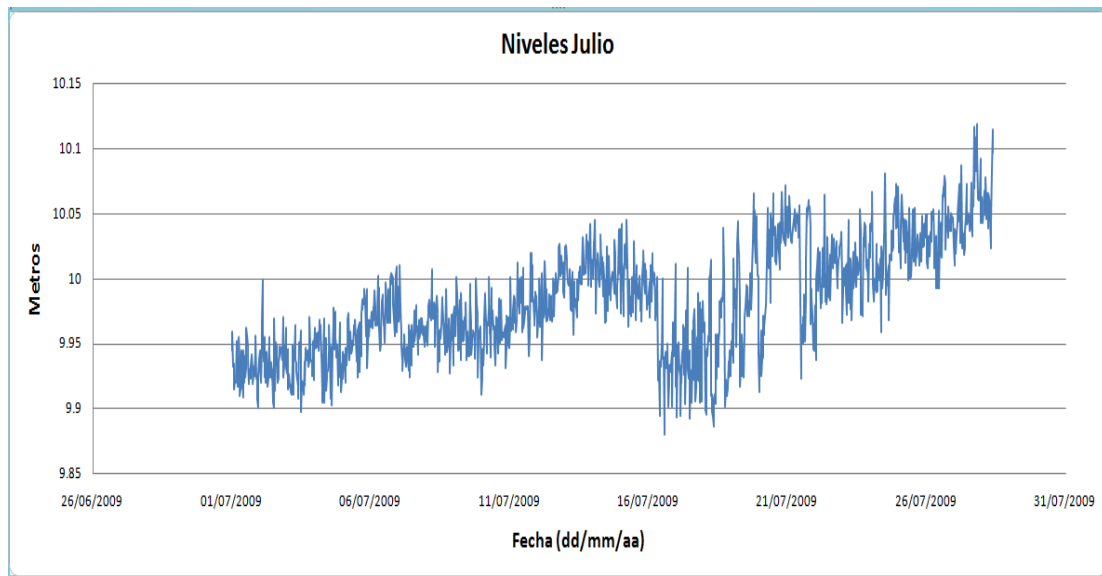
Anexo C3 Niveles de Agua Mayo



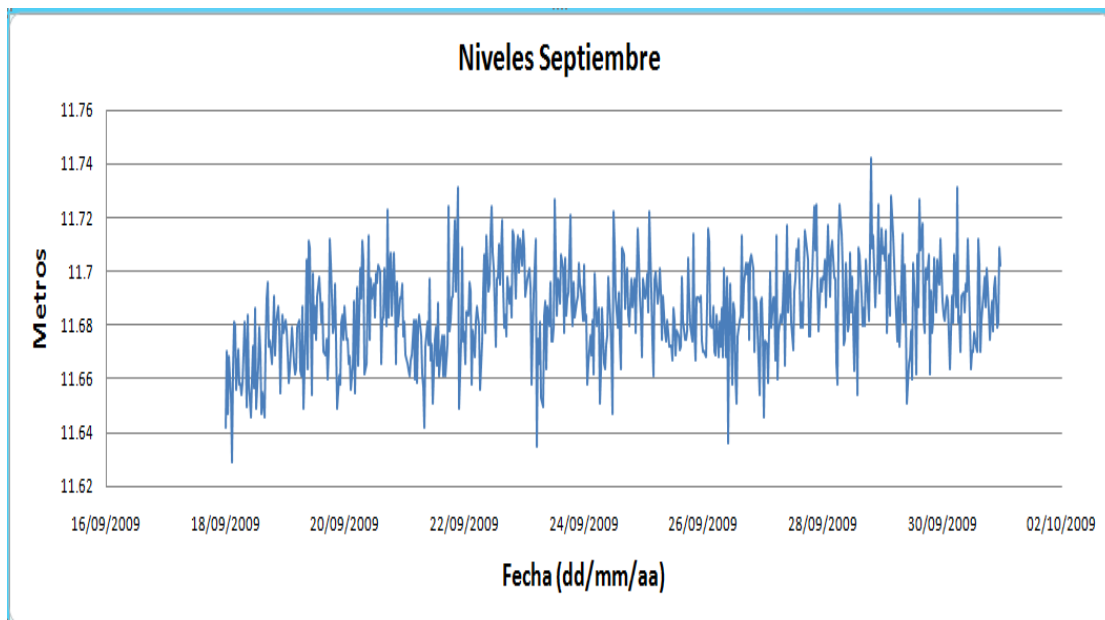
Anexo C4 Niveles de Agua Junio



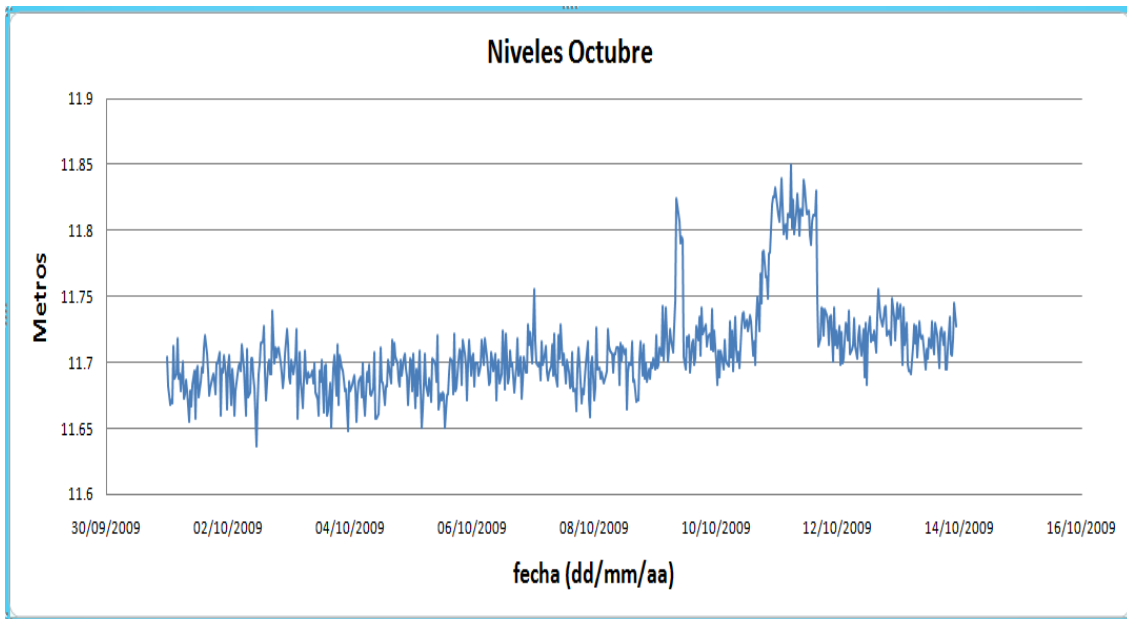
Anexo C5 Niveles de Agua Julio



Anexo C6 Niveles de Agua Septiembre



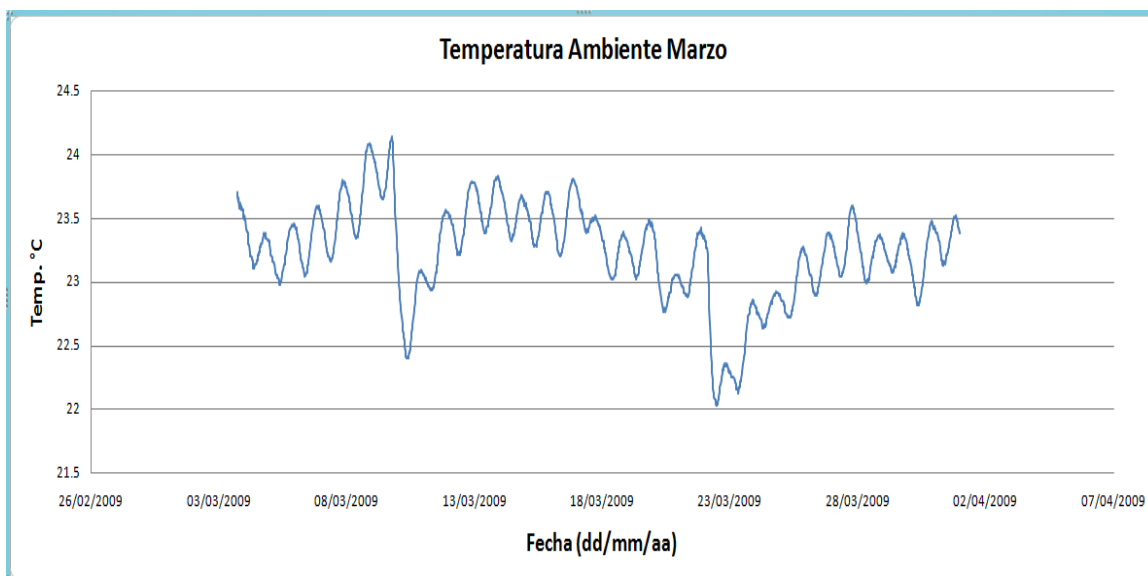
Anexo C7 Niveles de Agua Octubre



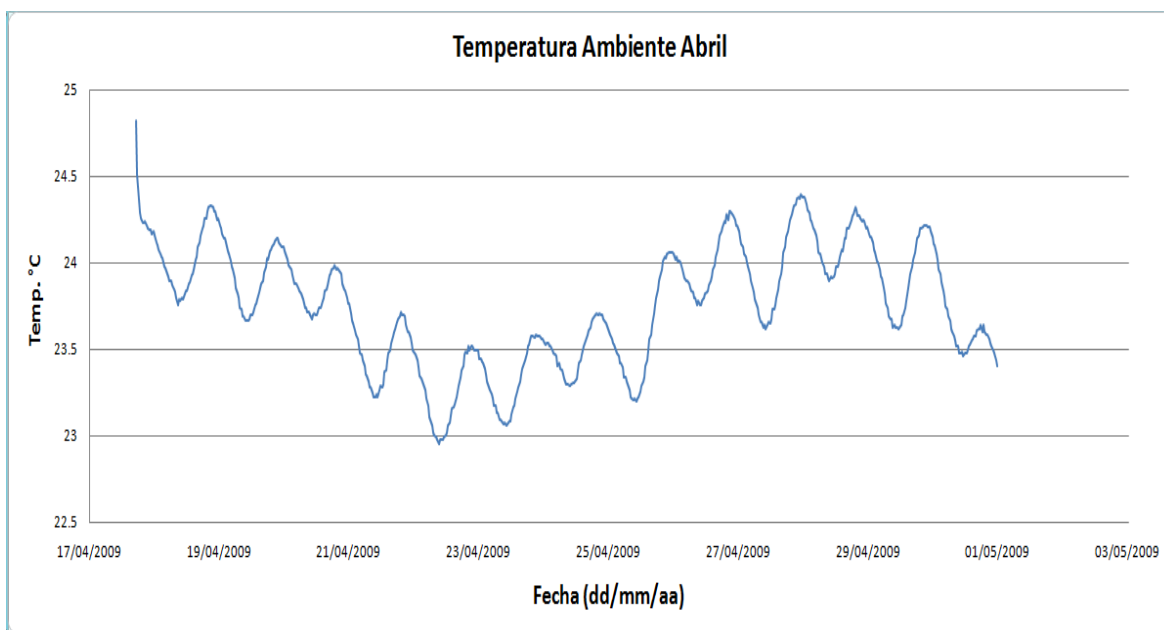
ANEXO D

**REGISTROS DE TEMPERATURA AMBIENTE
MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009**

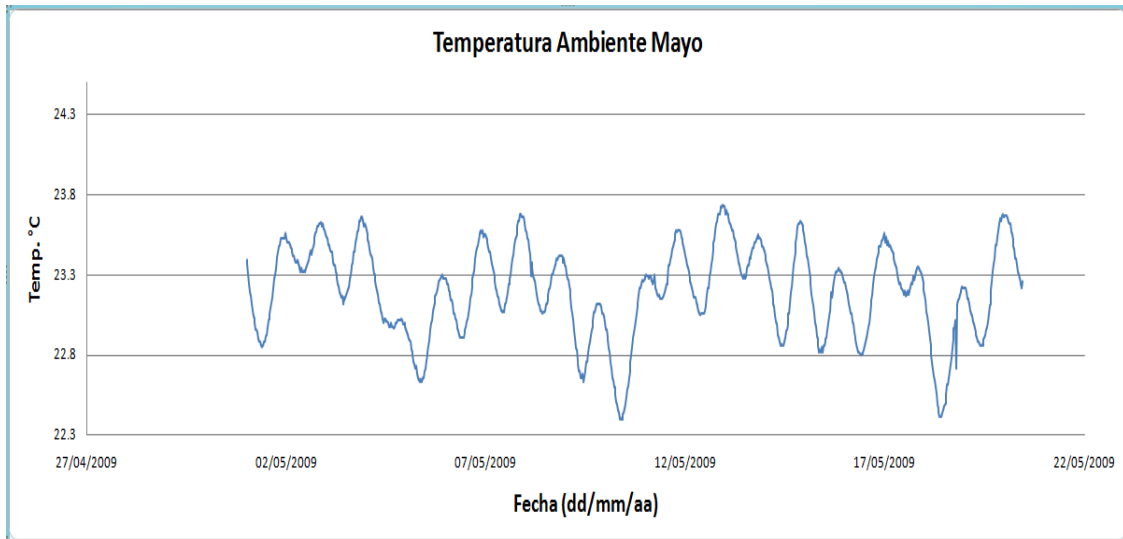
Anexo D1 Temperatura Ambiente Marzo



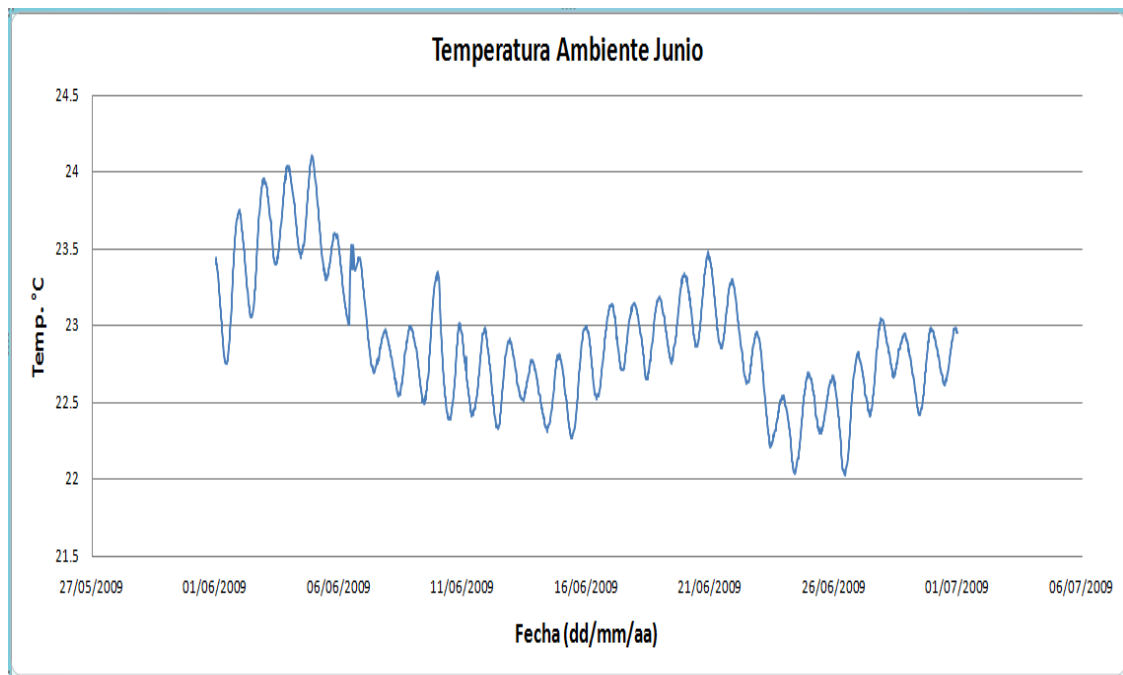
Anexo D2 Temperatura Ambiente Abril



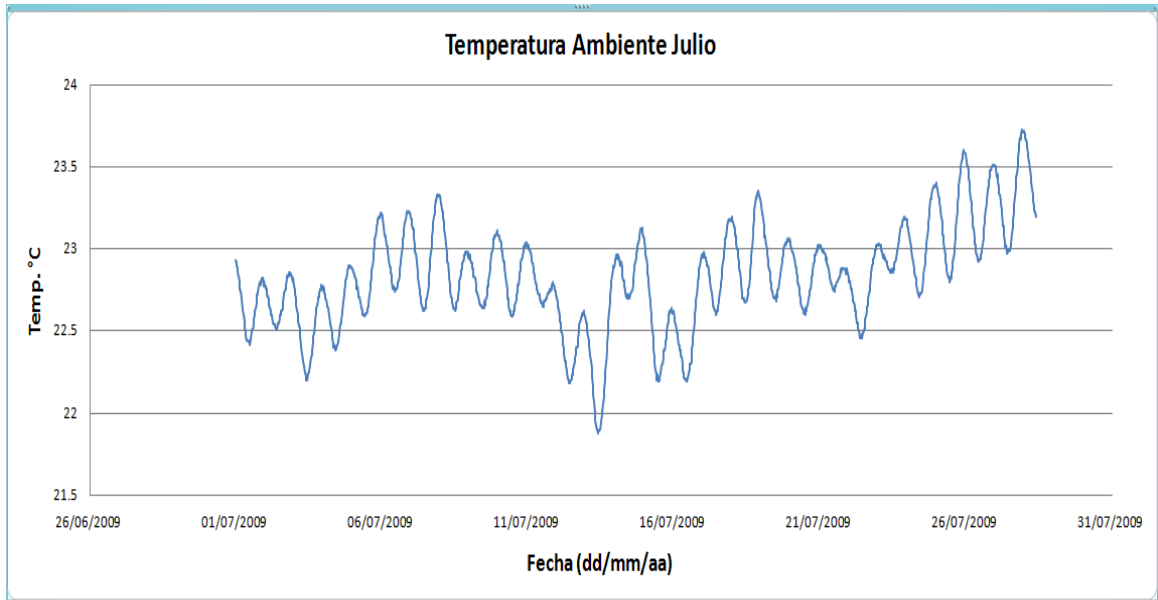
Anexo D3 Temperatura Ambiente Mayo



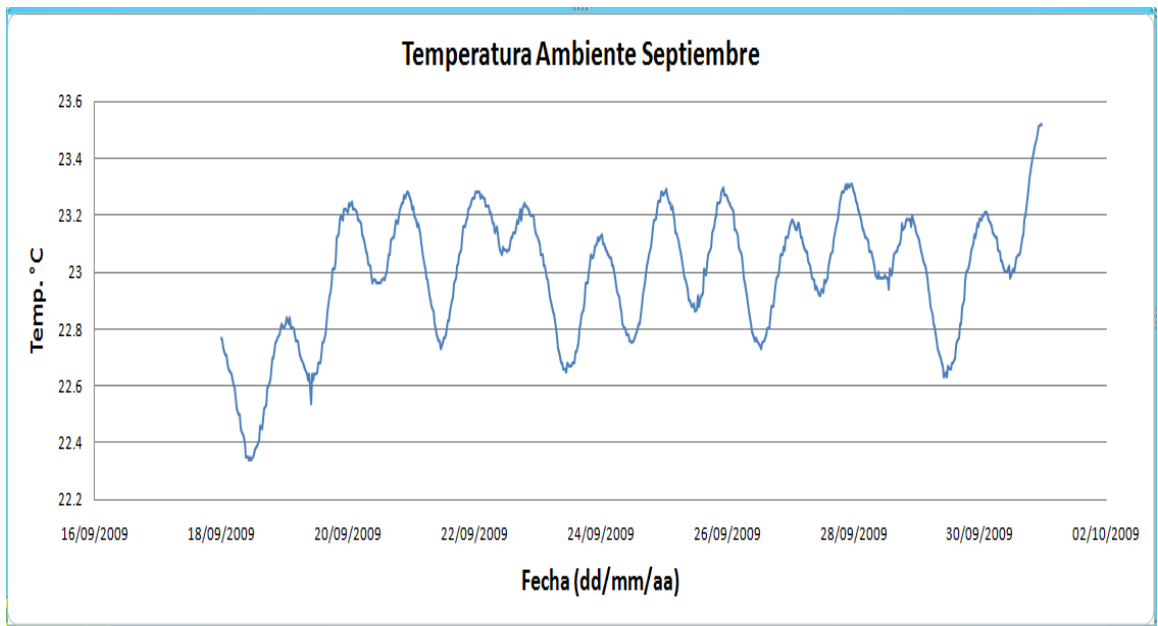
Anexo D4 Temperatura Ambiente Junio



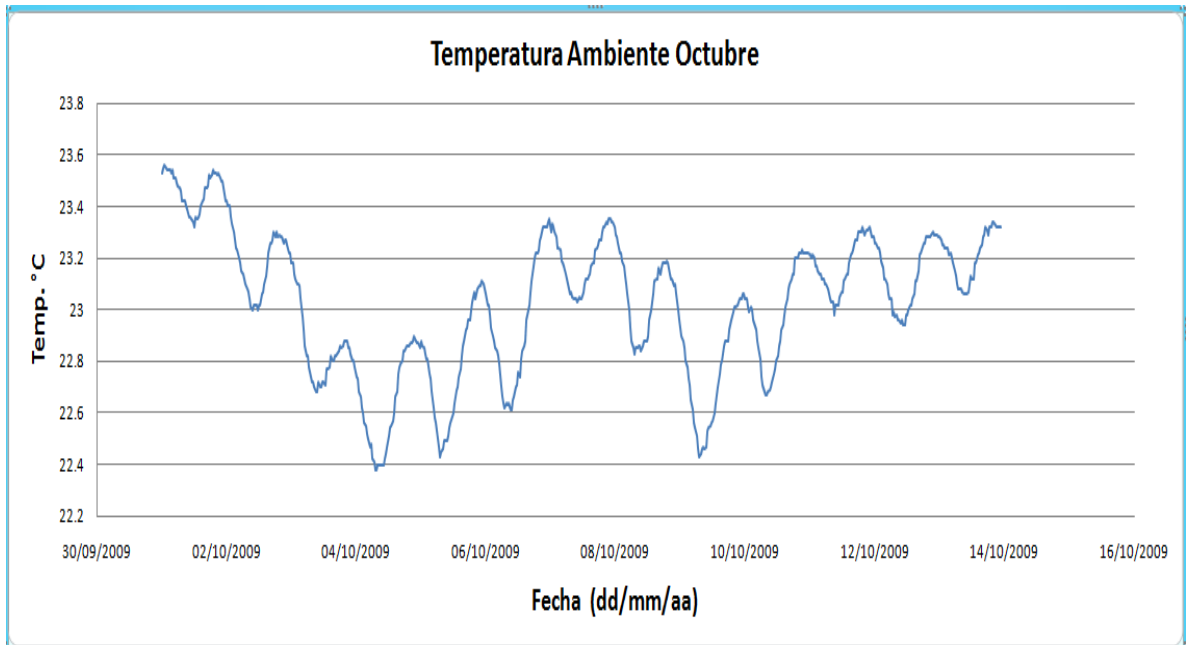
Anexo D5 Temperatura Ambiente Julio



Anexo D6 Temperatura Ambiente Septiembre



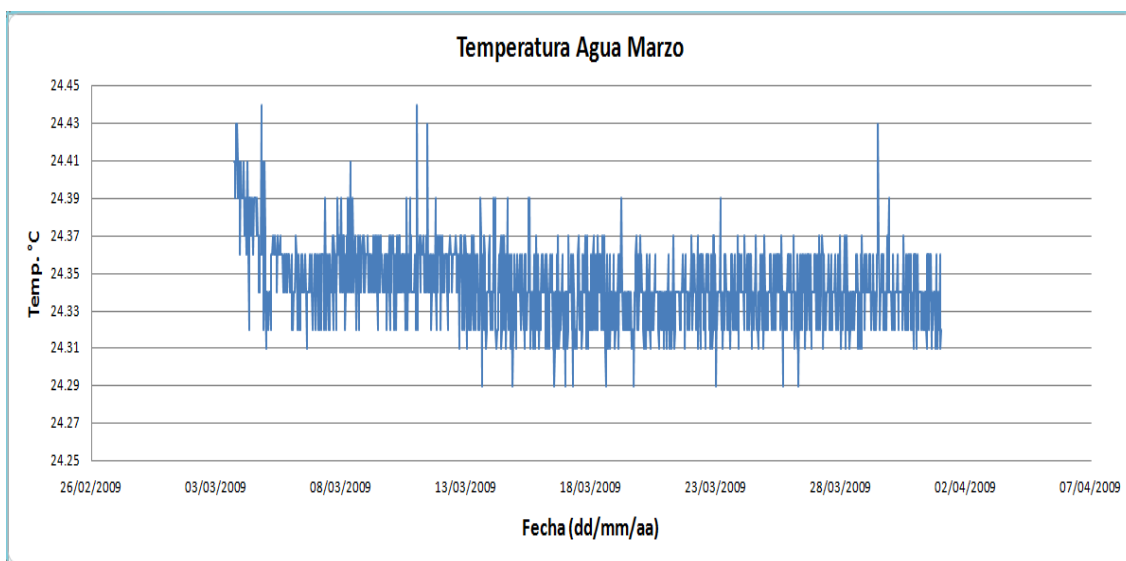
Anexo D7 Temperatura Ambiente Octubre



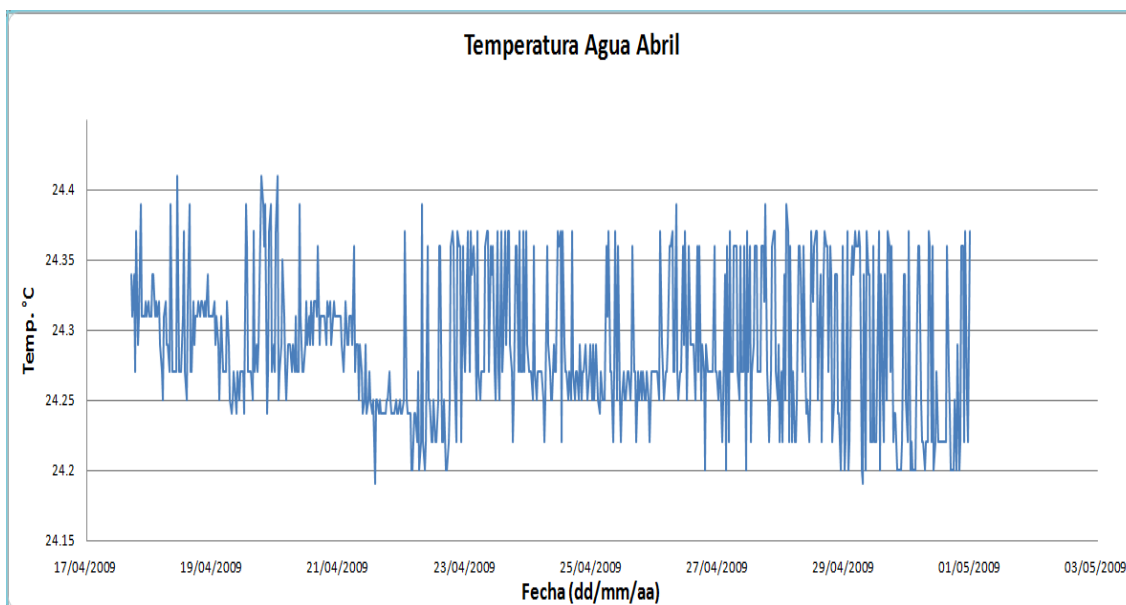
ANEXO E

**REGISTROS DE TEMPERATURA DEL AGUA
MARZO DE 2009 A OCTUBRE DE 2009**

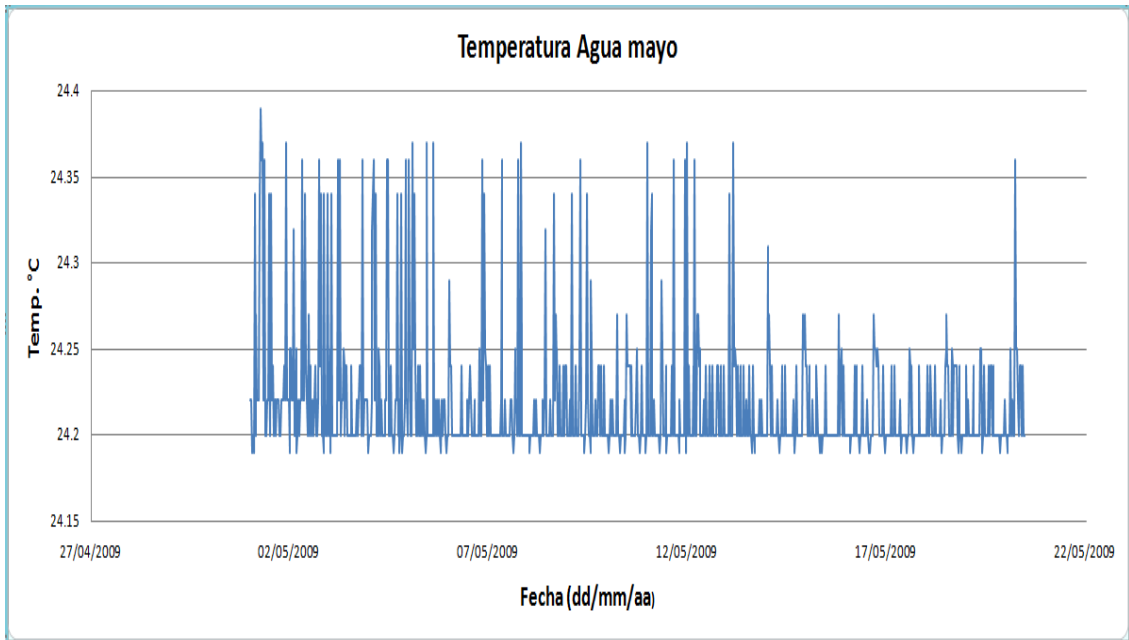
Anexo E1 Temperatura del Agua Marzo



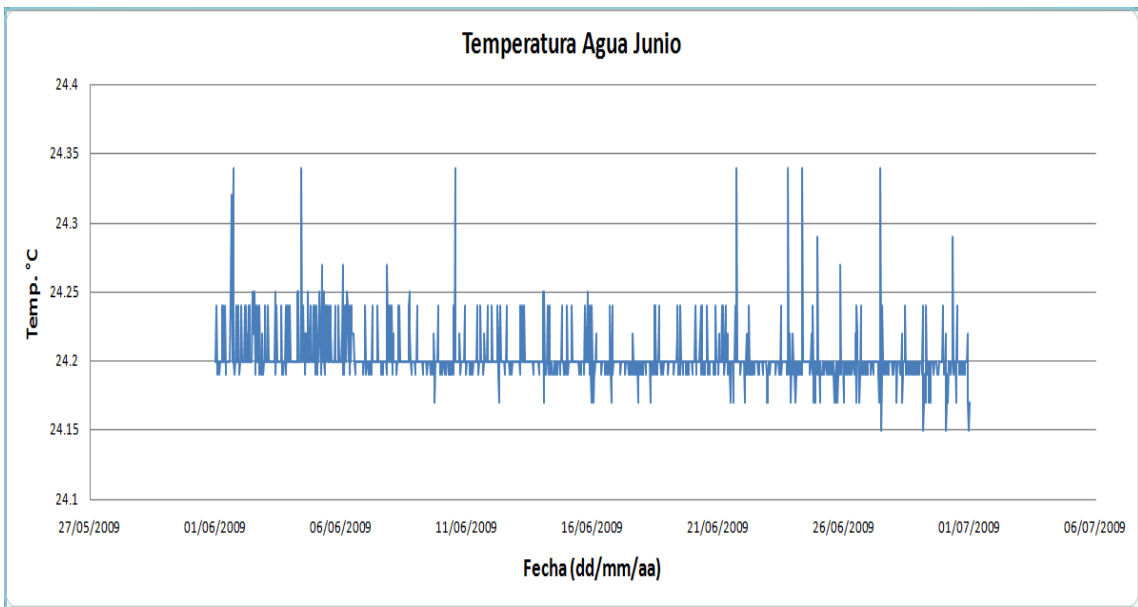
Anexo E2 Temperatura del Agua Abril



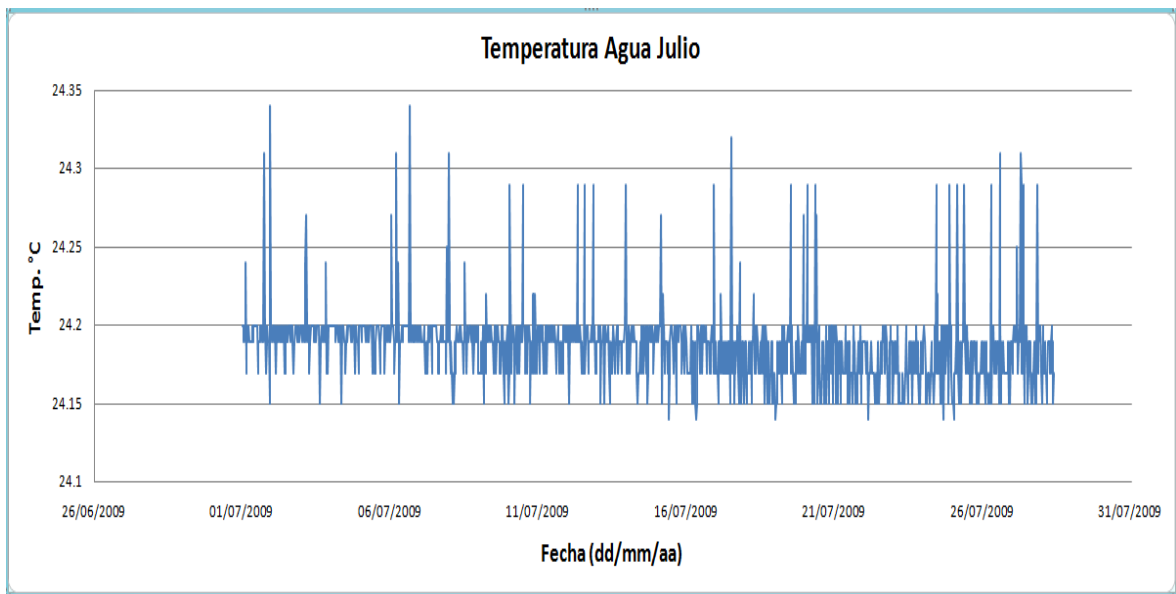
Anexo E3 Temperatura del Agua Mayo



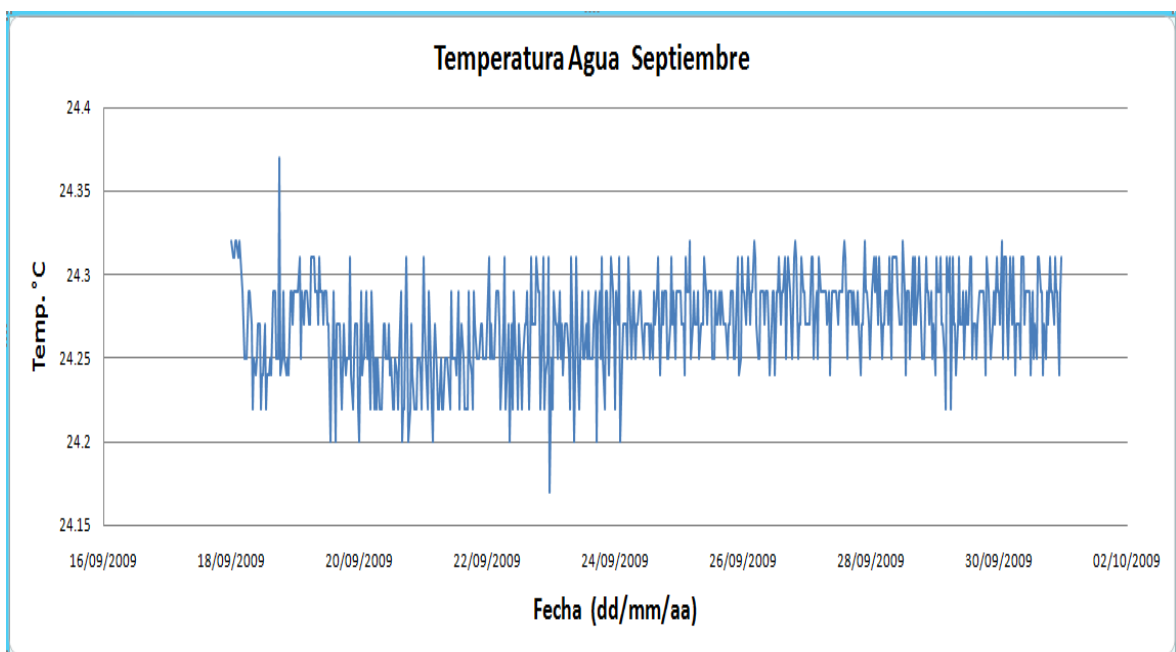
Anexo E4 Temperatura del Agua Junio



Anexo E5 Temperatura del Agua Julio



Anexo E6 Temperatura del Agua Septiembre



Anexo E7 Temperatura del Agua Octubre

