

**CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DE UN CTD DIVER EN LA ESTACIÓN  
HIDROMÉTRICA AUTOMÁTICA DEL RÍO DE ORO**

**JOHN JAIRO AGULAR ARDILA**

**CRISTIAN RICARDO CABALLERO RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

**CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DE UN CTD DIVER EN LA ESTACIÓN  
HIDROMÉTRICA AUTOMÁTICA DEL RÍO DE ORO**

**JOHN JAIRO AGUILAR ARDILA  
CRISTIAN RICARDO CABALLERO RAMIREZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil

**Directora:  
PhD. Sully Gómez Isidro**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y su Escuela de Ingeniería Civil, en la cual con mucho esfuerzo y dedicación nos formaron como ingenieros.

Al grupo de predicción y modelamiento hidroclimático (GPH), donde nos brindaron las herramientas necesarias para el desarrollo de nuestro proyecto.

A la profesora Sully Gómez Isidro, quien siempre nos apoyó y colaboró en nuestro trabajo.

A la Piedecuestana de Servicios Públicos, por su oportuna colaboración para el trabajo realizado en campo.

## *DEDICATORIA*

*Especialmente a Dios, por ser mi Dios, mi padre y mi amigo,*

*A mis padres Ana Jesús Ardila y Jairo Aguilar, por todo su amor y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, y que con gran esfuerzo me brindaron lo necesario para sacar adelante mis estudios*

*A mis hermanos, que han sido mi ayuda siempre.*

*A todos mis amigos por brindarme siempre su apoyo*

*A mi familia porque siempre creyeron en mi*

*GRACIAS DIOS*

*John Jairo Aguilar Ardila*

## DEDICATORIA

*Especialmente a Dios, por darme la vida y todo lo que soy*

*A Elda María mi madre y Alirio mi padre, por su amor incondicional y por confiar siempre en mí, los cuales son el motor que mueven mi vida y que con gran esfuerzo me brindaron todo para sacar adelante mis estudios*

*A Carlos y Claudia mis hermanos quienes siempre me dieron palabras de aliento para continuar con mi objetivo*

*A Alba mi tía y Humberto su esposo los cuales me brindaron su ayuda incondicional desde que inicié mi carrera*

*A Saira quien siempre estuvo a mi lado para apoyarme y alegrarme la vida*

*A mi familia que siempre creyó en mí y me brindaron su apoyo*

*A todos mis amigos quienes siempre confiaron en mí*

*Cristian Caballero*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
<b>1. ESTACIÓN HIDROMÉTRICA AUTOMÁTICA DEL RÍO DE ORO.....</b>	<b>20</b>
<b>1.1 UBICACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 COMPONENTES.....</b>	<b>21</b>
1.2.1 Diver, Baro Diver, CTD Diver .....	21
1.2.2 Tubo Limnimétrico.....	24
1.2.3 USB Diver Reading .....	25
<b>2. SOFTWARE DIVER OFFICE.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. INTERFAZ DEL PROGRAMA.....</b>	<b>26</b>
2.1.1. Instalación del Diver office.....	26
2.1.1 Pantalla principal .....	27
<b>2.2. LECTURA Y DESCARGA DE LOS DATOS .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3. LA COMPENSACIÓN DE LOS DATOS .....</b>	<b>29</b>
<b>3 CALIBRACIÓN DEL CTD DIVER .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. PROCESO DE CALIBRACIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. HISTORIAL DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>4 PRUEBAS EN LABORATORIO .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN REGISTRADA EN LOS EQUIPOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 INFLUENCIA DE LOS MSNM EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS EQUIPOS..</b>	<b>43</b>
<b>4.3 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DEL AGUA EN LA PRESIÓN REGISTRADA     POR LOS DIVER'S.....</b>	<b>45</b>
<b>4.4 CONDUCTIVIDAD.....</b>	<b>46</b>
<b>5. CURVA DE CALIBRACION.....</b>	<b>50</b>
<b>6. ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>6.1 TEMPERATURA.....</b>	<b>54</b>
6.1.1 Temperatura ambiente:.....	54
6.1.2. Temperatura de agua: .....	55
<b>6.2 PRESIÓN.....</b>	<b>56</b>

6.2.1. La presión atmosférica.....	56
6.3. PRESIÓN ABSOLUTA.....	59
6.4. CONDUCTIVIDAD .....	61
6.5. NIVELES.....	64
6.6. CAUDALES.....	64
6.7. RECESIÓN EN EL RÍO DE ORO.....	66
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA .....	73
ANEXOS .....	74

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Componentes de la estación .....	23
Ilustración 2: Punto de medición de los Diver's.....	24
Ilustración 3: Interfaz del Diver office .....	27
Ilustración 4: pantalla principal del Diver office .....	28
Ilustración 5: Ventana de ajustes del Diver.....	29
Ilustración 6: verificación de componentes .....	30
Ilustración 7: Asignación del Baro .....	31
Ilustración 8: Selección del Baro y el Diver.....	31
Ilustración 9: Compensación barométrica .....	32
Ilustración 10: ventana de calibración.....	34
Ilustración 11: Mensaje del proceso de calibración .....	35
Ilustración 12: Opciones de calibración .....	36
Ilustración 13: Historial de calibración del CTD Diver .....	37
Ilustración 14: Esquema de ubicación de los equipos .....	39
Ilustración 15: Instalación de los equipos en laboratorio .....	39
Ilustración 16: Diver y CTD Diver sumergidos.....	41
Ilustración 17 Agua con partículas de suelo suspendidas.....	46
Ilustración 18: Tubo limnimétrico .....	55
Ilustración 19 conductividad en agua de grifo .....	64

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1: Variaciones de presiones en los equipos .....	40
Gráfica 2: Presión barométrica RÍO DE ORO vs tiempo .....	41
Gráfica 3: Altura real y altura leída por el Diver .....	42
Gráfica 4: Altura real y altura leída por el CTD Diver .....	43
Gráfica 5: Variación de presión del Diver cambiando msnm en su programación. ....	44
Gráfica 6: Variación de presión del CTD Diver cambiando msnm en su programación .....	45
Gráfica 7: Curva de calibración.....	52
Gráfica 8: Variación de la temperatura ambiente durante el día .....	54
Gráfica 9: Variación de la temperatura del agua en el día .....	56
Gráfica 10: Presión barométrica vs tiempo .....	57
Gráfica 11: Comparación de presiones .....	57
Gráfica 12: Variación de la presión barométrica en un día .....	58
Gráfica 13: Variación de la presión barométrica en un mes .....	59
Gráfica 14: Variación de la presión absoluta con el tiempo .....	60
Gráfica 15 Caudales y temperatura del agua.....	60
Gráfica 16 Comparación de conductividades y caudal.....	61
Gráfica 17 variación de caudal y conductividad vs tiempo (tiempo de poca lluvia) .....	62
Gráfica 18 variación de caudal y conductividad vs tiempo (tiempo de lluvia) .....	63
<b>Gráfica 19</b> Comportamiento de la conductividad en un Evento.....	63
Gráfica 20: Eventos de lluvia en el 2009 .....	65
Gráfica 21: Caudales medios diarios 2009-2010 .....	66
Gráfica 22 recesión en el Río de Oro.....	68

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 datos de conductividad, día 18 de diciembre de 2009 .....	47
Tabla 2 Error en la conductividad medida por el CTD Diver.....	48
Tabla 3: Datos curva de calibración existente.....	50
Tabla 4: Calculo de caudales aplicando las dos ecuaciones.....	51
Tabla 5: Nueva curva de calibración.....	52
Tabla 6: Caudales medios diarios de noviembre a marzo 2010 .....	66

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Variación mes a mes de caudales mes a mes del 11 de febrero de 2009 al 27 de junio de 2010. ....	75
Anexo B: Variación mes a mes de la temperatura ambiente y del agua. ....	84
Anexo C: Variación mes a mes del caudal y la conductividad. ....	101
Anexo D: Soluciones de comunicación y vigilancia para aguas subterráneas Diver/e-SENSE. ....	105

## RESUMEN

**TITULO:**

**CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DE UN CTD DIVER EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA AUTOMÁTICA DEL RÍO DE ORO.**

**AUTOR:**

JOHN JAIRO AGUILAR ARDILA, CRISTIAN RICARDO CABALLERO RAMIREZ.

**PALABRAS CLAVES:**

Estación Hidrométrica Automática, Diver, Baro Diver, CTD Diver, Diver office, Curva de Calibración, Curva maestra de recesión.

**DESCRIPCIÓN:**

En el río de Oro se estudian parámetros hidrológicos como la temperatura, presión atmosférica, conductividad, niveles y caudales. El municipio de Piedecuesta se surte de la aguas de este río, este servicio es prestado por la Empresa Piedecuestana de Servicios, debido a esto se hace importante el estudio del río para conocer su comportamiento y brindar un servicio de calidad.

La estación Hidrométrica Automática del Río de Oro fue construida en el año 2006 (proyecto de grado Díaz & Rincón, 2006), luego fue monitoreada por los proyectos de grado (Saltarín & Hernández, 2007), (Flórez & Rueda, 2008) y desde febrero de 2009 por los autores del presente proyecto de grado, esta estación consta de equipos capaces de registrar de forma continua los parámetros mencionados anteriormente, los equipos son CTD Diver, Diver y Baro Diver, los cuales miden conductividad, temperatura, presión absoluta y atmosférica.

Para verificar la exactitud de las medidas de los equipos se realizó una fase experimental en laboratorio donde se hizo la calibración del CTD Diver y se analizaron todas las posibles variables que inciden en el comportamiento de los Diver's y se calcularon sus respectivos errores.

El CTD Diver se instaló en la estación desde diciembre de 2009 y a mediados de noviembre hasta mediados de marzo se hicieron 4 aforos para dar confiabilidad a la curva de calibración en épocas de sequia, ya que se bajo el error de un 27.93 % a 9.46%. Y por ultimo para esta misma temporada se calculó la curva maestra de recesión del río.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Gómez Isidro, Sully, Codirector: Forero, Juan Carlos.

## ABSTRACT

**TITLE:**

CALIBRATION AND INSTALLATION OF A DIVER IN CTD AUTO hydrometric station RIVER OF GOLD.

**AUTHOR:**

JOHN JAIRO ARDILA AGUILAR, CRISTIAN RAMIREZ RICARDO CABALLERO.

**KEYWORDS:**

Automatic gauging station, Diver, Barodiver, CTD Diver, Diver office, Calibration Curve, Curve Master of recession.

**DESCRIPTION:**

In the Río de Oro, hydrological parameters are studied such as temperature, atmospheric pressure, conductivity, levels and flows. This river supplies water to Piedecuesta, this service is provided by the Empresa Piedecuestana de Servicios; because of that fact it is important to study the river to understand its behavior and provide a quality service.

Hydrometric station Automatic Gold River was built in 2006 (Graduation project's Díaz & Rincón, 2006), then it was monitored by graduation project (Jumping & Hernández, 2007) (Flórez & Rueda, 2008) and from February 2009 by the authors of this graduation grade. This station has equipment capable of recording continuously the above parameters. The equipments are CTD Diver, Baro Diver and Diver, which measure conductivity, temperature, absolute pressure and atmospheric .

To verify the accuracy of measurements of the equipments, it was made an experimental phase in the laboratory in which the Diver CTD was calibrated, and it was analyzed all the possible variables that affect the behavior of the Diver's and their respective errors were calculated.

The CTD Diver was installed on the station since December 2009, and between November and March 4 appraisals were made to give confidence to the calibration curve at times of drought, since it lowered the error from 27.93% to 9.46%. And finally, for this season was calculated curve of the River Master of recession.

---

\* Project

\*\* UIS Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering,  
Director: Gómez Isidro, Sully, Codirector: Forero, Juan Carlos

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las aguas superficiales es de sumo interés para las empresas encargadas del suministro de agua a la población. El Río de ORO tema de este trabajo, es la fuente de agua que la empresa PIEDECUESTANA DE SERVICIOS utiliza para abastecer de este preciado líquido a los habitantes de Piedecuesta.

Para este estudio del río se dispuso de equipos que permiten medir la presión y la conductividad, estos equipos fueron instalados en proyectos anteriores y monitoreados por un tiempo, estimando una curva de calibración que permite relacionar la altura del río en donde se encuentran los instrumentos, con el caudal que pasa por el río en ese momento. A esta curva de calibración se le añaden algunos puntos por medio de aforos del río, para mejorarla y poder obtener resultados con mayor precisión al aplicar la ecuación.

Conociendo el comportamiento del caudal del río ante diferentes épocas (invierno, verano), se podrán implementar medidas en periodos de sequia para garantizar un suministro permanente a la población y así ofrecer un servicio de calidad. Esto puede llegar a estimarse estableciendo una curva de recesión del río, con la cual podemos hallar el tiempo necesario para que el caudal del río descienda a cierto punto en el que el suministro de agua se vea afectado por la escasez. También conociendo estos mismos caudales, se puede llegar a plantear un sistema que ayude a anunciar una posible inundación.

La conductividad 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. Por esto, es importante saber el comportamiento de la conductividad del agua en el río para diferentes

caudales y establecer una relación entre el caudal del río y la conductividad (calidad) del agua. 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.

## **1. ESTACIÓN HIDROMÉTRICA AUTOMÁTICA DEL RÍO DE ORO**

Esta estación fue construida en el año 2006 en un proyecto de grado realizado por los estudiantes Díaz & Rincón, y por medio de un convenio entre la UIS y la Empresa PIEDECUESTANA DE SERVICIOS. Monitoreada en el año 2007 por un nuevo proyecto de grado ejecutado por los estudiantes Saltarín & Hernández.

Durante el periodo comprendido entre Agosto de 2007 y octubre de 2008 la estación no estuvo en funcionamiento debido a la terminación del proyecto anterior, después de octubre de 2008 y hasta enero de 2009 los medidores de presión fueron instalados nuevamente en el proyecto efectuado por Flórez & Rueda en ese año.

Estos proyectos anteriores se dedicaron a estudiar parámetros como la temperatura, presión atmosférica, presión absoluta (datos registrados por los medidores de presión), también midieron caudales con el ADV flow tracker, y, utilizando estos datos se creó la curva de calibración que relaciona la altura del nivel de agua con el caudal del río.

Desde febrero del 2009 la estación ha venido siendo monitoreada por John Jairo Aguilar y Cristián Ricardo Caballero estudiantes de ingeniería civil, pertenecientes al grupo de investigación GPH. (Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático), autores de la presente propuesta.

### **1.1 UBICACIÓN**

La estación se encuentra ubicada en el río de oro, en una sub cuenca al sur de la cuenca superior del río Lebrija. El río de oro nace aproximadamente a 3500 msnm, y es considerado un río de montaña (Sus vertientes son pronunciadas y están conformadas por materiales que se erosionan con facilidad). Este río pasa por los municipios de Piedecuesta y Girón.

La empresa de acueducto del municipio de Piedecuesta (LA PIEDECUESTANA) se abastece de agua de este río, la bocatoma de dicho acueducto se encuentra aguas abajo de la estación, aproximadamente a 100m, dicha captación está a una altura de 1090msnm.

La estación se encuentra a una altura de aproximadamente 1105 msnm y unas coordenadas de 6°59'41.36" N; 73°02'10.91" O (proyecto de grado Flórez & Rueda 2008), la sección de aforo se encuentra aproximadamente a 40m aguas abajo de allí.

## **1.2 COMPONENTES**

En la estación hidrométrica automática del río de Oro encontramos equipos que nos permiten el registro de presión relativa, presión absoluta, temperatura y actualmente también registra la conductividad del agua. Estos parámetros son registrados por los siguientes dispositivos:

### **1.2.1 Diver, Baro Diver, CTD Diver**

#### **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.

Es importante que haya suficiente circulación alrededor de los sensores del Diver. Los flujos de agua evitan que la tubería se obstruya con sedimentos y aseguran que el Diver realmente mida el agua circundante en lugar del agua estancada en el pozo de monitoreo mismo.

El Diver que se usó para la toma de datos es el DI241, con un rango de medición en la altura de agua de 10 m H<sub>2</sub>O y una precisión promedio de 14 cm (1.56 %) H<sub>2</sub>O (dato de laboratorio) aunque en catalogo habla de una aproximación de 1%.

**Baro Diver** equipo utilizado para medir la presión atmosférica o también llamada presión barométrica para posteriormente hacer la compensación con el Diver y así obtener la altura de agua. También registra la temperatura del ambiente.

El Baro Diver usado es el DI250.

**CTD-Diver** Además de medir la temperatura y los niveles de agua, el CTD-Diver también mide la conductividad eléctrica del agua en milisiemens 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.

Con este equipo no es necesario de mantener un Diver en el río, debido a que el CTD Diver también registra la presión absoluta, pero ya que la curva de calibración fue diseñada con los datos del Diver y como veremos más adelante el Diver y el CTD Diver no proporcionan los mismos resultados por su respectivo error, se han utilizado los dos equipo.

Vale aclarar que la curva de calibración se puede ajustar para utilizarla con el CTD Diver, pero, como el CTD Diver fue puesto tiempo después hay pocos aforos para enriquecer la curva, por lo cual es recomendable tomar más datos antes de retirar el Diver de la estación.

El CTD Diver usado es el DI263 este con un rango de medición en la altura se agua de 30 m H<sub>2</sub>O y una precisión de 0.6% (dato de laboratorio). Esta precisión es menor que la anunciada en el catalogo que es de 1 %.

**Ilustración 1:** Componentes de la estación



**Fuente:** <http://www.vanessen.com>.

Los equipos se encuentran suspendidos con una guaya de 3/16" que está amarrada a la parte superior del tubo limnimétrico, la longitud de la guaya del Baro Diver es de 45 cm, la del Diver es de 281cm y la del CTD-Diver es de 272.7 cm.

Los equipos toman medidas a partir de la línea marcada en la punta del equipo

**Ilustración 2:** Punto de medición de los Diver's



**Fuente:** <http://www.vanessen.com>.

El Diver y el CTD Diver se encuentran sumergidos en el agua a una altura de 17.5 cm y 20 cm del fondo del tubo respectivamente para garantizar el correcto funcionamiento de estos sin ser golpeados por objetos arrastrados ni dejar de estar sumergido en el agua en épocas de estiaje.

Tanto el Diver como 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. Además de medir presiones los equipos toman datos de temperatura.

El Diver y el Baro Diver tienen una longitud de 125 mm, un diámetro exterior de 22 mm y un peso aproximado de 160 gr. Cuentan con un sensor de presión que está hecho en óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ). Los datos de temperatura los toman en un rango de  $-20\text{ }^{\circ}C$  a  $80\text{ }^{\circ}C$  y la toma de datos se pueden hacer en un delta de tiempo de 0.5 s a 99 Horas.

El CTD-Diver tiene una longitud de 183 mm, un diámetro exterior de 22 mm y un peso aproximado de 150 gr. Los datos de conductividad los toma en un rango de 0 mS/cm a 80 mS/cm con una precisión de  $\pm 1\%$  de la lectura medida según especificaciones del fabricante.

### 1.2.2 Tubo Limnimétrico

Provee el medio necesario para las mediciones realizadas por los dispositivos automáticos de la estación; en cuanto a condiciones de flujo, seguridad y protección contra objetos arrastrados por el río. Está anclado a la roca maciza del talud con 8 pernos de superficie corrugada.

La longitud del tubo se estimó teniendo en cuenta que el Baro Diver ubicado en la parte superior del tubo nunca esté sumergido en el agua.

El tubo es de acero inoxidable, hueco y cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro interno, espesor de 7.5 mm, 3 m de longitud y está perforado en la parte inferior para permitir la entrada horizontal del flujo. En el tercio inferior de su longitud posee tres agujeros. La tapa está fabricada del mismo material y con dos agujeros en la parte superior para permitir la entrada y salida de aire, evitando presiones diferentes a la atmosférica. Para su acceso posee una escalera que está unida al tubo con soldadura (Ver proyecto de grado Díaz & Rincón).

Para abrir el tubo, se utilizan dos herramientas, una barra con dos varillas soldadas, las cuales encajan exactamente en los orificios superiores de la tapa del tubo limnimétrico y otra llave hexagonal con la cual se aflojan los tornillos que unen la tapa con el tubo.

### 1.2.3 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. SOFTWARE DIVER OFFICE**

El Diver Office es un paquete de software que se utiliza para leer la información de los equipos, así mismo se puede programar, calibrar y descargar los datos del Diver, CTD Diver y Baro Diver.

Diver-Office ofrece las siguientes prestaciones:

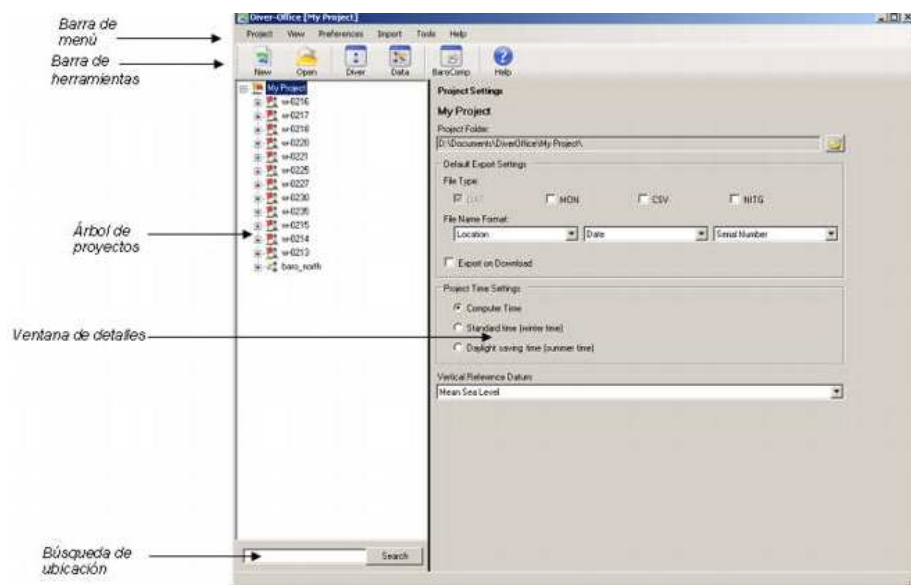
- Interfaz sencilla e intuitiva.
- Leer o programar registradores de datos Diver.
- Arrancar o detener registradores de datos Diver con varios métodos de inicio.
- Calibrar CTD-Diver's.
- Importar o exportar datos de monitorización en diversos formatos.
- Visualizar datos de series temporales en tablas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

### **2.1. INTERFAZ DEL PROGRAMA**

#### **2.1.1. Instalación del Diver office**

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.

**Ilustración 3:** Interfaz del Diver office



**Fuente:** Los autores

### 2.1.1 Pantalla principal

En la pantalla principal podemos resaltar los siguientes puntos

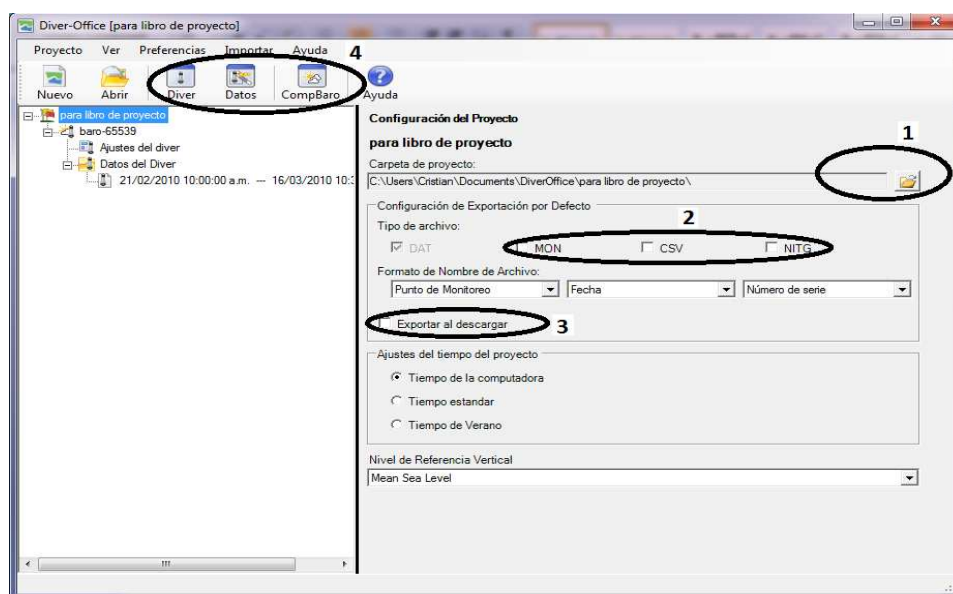
1. El programa nos permite ubicar los datos en una carpeta específica, para posteriormente poder encontrarlos con facilidad
2. Nos muestra 3 opciones de formato de descarga, de los cuales los más importantes son:

**DAT Y MON** que nos permite importar los datos posteriormente al programa Diver-Office y así poder hacer uso de las propiedades del programa en la manipulación de los datos.

**CSV** formato de valores separados por comas, compatible con Microsoft Excel, que nos permite leer los datos directamente sin necesidad del programa.

3. El programa nos permite exportar los datos al descargar, esto es importante ya que si no se exportan solo es posible volver a leerlos desde el programa mismo, y no nos permitiría ingresar a ellos directamente
4. Nos proporciona acceso rápido a la memoria de los Diver's y a la compensación por medio de link en la parte superior.

**Ilustración 4:** pantalla principal del Diver office



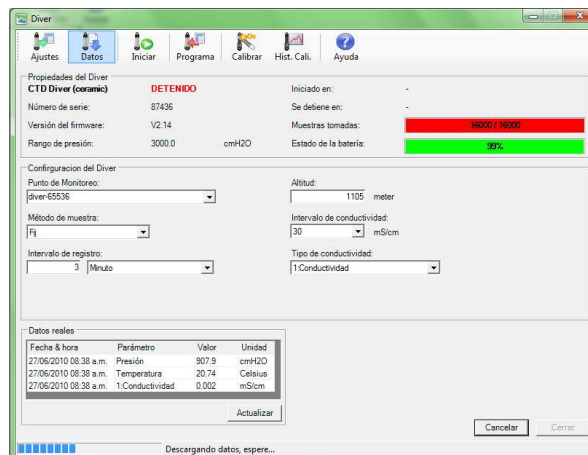
**Fuente:** Los autores

## 2.2. LECTURA Y DESCARGA DE LOS DATOS



- El botón **leer Diver** abre el diálogo de ajustes de Diver y nos conduce a la ventana de ajustes del Diver.

**Ilustración 5:** Ventana de ajustes del Diver



**Fuente:** Los autores



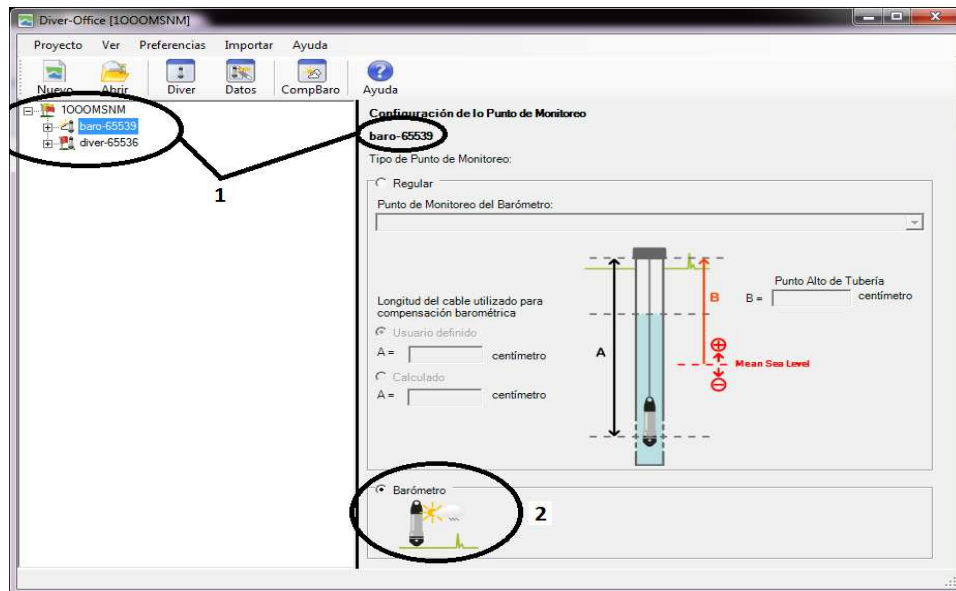
- En el botón de descarga de datos podemos tener acceso a los registros del Diver.
- Es importante detener los equipos si aun están registrando datos, para que la descarga sea más rápida.

### 2.3. LA COMPENSACIÓN DE LOS DATOS

Una vez descargados los datos es necesario realizar una compensación para así obtener la altura de agua del río:

- 1- Al seleccionar el Baro en la parte izquierda, nos aparece a la derecha la configuración del punto de monitoreo
- 2- En la parte inferior seleccionamos Barómetro, indicando al programa que este es el Baro-Diver

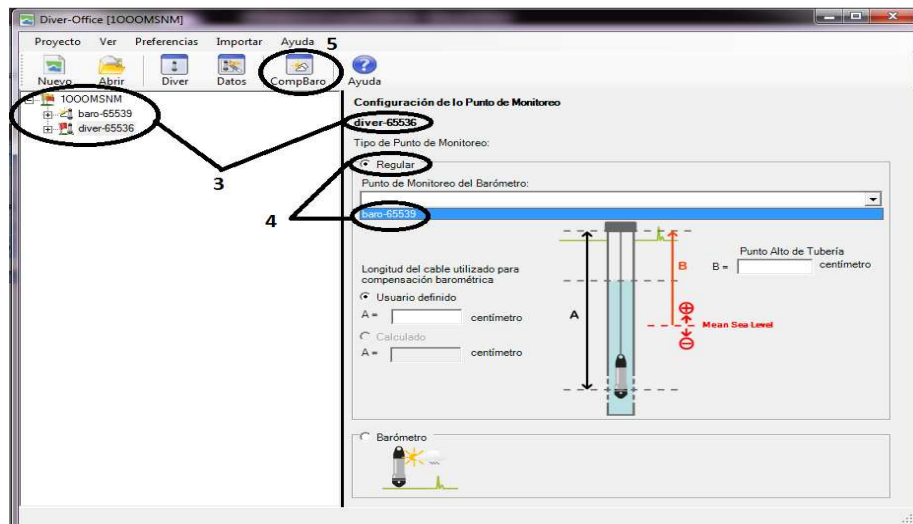
**Ilustración 6:** verificación de componentes



**Fuente:** Los autores

- 3- Posteriormente se selecciona el Diver a la parte izquierda, mostrando a la parte derecha la configuración.
- 4- En configuración regular seleccionamos el baro, asignando al Diver el baro correspondiente.

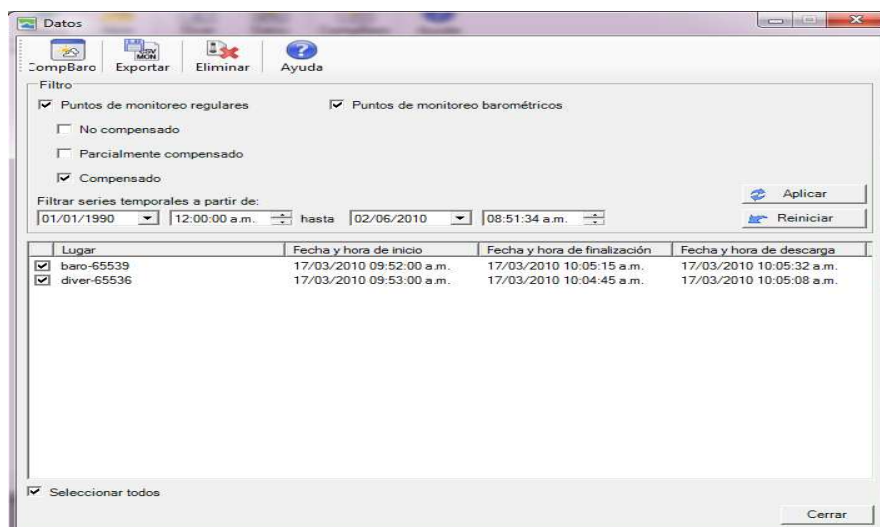
**Ilustración 7: Asignación del Baro**



**Fuente:** Los autores

- 5- Posteriormente se da clic en compBaro y aparecerá la ventana siguiente donde se selecciona el Baro y el Diver, y se compensa (calcula la carga hidrostática).

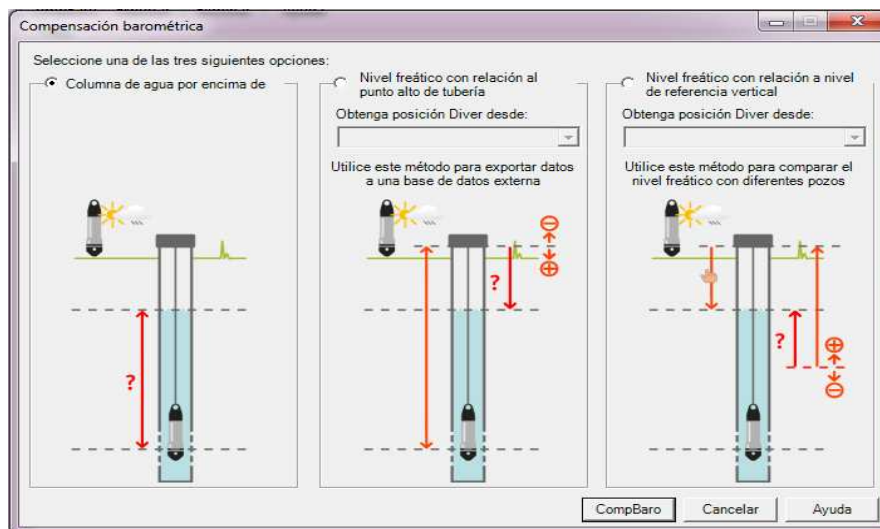
**Ilustración 8: Selección del Baro y el Diver**



Fuente: Los autores

- 6- Se selecciona la primera acción “columna de agua por encima de”  
Y se compensa, posteriormente se puede exportar los datos compensados (Ilustración 9).

Ilustración 9: Compensación barométrica



Fuente: Los autores

### **3 CALIBRACIÓN DEL CTD DIVER**

Diver-Office permite calibrar el CTD-Diver cerámico además de recuperar el historial de calibración del CTD-Diver.

Se recomienda calibrar el CTD-Diver con regularidad para asegurarse de que mide la conductividad con precisión.

Si elige utilizar el CTD-Diver en un área de medición específica, puede decidir realizar la calibración en no más de 1 ó 2 puntos. Esto significa que el CTD-Diver cumple con las especificaciones dentro de ese rango de medición en particular. El CTD-Diver puede desviarse un poco de las especificaciones fuera del rango de medición calibrado.

Ejemplo: Si el CTD-Diver se utiliza en un rango de medición de 2 a 3 mS/cm, realice la calibración en el terreno a 1.413 o 5 mS/cm. El CTD-Diver, en consecuencia, cumplirá con las especificaciones para el rango de medición de 1.413 a 5 mS/cm.

Si la calibración en el terreno se realiza más adelante en los 4 puntos de calibración, entonces el CTD-Diver volverá a cumplir con las especificaciones dentro del rango de medición completo.


#### **3.1. PROCESO DE CALIBRACIÓN**

El procedimiento para calibrar un CTD-Diver se puede encontrar en el manual del software Diver-Office, y para motivos prácticos se describe a continuación.

Es muy sencillo calibrar un CTD-Diver con Diver-Office. Solo necesita colocar el CTD-Diver en una solución de calibración con una conductividad estándar. Puede obtener estas soluciones en proveedores de equipos de laboratorio.

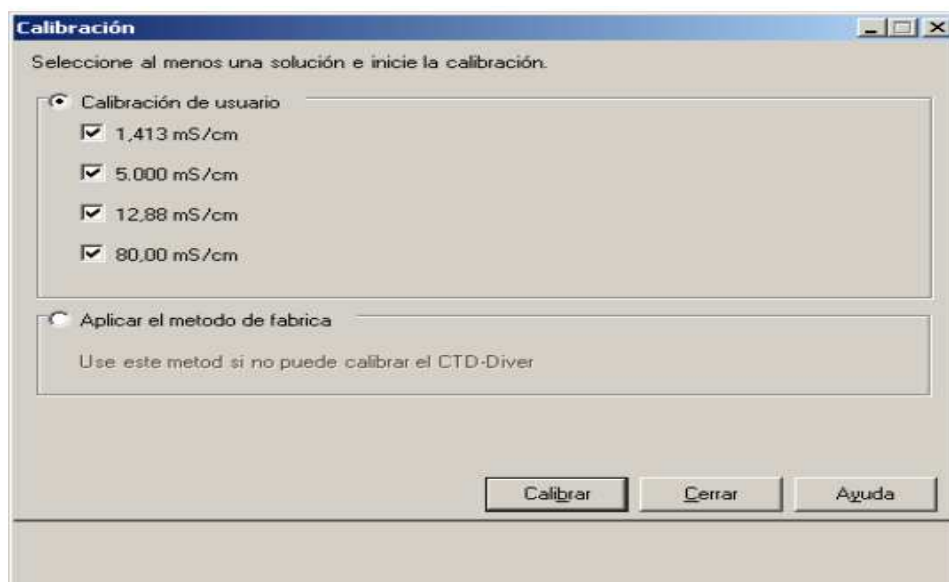
El CTD-Diver cerámico puede calibrarse hasta un máximo de cuatro puntos. Estas soluciones deberán estar a una temperatura entre 5 °C (41 °F) y 30 °C (86 °F). Se

recomienda colocar el líquido en la sala donde vaya a realizarse la calibración mucho antes de iniciar la calibración para permitir que se establezca la temperatura del líquido.

Para calibrar un CTD-Diver, haga clic en el botón  (Calibración) situado en la barra de herramientas del cuadro de diálogo Diver. **Nota:** este botón solo estará disponible si el Diver se reconoce como un CTD-Diver.

Al hacer clic, aparecerá el siguiente cuadro de diálogo

**Ilustración 10:** ventana de calibración



**Fuente:** Los autores

Seleccione las casillas de verificación situadas junto a la solución apropiada que se utilizará para calibrar el Diver.

Haga clic en el botón [calibrar] para empezar a calibrar el CTD-Diver.

Aparecerá un mensaje que indica que el proceso de calibración borrará todos los datos contenidos en el CTD-Diver. Haga clic en [ok] para continuar o en [cancel] para cancelar la calibración.

**Ilustración 11:** Mensaje del proceso de calibración



**Fuente:** Los autores

Se le solicitará que sumerja el CTD-Diver en la solución seleccionada. Haga clic en [Ok] para continuar. Si utiliza varias soluciones, se le pedirá que calibre desde la concentración inferior hasta la concentración mayor especificada.

Después, Diver-Office calibrará el CTD-Diver de acuerdo con las soluciones especificadas. Si la calibración es satisfactoria, aparecerá un mensaje de confirmación. Si la calibración fracasa,

- compruebe que está utilizando la solución de calibración apropiada
- compruebe que el Diver esté bien conectado a la unidad de lectura
- compruebe que los sensores del Diver estén sumergidos en la solución

**Importante:**

Antes de cada calibración o medición de referencia, se debe enjuagar bien el CTD-Diver en agua desmineralizada. Una vez enjuagado, no se podrá tocar con las manos descubiertas, ya que el líquido de referencia puede contaminarse fácilmente con agentes residuales o sales residuales que quedan en las manos. Esto anula una calibración o medición de referencia, ya que la referencia se ha distorsionado. Este efecto es mayor en los valores más bajos.

La calibración inadecuada o errónea puede afectar de la precisión del CTD-Diver

La limpieza durante la calibración es muy importante. Todos los restos de sal que se adhieran al CTD –Diver afectarán de manera negativa la precisión del líquido de calibración. Por eso, se recomienda no utilizar este líquido dos veces.

Las diferencias de temperatura también pueden generar errores (se debe permitir una aclimatación prolongada).

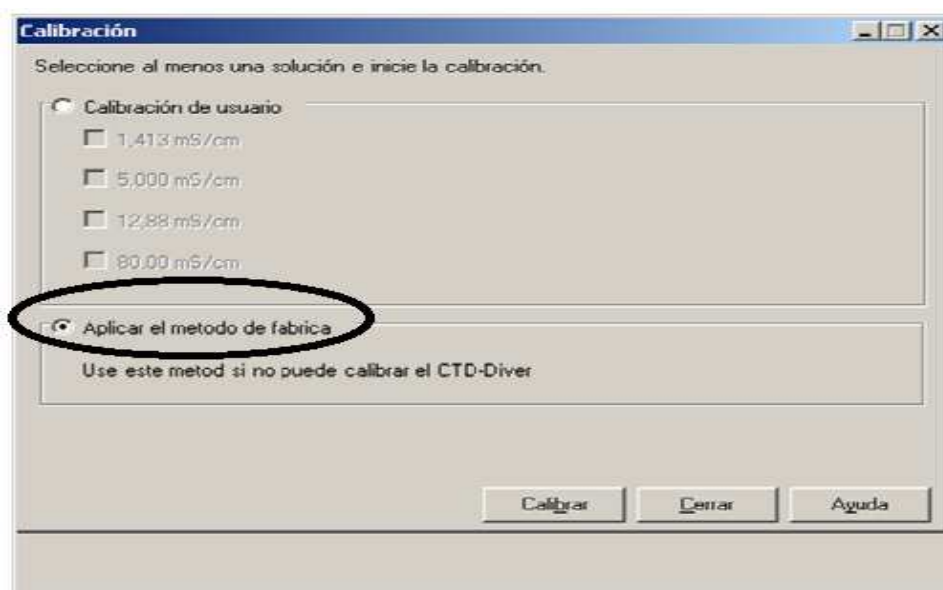
En dichos casos, se recomienda restablecer la calibración de fábrica.

Seleccione esta opción para restablecer manualmente la calibración del Diver.

Esta opción puede resultar útil si tiene dificultades para calibrar su CTD-Diver.

Una vez seleccionada esta opción, haga clic en el botón [Calibrar] para restablecerlo.

**Ilustración 12:** Opciones de calibración



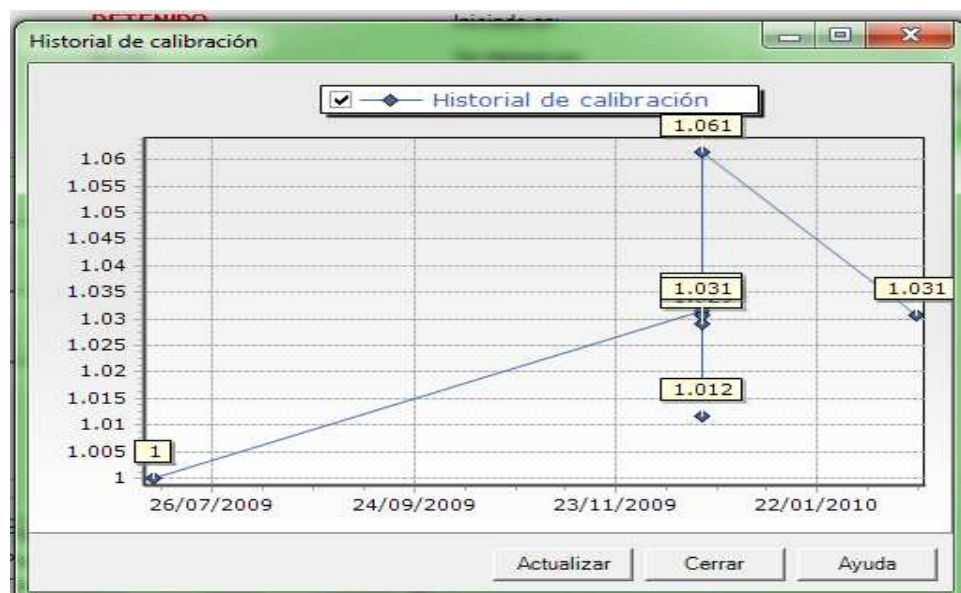
**Fuente:** Los autores

### 3.2. HISTORIAL DE CALIBRACIÓN

Cada vez que se calibra un CTD-Diver, se guardan los ajustes de calibración en la memoria interna del Diver.

Para ver el historial de calibración de un CTD-Diver, haga clic en el botón (historia de calibración) situado en la barra de herramientas del cuadro de diálogo Diver. El historial de calibración se trazará en un gráfico, como el que se muestra a continuación.

**Ilustración 13:** Historial de calibración del CTD Diver



**Fuente:** Los autores

Esta prestación es útil para controlar los cambios en la calibración a lo largo del tiempo, lo que puede ayudar a explicar variaciones significativas o defectos.

**Nota:** para ver el historial de calibración de un CTD-Diver, el Diver deberá estar conectado al cable de interfaz/unidad de lectura.

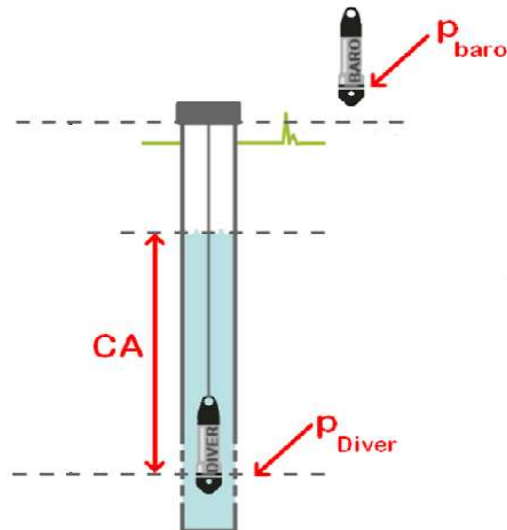
#### 4 PRUEBAS EN LABORATORIO

Todos los Diver's 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. La altura de la columna de agua por encima el sensor de la presión del Diver se determina en función de la presión medida.

Para medir las 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.

La ilustración 14 extraída del programa Diver office muestra esquemáticamente como se deben ubicar los equipos para poder registrar la presión de la columna de agua por en cima del Diver y obtener la altura de agua.

**Ilustración 14:** Esquema de ubicación de los equipos



**Fuente:** Manual Diver office

#### 4.1 COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN REGISTRADA EN LOS EQUIPOS

Estos equipos fueron probados en laboratorio para garantizar que la altura leída fuera la altura real en el momento, para lo cual se empezó tomando datos sin sumergirlos en el agua, esto debería darnos la presión barométrica en los 3 dispositivos, Diver, CTD Diver y Baro Diver.

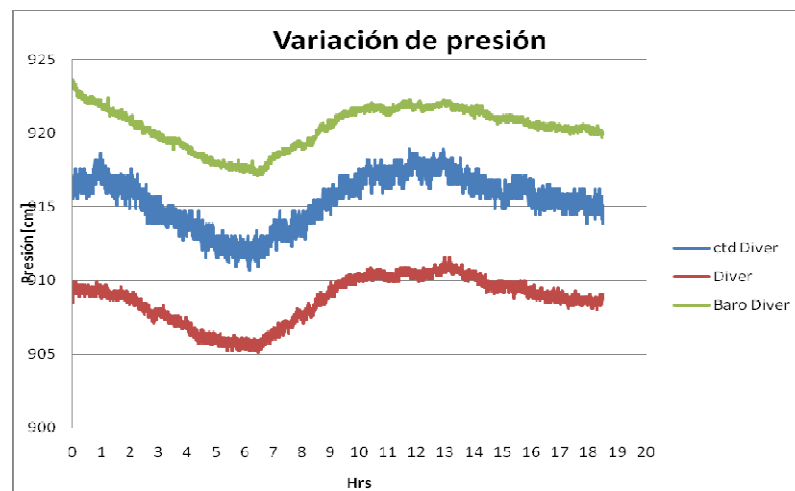
**Ilustración 15:** Instalación de los equipos en laboratorio



**Fuente:** Los autores

La Gráfica 1 muestra de una forma clara los resultados obtenidos durante esta medición. Aquí se sometieron los 3 equipos Baro Diver, Diver, CTD Diver, en las mismas condiciones a presión atmosférica.

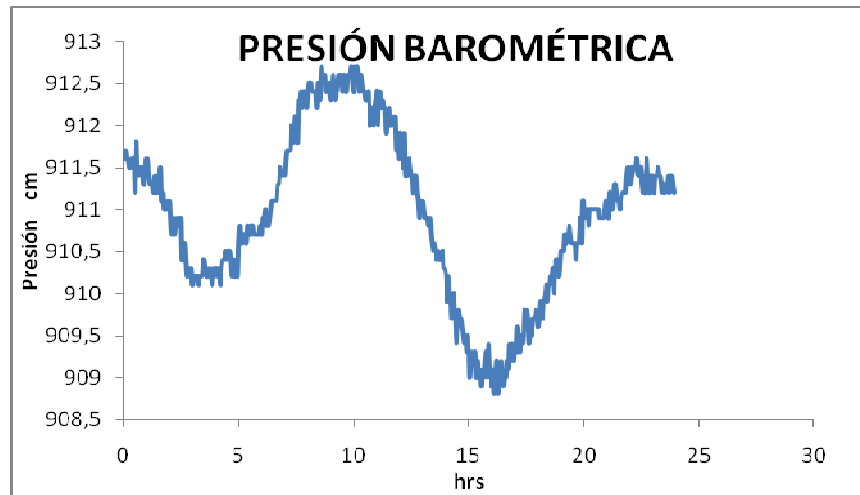
**Gráfica 1:** Variaciones de presiones en los equipos



**Fuente:** Los autores

Esta tendencia de la presión atmosférica a comportarse como una onda es también registrada por el Baro Diver en la estación Hidrométrica, (Gráfica 2), como mas adelante lo analizaremos; y la presión registrada por los equipos Diver y CTD Diver tienen el mismo comportamiento (Gráfica 1), podemos concluir que los equipos son sensibles al cambio o variación de la presión atmosférica, pero, gráficamente se puede ver que las presiones no son iguales (bajo unas mismas condiciones de altura, presión, temperatura...); esto supone un error en la precisión de la lectura tomada por el Diver y CTD Diver, ya que el Baro Diver fue diseñado para registrar esta presión la suponemos como verdadera.

**Gráfica 2:** Presión barométrica RÍO DE ORO vs tiempo



**Fuente:** Los autores

Para conocer el error de estos datos tomados por los equipos es necesario realizar otras pruebas, que para nuestro caso fue tomar varias medidas con alturas de agua conocidas.

**Ilustración 16:** Diver y CTD Diver sumergidos



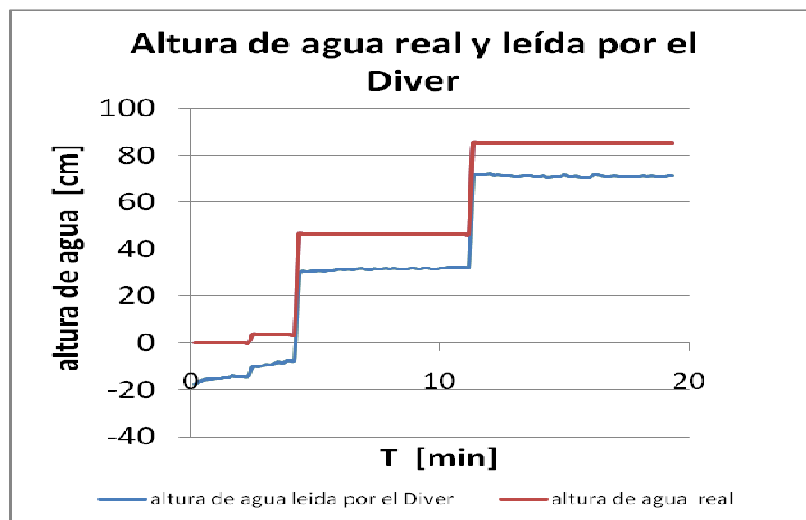
**Fuente:** Los autores

Variando la altura de agua de 0.00 m a 0.85 m de altura, registrando y graficando los datos (Gráfica 3 y 4), podemos ver la diferencia entre la altura real y la medida con el Diver (Gráfica 3) y CTD Diver (Gráfica 4), que, aunque tienen una pequeña

variación, tienden a ser constante sin importar la altura de agua. Esto fue realizado teniendo un mismo Baro Diver.

Para el caso del Diver la diferencia varía desde 13 a 15 cm dependiendo de la altura de agua (presión absoluta), para el CTD Diver varía desde 5 a 6 cm dependiendo de la altura de agua (presión absoluta), lo cual nos da una mayor precisión en los datos tomados por el CTD Diver, esto se puede observar en la Gráfica 1 en donde la curva del CTD Diver está más próxima a la curva del Baro Diver y que en teoría deberían haber sido iguales.

**Gráfica 3:** Altura real y altura leída por el Diver



**Fuente:** Los autores

Diferencia entre alturas

Diver	$\Delta$ 14 cm (promedio)	error relativo = 1.56%
CDT Diver	$\Delta$ 5.5 cm (promedio)	error relativo = 0.6%

**Gráfica 4:** Altura real y altura leída por el CTD Diver



**Fuente:** Los autores

Para altura bajas de agua sobre el equipo, se puede observar una variación de la lectura que puede ser debido a la poca presión sobre el equipo, para nuestro caso, esto carece de importancia, ya que para el río de oro la altura por encima del equipo va desde 0.16 m en adelante, y estas alturas bajas de menos de 10 cm no se han presentan en ese punto del río.

En conclusión de esta prueba notamos que el Diver tiene un error relativo de 1.5% y el CTD Diver de 0.6 % con respecto a las presiones medidas.

#### **4.2 INFLUENCIA DE LOS MSNM EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS EQUIPOS.**

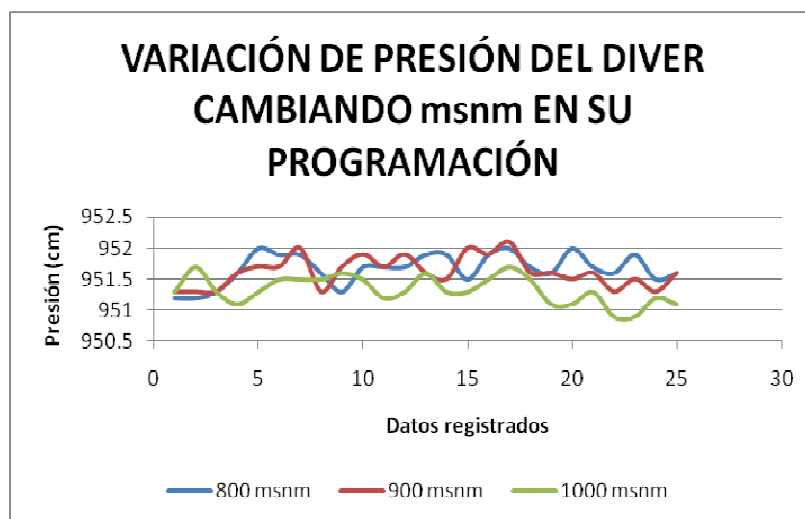
Otro tema a tratar es la altura (msnm) donde se encuentra el equipo, en la programación de este, ya que en trabajos anteriores (Flórez & Rueda, 2008 ) se estipulo que para tener mayor exactitud en los registros tomados se debía tener una precisión de  $\pm 3m$  en el dato de msnm, y, teniendo en cuenta que los dispositivos de medición de alturas sobre el nivel pueden tener un rango de precisión de más o menos 5 m, no podríamos garantizar que el dato de msnm esta

en un rango de  $\pm 3$  m de la altura real presente en ese punto donde se encuentran los Diver's.

Para comprobar esto, se tomaron varias medidas programando el equipo con diferentes datos de alturas en msnm y manteniendo constante la altura de agua sobre él.

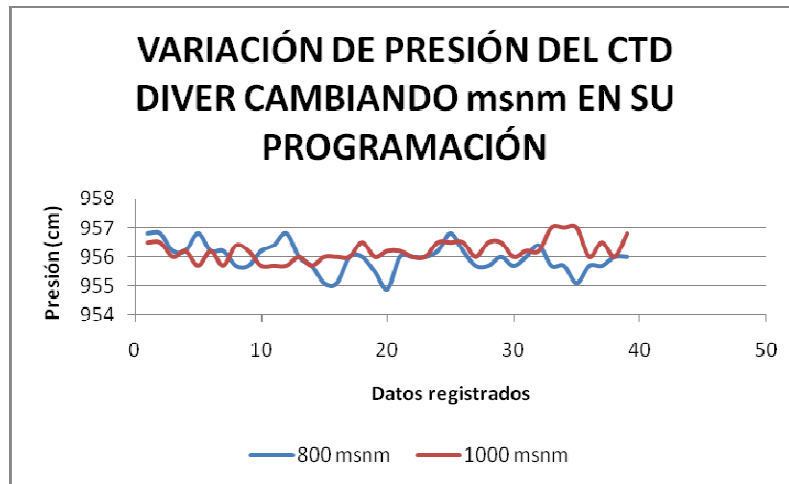
Los resultados obtenidos fueron que sin importar los msnm utilizados para programar el equipo, la presión registrada fue prácticamente la misma (Gráfica 5 y 6), en estas gráficas se muestra las presiones obtenidas al cambiar los metros sobre el nivel del mar y manteniendo la altura de agua constante.

**Gráfica 5:** Variación de presión del Diver cambiando msnm en su programación



**Fuente:** Los autores

**Gráfica 6:** Variación de presión del CTD Diver cambiando msnm en su programación



**Fuente:** Los autores

Aun programando los equipos con una altura cercana a la real el error se mantenía constante, esto se venía notando previamente en el río donde se medía la altura de agua para compararla con la leída por el Diver y el CTD Diver y los resultados no eran iguales, ya que la altura medida era mayor que la leída, lo cual nos llevo a realizar las pruebas de laboratorio para comprender que ocurría y a que se debía la diferencia.

#### **4.3 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DEL AGUA EN LA PRESIÓN REGISTRADA POR LOS DIVER'S**

Debido a que en el río cuando está en caudales bajos presenta poca densidad y tiene (pocas partículas suspendidas), y en épocas lluviosas la densidad es mayor (mayor cantidad de partículas suspendidas), fue de interés establecer si esto afectaba los datos registrados por los equipos.

Teniendo en cuenta lo deseado, en laboratorio se utilizaron diferentes turbiedades manteniendo constante la altura de agua, para poder observar si la cantidad de partículas en el agua afecta los equipos.

Como resultado se estableció que tales condiciones del agua no afectan drásticamente los datos tomados, y que la variación que se llega a producir es de mm, tendiendo a ser error del equipo en sí y no de la influencia de las partículas presentes en el río.

**Ilustración 17** Agua con partículas de suelo suspendidas



**Fuente:** Los autores

#### **4.4 CONDUCTIVIDAD**

El CTD Diver fue calibrado el día 18 de diciembre de 2009 a las 11:30:00 a.m. en laboratorio con un patrón de conductividad de  $1.4130 \text{ mS/cm} \pm 20 \text{ } \mu\text{S/cm}$  (Producido en Colombia por MOL LABS LTDA.)

Para comprobar que el CTD Diver esté bien calibrado se procedió de la siguiente forma:

- inmediatamente después de ser calibrado el CTD, se puso en funcionamiento sumergiéndolo en agua limpia del grifo, después se limpió con agua destilada y se volvió a medir la conductividad de la sustancia patrón, los resultados de esta medida se presentan en la tabla 1, donde  $0.16 \text{ mS/cm}$  corresponde a la conductividad medida al agua del grifo y  $1.45 \text{ mS/cm}$  a la conductividad medida a la sustancia patrón.

**Tabla 1** datos de conductividad, día 18 de diciembre de 2009

Datos obtenidos en la comparación de la conductividad con la sustancia patrón			
Date/time	Presión[cm]	Temperatura[°C]	1:Conductividad[mS/cm]
18/12/2009 11:39	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:39	950	26,57	0,16
18/12/2009 11:40	950	26,57	0,16
18/12/2009 11:40	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:41	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:41	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:42	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:42	950	26,56	0,16
18/12/2009 11:43	950	26,48	0
18/12/2009 11:43	950	26,29	0
18/12/2009 11:44	950	26,23	0
18/12/2009 11:44	950	27,64	1,45
18/12/2009 11:45	950	27,68	1,45
18/12/2009 11:45	950	27,76	1,45
18/12/2009 11:46	950	27,88	1,45
18/12/2009 11:46	950	27,62	0
18/12/2009 11:47	950	27,5	0
18/12/2009 11:47	950	27,36	0
18/12/2009 11:48	950	27,27	0

**Fuente:** Los autores

- posteriormente se comparo la conductividad del CTD con la conductividad medida por una sonda multiparamétrica de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2 marca Seba (Proyecto de grado nieta y pulido), los resultados fueron muy similares:

Sustancia 1: Agua de acueducto

Conductividad con la sonda multiparamétrica	136	µS/cm
Conductividad con el CTD Diver	131	µS/cm

Sustancia 2: Agua + Sal

Conductividad con la sonda multiparamétrica	139	µS/cm
Conductividad con el CTD Diver	139.8	µS/cm

Sustancia 3: Agua + Sal

Conductividad con la sonda multiparamétrica	392	µS/cm
Conductividad con el CTD Diver	386.2	µS/cm

Sustancia 4: Agua + Sal

Conductividad con la sonda multiparamétrica 530  $\mu\text{S/cm}$

Conductividad con el CTD Diver 518.2  $\mu\text{S/cm}$

Sustancia 5: Agua + Sal

Conductividad con la sonda multiparamétrica 5238  $\mu\text{S/cm}$

Conductividad con el CTD Diver 4640  $\mu\text{S/cm}$

El resumen de estas actividades se presenta en la tabla 2

**Tabla 2** Error en la conductividad medida por el CTD Diver

<b>Comparación de conductividad con una sustancia patrón</b>			
	<b>CTD Diver</b>	<b>Patrón de conductividad</b>	<b>error</b>
<b>Conductividad</b>	1,45 mS/cm	1,413 mS/cm	2,62%

<b>Conductividad dentro del rango de calibración</b>			
	<b>CTD Diver</b>	<b>Sonda Multiparamétrica</b>	<b>error</b>
<b>Conductividad</b>	0,131 mS/cm	0,136 mS/cm	3,68%
	0,1398 mS/cm	0,139 mS/cm	0,58%
	0,3862 mS/cm	0,392 mS/cm	1,48%
	0,5182 mS/cm	0,53 mS/cm	2,23%
		promedio	1,99%

<b>Conductividad fuera del rango de calibración</b>			
	<b>CTD Diver</b>	<b>Sonda Multiparamétrica</b>	<b>error</b>
<b>Conductividad</b>	4,64 mS/cm	5,238 mS/cm	11,42%

**Fuente:** Los autores

Para la primera parte tenemos la conductividad de la sustancia patrón y un error de 2.62 %, teniendo en cuenta que la sustancia tiene un rango de precisión de  $\pm 20 \mu\text{S/cm}$  (1.42%), no podemos decir que este es el error de conductividad del CTD.

Las otras dos partes corresponde a la comparación de la conductividad del CTD con una sonda multiparamétrica, con un error promedio de 1.99 % para conductividades bajas y 11.42 % para conductividades altas.

Con esto concluimos que el CTD Diver mide correctamente las conductividades bajas, ya que fue calibrado para tal fin. Por el contrario las conductividades altas no son precisa, si se llegara a desear que esto cambie y las conductividades altas sean bien registradas por el CTD, se recomienda hacer la calibración completa anteriormente mencionados en el proceso de calibración.

En nuestro caso las conductividades promedios registradas en el río son bajas ( $< 1413 \mu\text{S/cm}$ ) y no es necesaria la calibración completa del CTD Diver.

## 5. CURVA DE CALIBRACION

Una curva de calibración que relaciona la altura del río en un punto determinado con el caudal que pasa en ese momento, se obtiene mediante aforos, estableciendo la altura en el instante de la medición; por medio de estos datos de altura y caudales medidos se establece la ecuación de la curva.

Para que estos valores sean lo más correctos posibles es necesario hacer varias mediciones del caudal en diferentes niveles del río.

Continuando con trabajos anteriores (Flórez & Rueda, 2008) que establecieron una curva de calibración con los siguientes datos (Tabla 2) Se realizaron aforos para caudales bajos y mejorar la curva en esa zona ya que el error encontrado para estos caudales con la ecuación del trabajo anterior ( $Q1=1.83 \cdot 10^{-5} \cdot H^{2.96}$ ), fueron altos (Tabla 3).

**Tabla 3:** Datos curva de calibración existente

FECHA	H	Q
04/10/2008	51,02	1,9678
18/10/2008	60,86	3,4179
25/10/2008	48,82	2,0044
09/11/2008	49,4	1,7994
27/11/2008	55,5	2,6858
27/11/2008	57	2,8124
14/12/2008	50,12	1,9741
19/12/2008	48,1	1,7505
09/01/2009	45,12	1,4
14/01/2009	44,3	1,3667

**Fuente:** Flórez & Rueda, 2008 pág. 38

**Tabla 4:** Calculo de caudales aplicando las dos ecuaciones

FECHA	H	Q	Q1 formula	Error %	Q2 formula	Error %
04/10/2008	51,02	1,968	2,077	5,53%	2,078	5,58%
18/10/2008	60,86	3,418	3,500	2,40%	3,210	6,09%
25/10/2008	48,82	2,004	1,823	9,07%	1,864	7,03%
09/11/2008	49,4	1,799	1,887	4,90%	1,919	6,62%
27/11/2008	55,5	2,686	2,664	0,81%	2,557	4,80%
27/11/2008	57	2,812	2,883	2,51%	2,731	2,90%
14/12/2008	50,12	1,974	1,970	0,20%	1,988	0,72%
19/12/2008	48,1	1,751	1,744	0,36%	1,796	2,62%
09/01/2009	45,12	1,400	1,443	3,10%	1,534	9,59%
14/01/2009	44,3	1,367	1,367	0,03%	1,466	7,29%
<b>01/04/2009</b>	<b>50,8</b>	<b>1,986</b>	<b>2,050</b>	<b>3,24%</b>	<b>2,056</b>	<b>3,50%</b>
<b>23/01/2010</b>	<b>35,1</b>	<b>0,853</b>	<b>0,686</b>	<b>19,56%</b>	<b>0,826</b>	<b>3,22%</b>
<b>10/02/2010</b>	<b>34,64</b>	<b>0,801</b>	<b>0,660</b>	<b>17,59%</b>	<b>0,799</b>	<b>0,20%</b>
<b>16/03/2010</b>	<b>32,16</b>	<b>0,735</b>	<b>0,530</b>	<b>27,93%</b>	<b>0,666</b>	<b>9,46%</b>

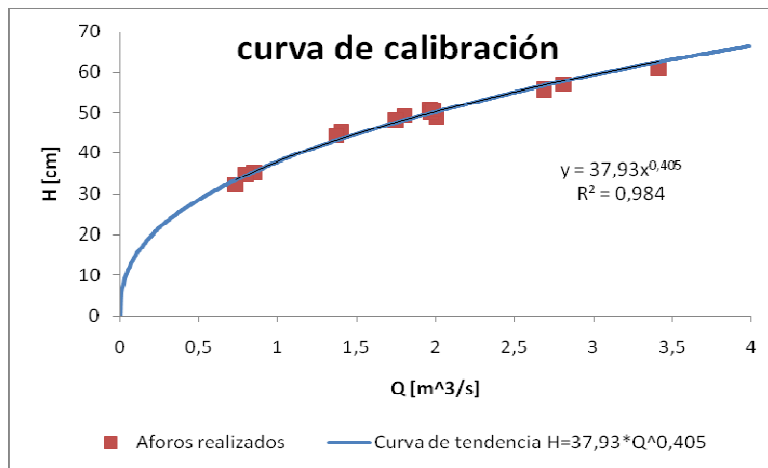
**Fuente:** Los autores

Caudales en m<sup>3</sup>/s

- **Q ADV** corresponde a los caudales medidos con el ADV Flowtracker.
- **Q1 formula** corresponde a los caudales obtenidos aplicando la ecuación anterior  $Q1=1.83*10^{-5}*H^{2.96}$ .
- **Q2 formula** corresponde a los caudales obtenidos con la nueva fórmula  $Q=1.274*10^{-4}*H^{2.467}$

Con estos aforos y las alturas correspondientes se estableció una nueva ecuación para la curva de calibración.

**Gráfica 7:** Curva de calibración



**Fuente:** Los autores

**Tabla 5:** Nueva curva de calibración

H	Q
51.02	1.967
60.86	3.417
48.82	2.004
49.4	1.799
55.5	2.685
57	2.812
50.12	1.974
48.1	1.750
45.12	1.4
44.3	1.366
<b>50.8</b>	<b>1.986</b>
<b>35.1</b>	<b>0.853</b>
<b>34.64</b>	<b>0.801</b>
<b>32.16</b>	<b>0.735</b>

**Fuente:** Los autores

$$Q=1.274 \cdot 10^{-4} \cdot H^{2.467} \quad R^2=0.984$$

Con esta nueva curva los errores relativos para caudales bajos son menores y para los caudales altos son similares a la anterior curva (tabla 2)

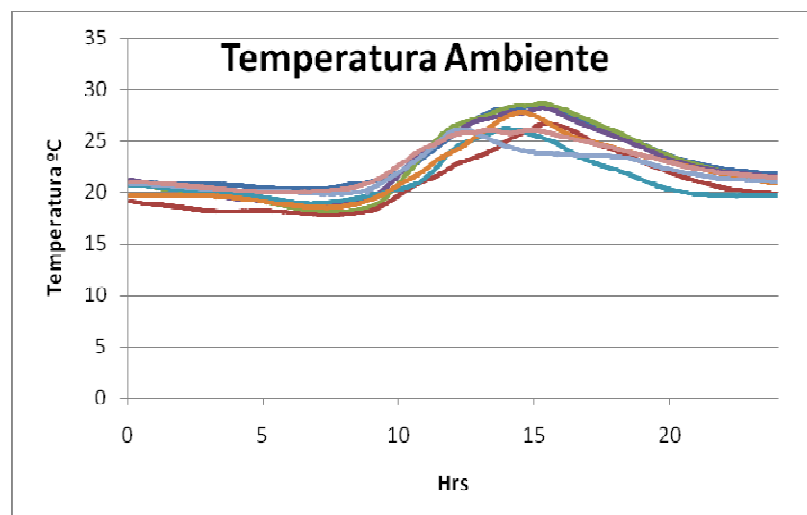
## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1 TEMPERATURA

#### 6.1.1 Temperatura ambiente:

Los datos de temperatura ambiente registrada en un día tiene un comportamiento como se muestra en la gráfica 8 en la cual se superpuso los datos de diferentes días en condiciones normales sin eventos de lluvia, y así poder comprobar que este es el comportamiento y que no se debe a una lluvia o algún otro fenómeno. Estos datos muestran que en promedio a las 8 am la temperatura del ambiente se encuentra en el punto más bajo (la menor temperatura fue 14.66 °C el 31/12/2009) y en promedio a las 3 pm la temperatura alcanza el punto más alto (el valor más alto registrado fue de 31.15 °C el 24/03/2010 02:57:00 p.m.).

**Gráfica 8:** Variación de la temperatura ambiente durante el día



**Fuente:** Los autores

Teniendo en cuenta la ubicación del equipo que registra la temperatura (Baro Diver) dentro del tubo limnimétrico (ilustración 18), es posible que por algún fenómeno se altere este resultado de temperatura ambiente, como por ejemplo el poco absceso de luz entre otros.

**Ilustración 18:** Tubo limnimétrico

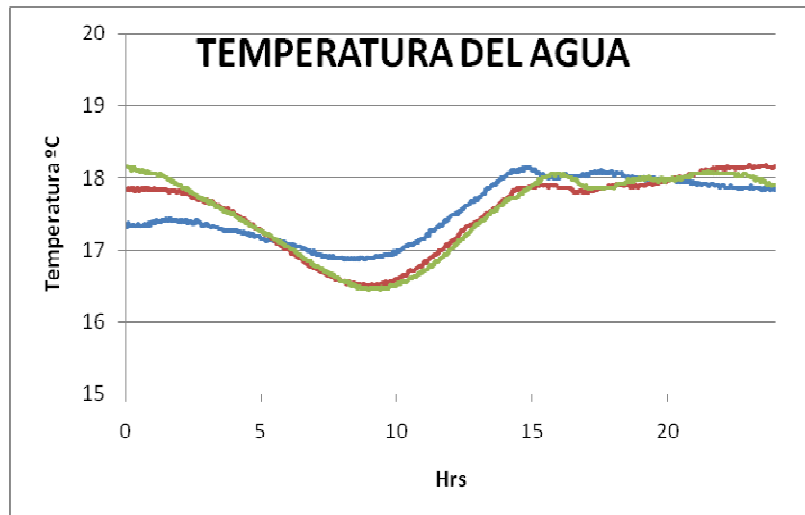


**Fuente:** Los autores

#### 6.1.2. Temperatura de agua:

La temperatura del agua tiene la misma tendencia que la temperatura del medio ambiente, ya que presenta su punto más bajo en la mañana y en la tarde el punto más alto, pero, esta tiene menos rango de variabilidad (valor mínimo registrado fue 14.37 °C el 31/12/2009 08:39:00 a.m. y el valor máximo registrado fue 21.92 °C el 15/05/2010 02:51:00 p.m.)

**Gráfica 9:** Variación de la temperatura del agua en el día



**Fuente:** Los autores

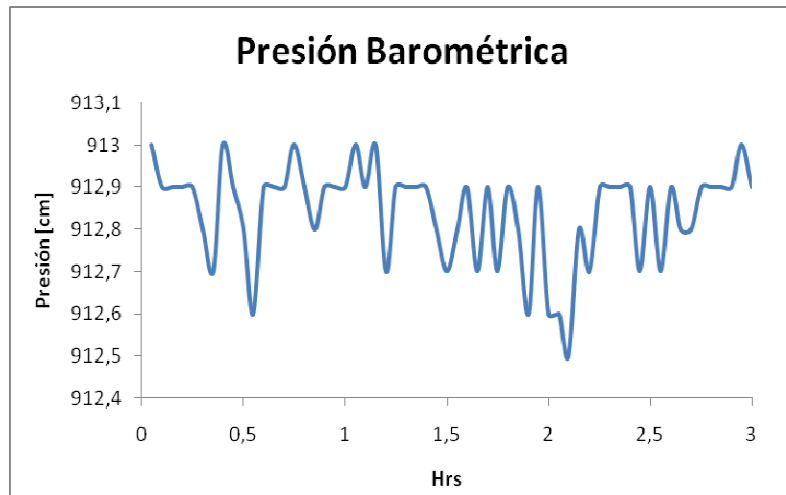
## 6.2 PRESIÓN

### 6.2.1. La presión atmosférica

La presión atmosférica barométrica registrada por los equipos tiene tres variaciones en el tiempo, unas de mayor significado que otras:

- Tiene una pequeña variación en cada dato (Gráfica 10) de aproximadamente 5 mm un poco insignificante pero que si le sumamos la variación del Diver que más adelante se estudiara puede generar una mayor incertidumbre de los datos ya que no tienen la misma tendencia (Gráfica 11).

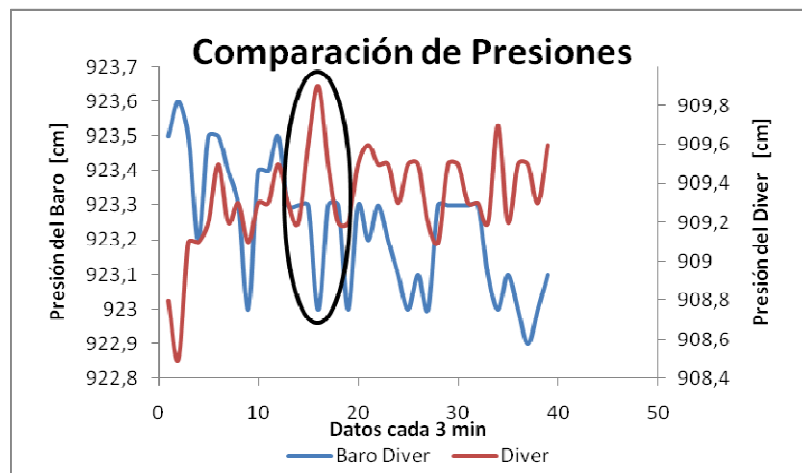
**Gráfica 10:** Presión barométrica vs tiempo



**Fuente:** Los autores

Como observamos en la gráfica 11, para cada dato se presenta una variación del Diver y del Baro Diver que en algunos puntos tienen el mismo sentido, pero en otros tiene sentido contrario. Esta variación de aproximadamente 5 mm del Baro y de 5 mm del Diver sumados da una variación de 1 cm que pueden generar pequeños errores al hallar la altura de agua correspondiente.

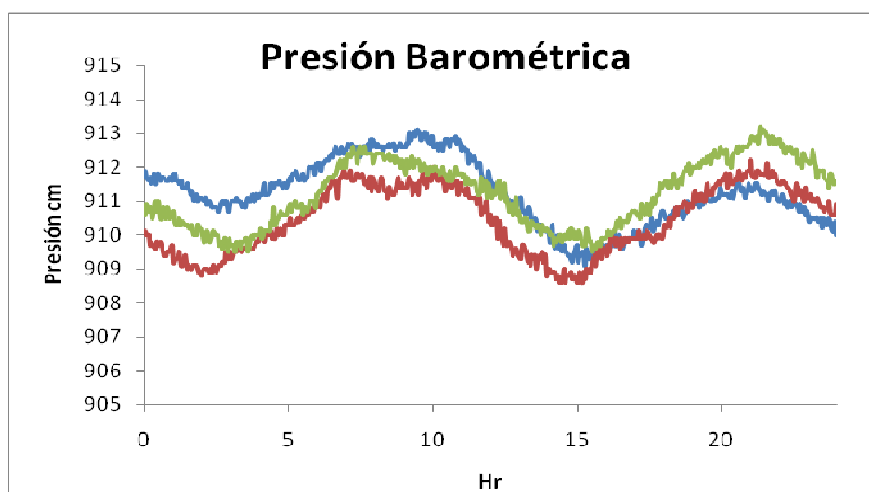
**Gráfica 11:** Comparación de presiones



**Fuente:** Los autores

- La presión barométrica presenta una variación diaria de aproximadamente 6 cm la cual tiene aproximadamente unos dos picos como muestra la gráfica 12 en la cual se superpusieron los registros de tres días en los cuales no hubo eventos de lluvia.

**Gráfica 12:** Variación de la presión barométrica en un día



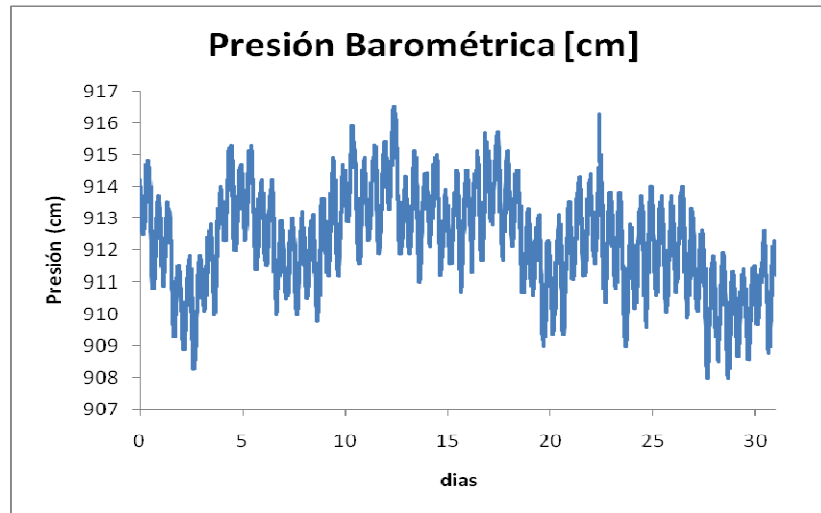
**Fuente:** Los autores

- Al graficar los datos de presión de un mayor tiempo, un mes, se puede observar que además de la variación por toma de datos y por día, la presión tiene una variación por periodos (Gráfica 13).

Estas variaciones pueden deberse a que cuando el aire está frío, desciende, haciendo aumentar la presión, y cuando el aire está caliente, asciende, haciendo bajar la presión.

En pruebas de laboratorio expresadas anteriormente se puede observar que las primeras variaciones aquí nombradas pueden deberse básicamente al equipo en sí, llegamos a esta conclusión ya que la curva del Diver tiene menos variación que la del CTD, pero a su vez la del Baro es menor que la del Diver Gráfica 1. Por el contrario las variaciones 2 y 3 aquí mencionadas se pueden deber al clima presente en el momento de la lectura.

**Gráfica 13:** Variación de la presión barométrica en un mes

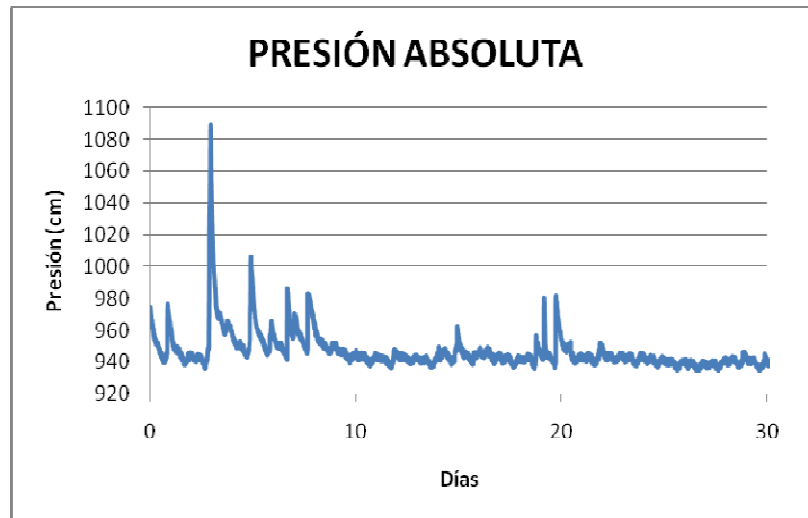


**Fuente:** Los autores

### 6.3. PRESIÓN ABSOLUTA

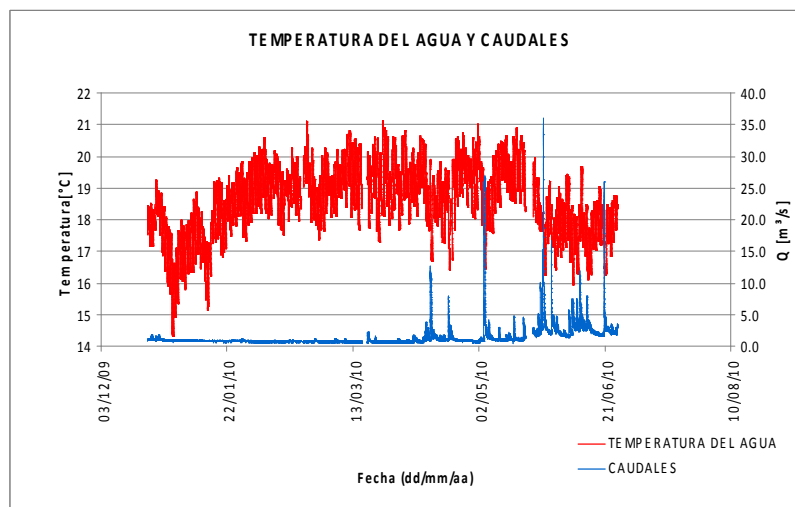
Los datos de la presión absoluta registrada en el río dependen de la altura de la columna de agua, por tanto para analizar el comportamiento de la presión leída por el Diver se hace con los datos tomados del laboratorio en las pruebas realizadas anteriormente.

**Gráfica 14:** Variación de la presión absoluta con el tiempo



**Fuente:** Los autores

**Gráfica 15** Caudales y temperatura del agua



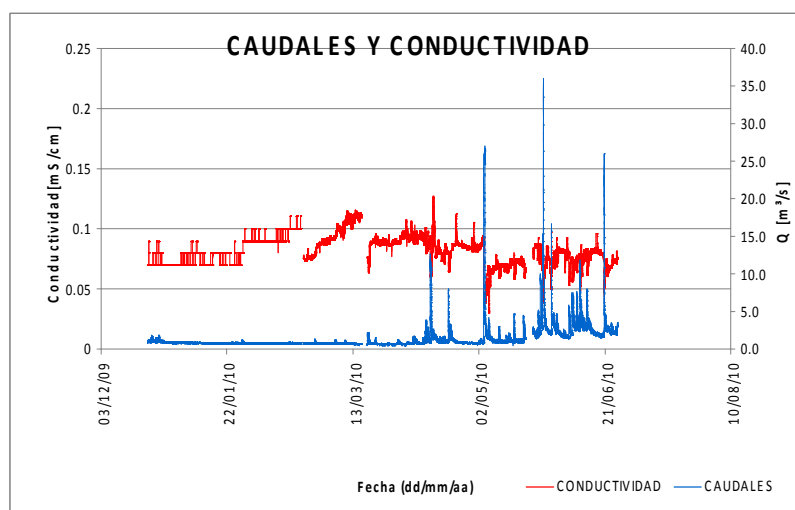
**Fuente:** Los autores

Estos datos presentan variaciones como los estudiados anteriormente en la presión barométrica, pero que en este caso puede deberse precisamente al cambio en esta última, además que la corriente del río no es estable si no que

tiene pequeñas oscilaciones que pueden llegar a afectar estos datos de presión absoluta.

#### 6.4. CONDUCTIVIDAD

**Gráfica 16** Comparación de conductividades y caudal



**Fuente:** Los autores

El CTD Diver registra la conductividad del Río cada tres min, este equipo fue instalado el 21 de diciembre de 2009 en la estación Hidrométrica automática del río de ORO.

La máxima conductividad registrada fue de 0.127 mS/cm el día 13/04/2010 08:36:00 p.m. y la menor conductividad registrada fue de 0.03 mS/cm el día 05/05/2010 11:42:00 p.m.

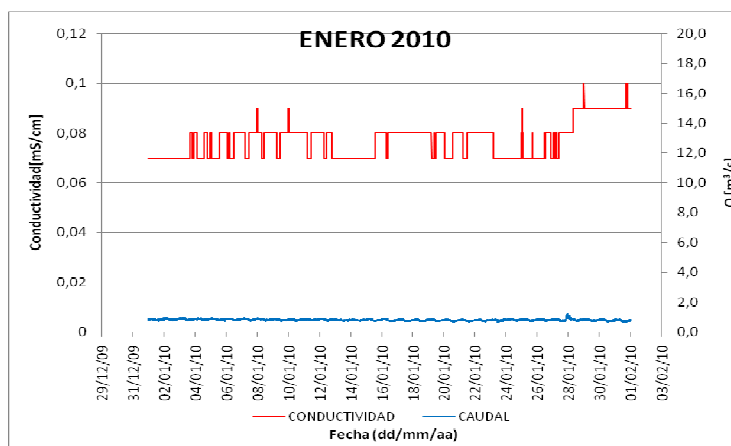
La conductividad en el río ha tenido dos comportamientos que llamaron nuestro interés:

- En tiempo en que el cauce del río es poco (tiempo de poca lluvia) la conductividad presenta poca variación, en otras palabras, mantiene valores constantes durante varias mediciones produciendo gráficas como la gráfica 17. Esto puede deberse a que en épocas secas (de poca lluvia), la corriente no es muy fuerte y puede llegar a ser poca dentro del tubo,

permitiendo la acumulación de sólidos suspendidos en el agua dentro del tubo. En tiempos de lluvia en el que el caudal del río varía frecuentemente y es fuerte, la conductividad varía constantemente (Gráfica 18), esto puede ser debido a que como las corrientes son fuertes, esta fuerza pase dentro del tubo y genere una corriente continua, evitando un ambiente interno y la acumulación de partículas dentro de este.

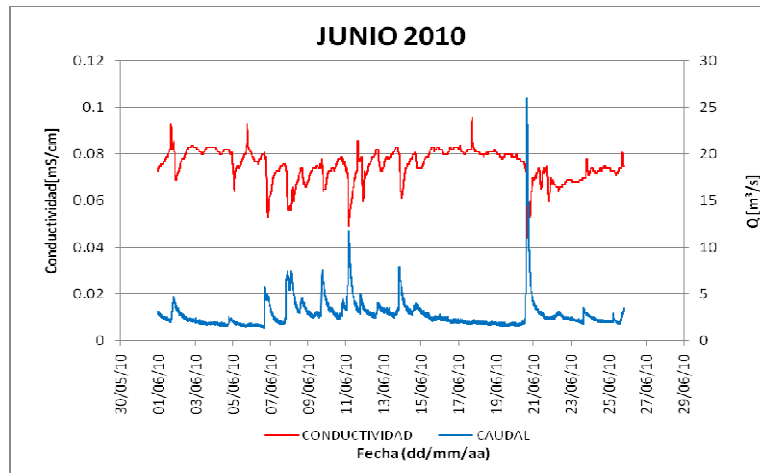
- También es de notar que cuando la altura del río aumenta por un evento de lluvia, la conductividad disminuye (Gráfica 19), lo cual podría ser un indicador de flujo base.

**Gráfica 17** variación de caudal y conductividad vs tiempo (tiempo de poca lluvia)



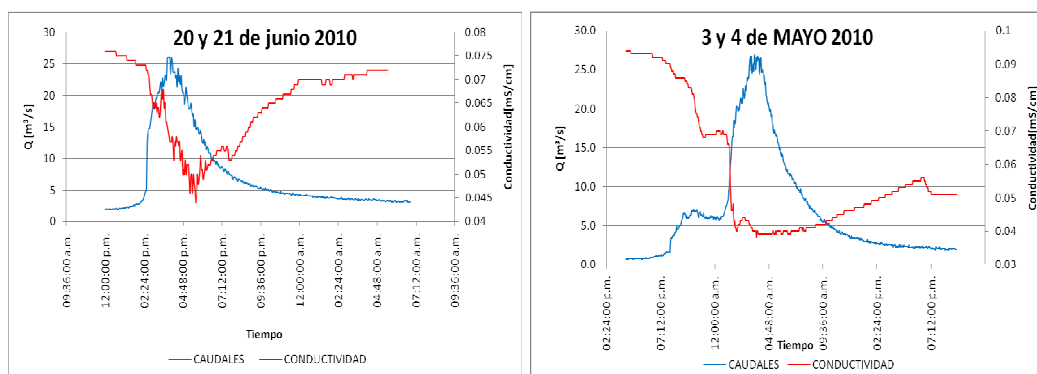
**Fuente:** Los autores

**Gráfica 18** variación de caudal y conductividad vs tiempo (tiempo de lluvia)



Fuente: Los autores

**Gráfica 19** Comportamiento de la conductividad en un Evento



Fuente: Los autores

La disminución de la conductividad cuando el caudal aumenta puede deberse a que el flujo superficial contiene menos iones que el flujo base, y como sabemos, estos iones son los que permiten la conductividad en el río.

Comparando en laboratorio la conductividad del agua de grifo y posteriormente con partículas de suelo, como muestra la ilustración 19, concluimos que la

conductividad varía muy poco (de 0.167 mS/cm a 0161 mS/cm), y que no depende del suelo si no de los iones que este contenga.

**Ilustración 19** conductividad en agua de grifo



**Fuente:** Los autores

## 6.5. NIVELES

Se realizaron lectura de datos durante el año 2009 y los 6 primeros meses del año 2010 para un total de 18 meses, registrando épocas de lluvias fuertes y épocas secas como la presentada en los primeros meses del año 2010.

La altura promedio del río se encuentra entre 30 y 50 cm para épocas normales, de poca lluvia, llegando a alcanzar una altura de 191.2 cm en un evento de lluvia y de 28.7 cm en el momento más seco.

## 6.6. CAUDALES

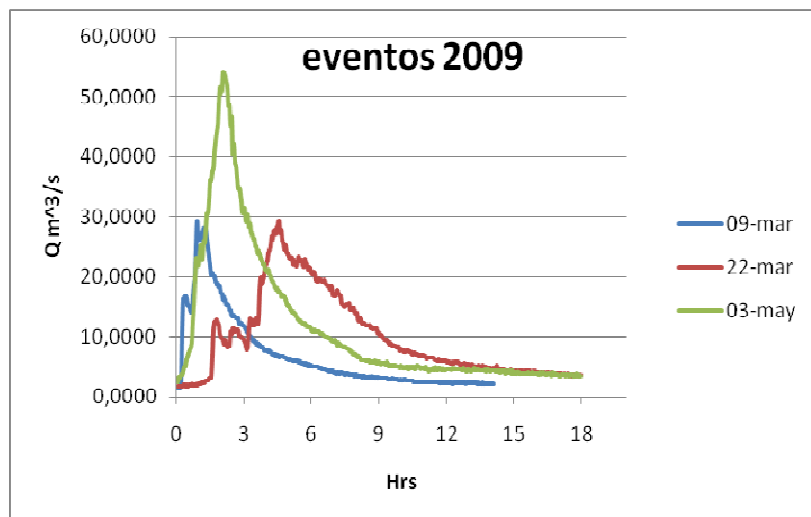
A pesar de las variaciones y errores de los equipos, podemos por medio de la compensación calcular los niveles de agua cada 3 minutos que es el rango de tiempo en el cual se toman los datos, con estos y por medio de la ecuación obtenida de la curva de calibración  $Q=1.274*10^{-4}*H^{2.467}$  podemos calcular los

caudales cada 3 minutos, y al posteriormente promediar los datos registrados durante un día, se minimiza el error y garantizamos que el caudal promedio del día sea un dato más cercano al real.

Como vimos en la tabla 4 el error total al aplicar la ecuación a los datos obtenidos por los Diver's varia y para caudales bajos tenemos un error de hasta 9.46 % (un caudal de 0.735 m<sup>3</sup>/s)

Graficamos los eventos más importantes durante el 2009.

**Gráfica 20:** Eventos de lluvia en el 2009



**Fuente:** Los autores

En estos tres eventos el más grande fue el registrado el 3 de mayo en el cual la altura del río en el punto de monitoreo aumento de 52.5 cm equivalentes a 2.23 m<sup>3</sup>/s a 191.2 cm, un total de 138.7 cm en dos horas comprendidas entre las 8:09 pm a 10:12 pm. Esta altura supone un caudal que calculado según la ecuación obtenida de la curva de calibraciones es:

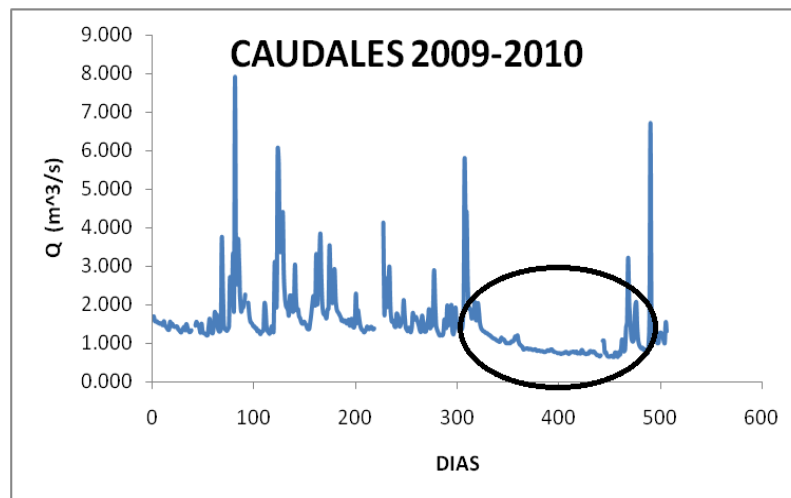
$$Q=1.274*10^{-4}*191.2^{2.467}= 54.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

En contraste a esta situación encontramos una época de poca lluvia como podemos notar en la Gráfica 20 en la cual están todos los caudales medios diarios registrados durante el año 2009 y los 5 primeros meses del año 2010.

### 6.7. RECESIÓN EN EL RÍO DE ORO

La recesión en el río de oro es lenta, como muestra la gráfica 20. Para observar la curva de recesión del río aprovechamos la época seca que se registra claramente durante el tiempo comprendido entre los últimos meses del año 2009 y en los primeros meses del año 2010, del 16 de Noviembre de 2009 hasta el 16 de Marzo de 2010 para un total de 121 días.

**Gráfica 21:** Caudales medios diarios 2009-2010



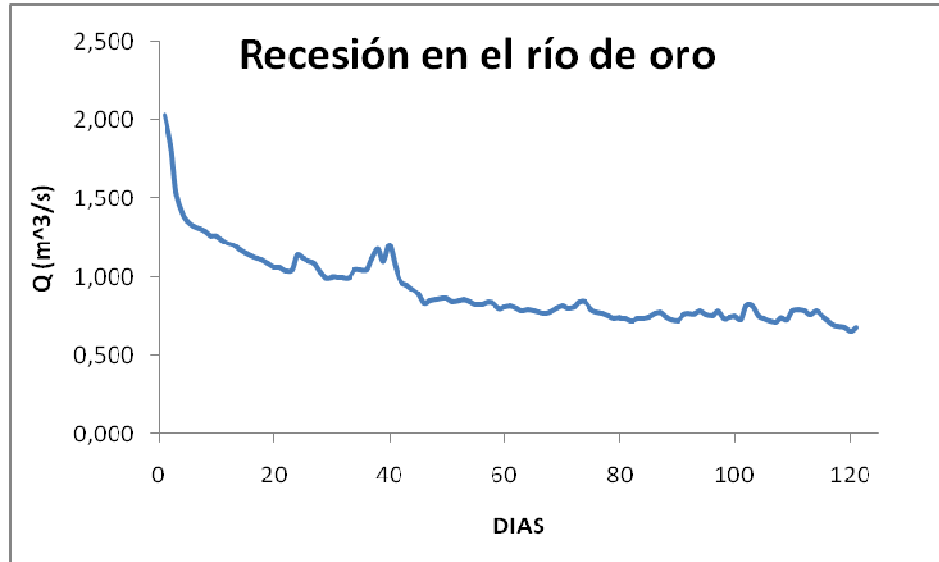
**Fuente:** Los autores

**Tabla 6:** Caudales medios diarios de noviembre a marzo 2010

día/mes	Noviembre	Diciembre	ene-10	febrero-10	mar-10
1		1,127	0,847	0,748	0,720
2		1,115	0,852	0,736	0,712
3		1,105	0,856	0,737	0,735
4		1,081	0,861	0,732	0,724
5		1,062	0,840	0,717	0,780
6		1,057	0,844	0,735	0,790
7		1,035	0,850	0,732	0,780
8		1,039	0,833	0,744	0,757
9		1,136	0,820	0,762	0,782
10		1,111	0,824	0,770	0,758
11		1,097	0,835	0,743	0,726
12		1,083	0,830	0,728	0,691
13		1,028	0,796	0,719	0,683
14		0,992	0,803	0,758	0,679
15		0,999	0,810	0,766	0,652
16	2,030	0,997	0,797	0,763	0,680
17	1,840	0,994	0,785	0,780	
18	1,540	0,997	0,792	0,755	
19	1,405	1,044	0,784	0,752	
20	1,351	1,045	0,771	0,781	
21	1,320	1,045	0,765	0,732	
22	1,302	1,114	0,776	0,739	
23	1,287	1,174	0,798	0,748	
24	1,260	1,098	0,814	0,727	
25	1,257	1,202	0,796	0,812	
26	1,233	1,061	0,805	0,813	
27	1,210	0,973	0,833	0,749	
28	1,198	0,949	0,835	0,729	
29	1,173	0,919	0,791		
30	1,148	0,894	0,775		
31		0,832	0,767		

Fuente: Los autores

**Gráfica 22** recesión en el Río de Oro



**Fuente:** Los autores

## CONCLUSIONES

- Se realizó la calibración e instalación de un CTD Diver (medidor de conductividad, temperatura y niveles del agua, marca Eijkelkamp) en la estación hidrométrica automática del río de Oro el día 18 de diciembre de 2009. En pruebas realizadas en el laboratorio con el CTD y una sonda multiparamétrica de contacto eléctrico tipo KLL-Q-2 marca Seba (Proyecto de grado nieta y pulido), que mide la conductividad del agua, se estableció que el equipo CTD funciona con un error promedio de 1.99% (rango dentro de las especificaciones del fabricante) para conductividades bajas (<1.413 ms/cm), ya que el equipo fue calibrado para estas conductividades. Para las conductividades altas presenta un mayor error, y si deseáramos minimizarlo se debería calibrar completamente el Diver en los cuatro puntos que mencionad el software Diver Office en el momento de la calibración.
- Se observó que el valor de la conductividad eléctrica desciende cuando aumenta el caudal en el río, este parámetro puede ser un indicador de separación de flujo base, ya que la presencia de iones en el agua es más alta (70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en temporadas de verano debido a que solo contribuye el flujo base, por el contrario, en las temporadas de invierno además del flujo base tenemos flujo superficial lo cual disminuye la concentración de iones presentes en el río (30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

- Debido a que en el río, al medir la altura de agua fuera del tubo limnimétrico y posteriormente compararla con la altura de agua obtenida por los equipos Diver y CTD Diver no daban iguales, se realizaron pruebas en el laboratorio y se halló un error relativo del Diver igual a 1.5% de la presión medida y 0.6% para el CTD Diver (rango dentro de las especificaciones del fabricante). Teniendo en cuenta que el rango de presiones que registra el Diver y el CTD Diver varía entre 900 cm y 1010 cm, se puede promediar un error absoluto de 14 cm para el Diver y 5.5 cm para el CTD Diver.
- El ciclo diario de la temperatura del agua es el siguiente: en las horas de la mañana antes de las 10:00 a.m. tiene un valor mínimo, comienza a aumentar hasta que llega a su máximo en el día al terminar la tarde para comenzar a descender hasta el próximo día y completar el ciclo. El ciclo que se observa en la temperatura del ambiente es similar aunque un poco desfasado, su valor más alto se da cerca de las 2 p.m. y su valor más bajo en las horas de la mañana antes de las 8 a.m.
- El ciclo de la presión atmosférica que se observó es el siguiente: en la mañana entre las 3:00 y 6: a.m. se presenta un mínimo, comienza a aumentar hasta el medio día y luego vuelve a disminuir tomando su valor más bajo del ciclo en la tarde entre 3:00 y 5:00 p.m. después de este pico aumenta nuevamente hasta la media noche y por último disminuye en la madrugada para completar el ciclo.
- Los cambios de densidad generados por los eventos de lluvia no son significativos. En laboratorio se simuló algunas densidades añadiendo lodo al agua y los resultados finales de altura obtenidos con el Diver no fueron afectados, sin embargo, si en el río se

produce una avalancha y el agua trae consigo muchos lodos, se podría presentar alguna variación de la densidad que afecte la altura medida. Para lo cual se recomienda hacer un estudio detallado para determinar en qué momento la densidad del agua producida por las partículas de suelo presentes en ella, puede llegar a alterar la precisión de los datos obtenidos.

## RECOMENDACIONES

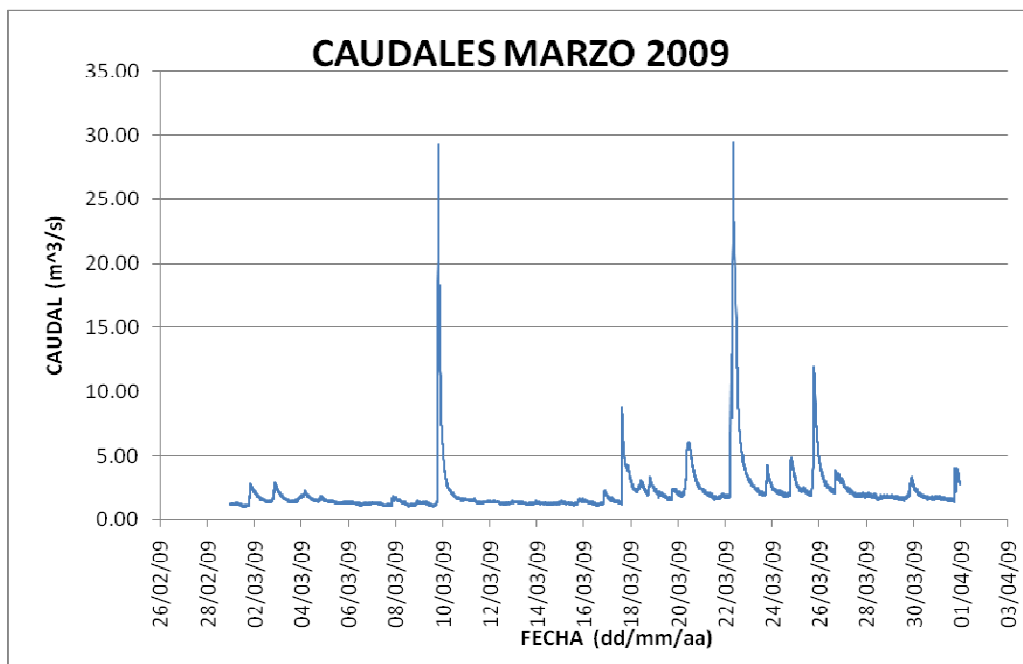
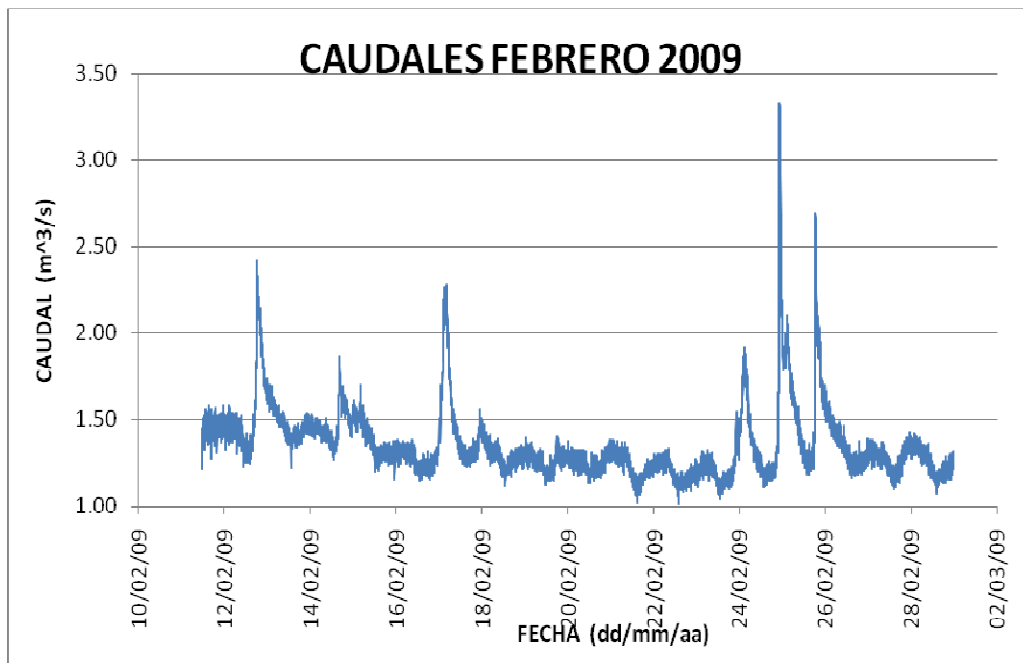
- Para que el CTD Diver pueda ser usado en aguas con conductividades altas y para que estos valores sean confiables es necesario calibrar el equipo para dicho rango ya que solo se encuentra calibrado para conductividades menores a 1.413 mS/cm.
- En la calibración manual del CTD Diver es necesario seguir el procedimiento descrito en este trabajo para tener una buena confiabilidad de los datos obtenidos. Se recomienda restablecer la calibración de fábrica si tiene dificultades para calibrar su CTD-Diver, ya que este equipo consta con esta calibración en su memoria.
- Si se desea retirar el Diver de la estación es preferible hacer más aforos para poder realizar la curva de calibración para el CTD Diver ya que esta solo sirve para los niveles obtenidos con el Diver.
- Para mejorar la curva de calibración en temporadas de lluvias (caudales altos) se recomienda utilizar el vertedero de la bocatoma del acueducto como sección de aforo.
- La conductividad eléctrica del agua es un indicador de la calidad de esta, y puede ser un indicador de de separación de flujo base, por tanto es recomendable realizar un estudio detallado de este indicador y su relación con el cambio de caudal.
- Es recomendable instalar un sistema de toma de datos en tiempo real, que nos permita acceder a los datos en cualquier momento y también pueda producir algún tipo de alerta cuando los caudales estén muy altos. En el anexo D de este documento, se menciona el sistema que puede llegar a ser la solución para este problema.

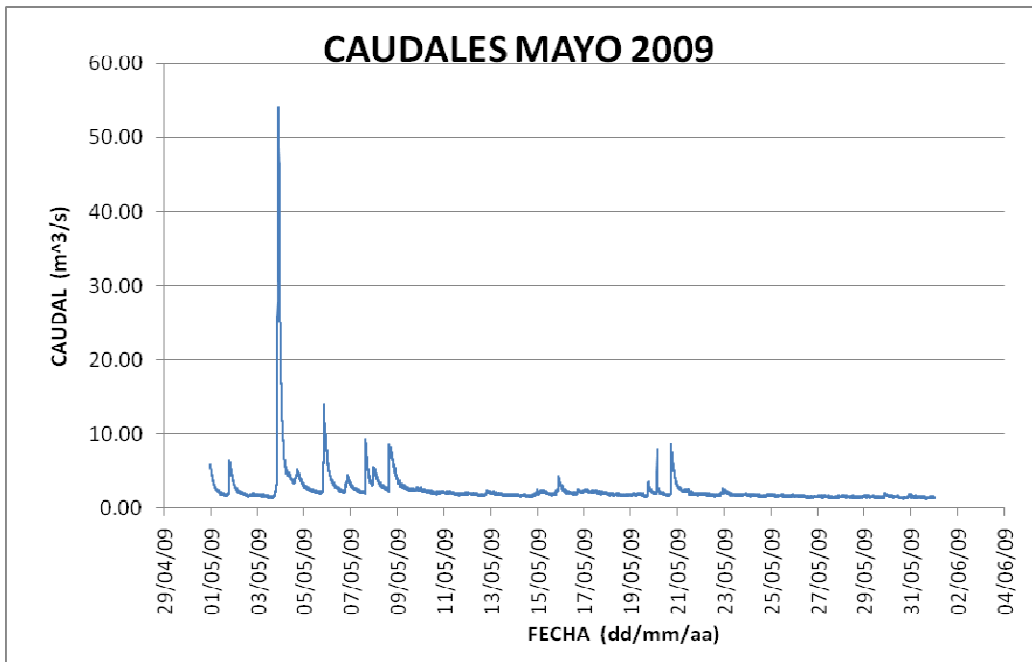
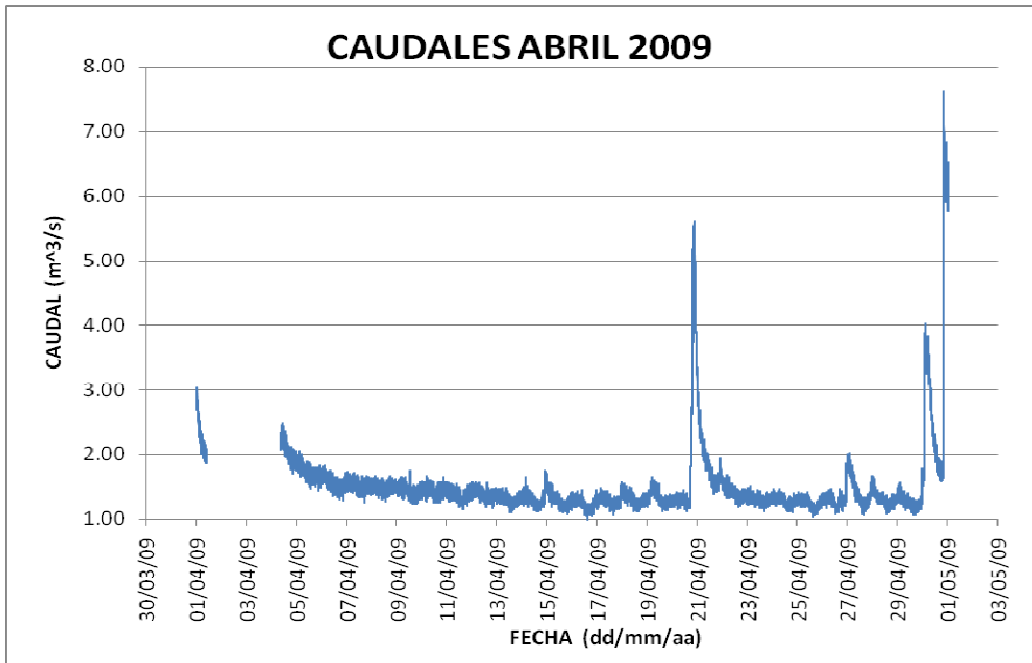
## BIBLIOGRAFÍA

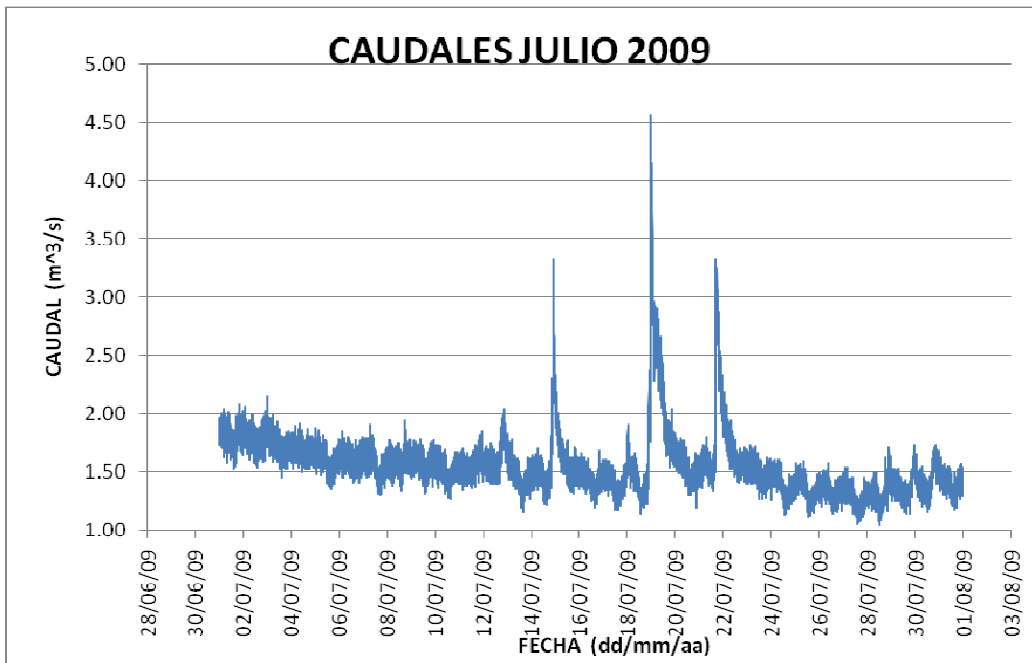
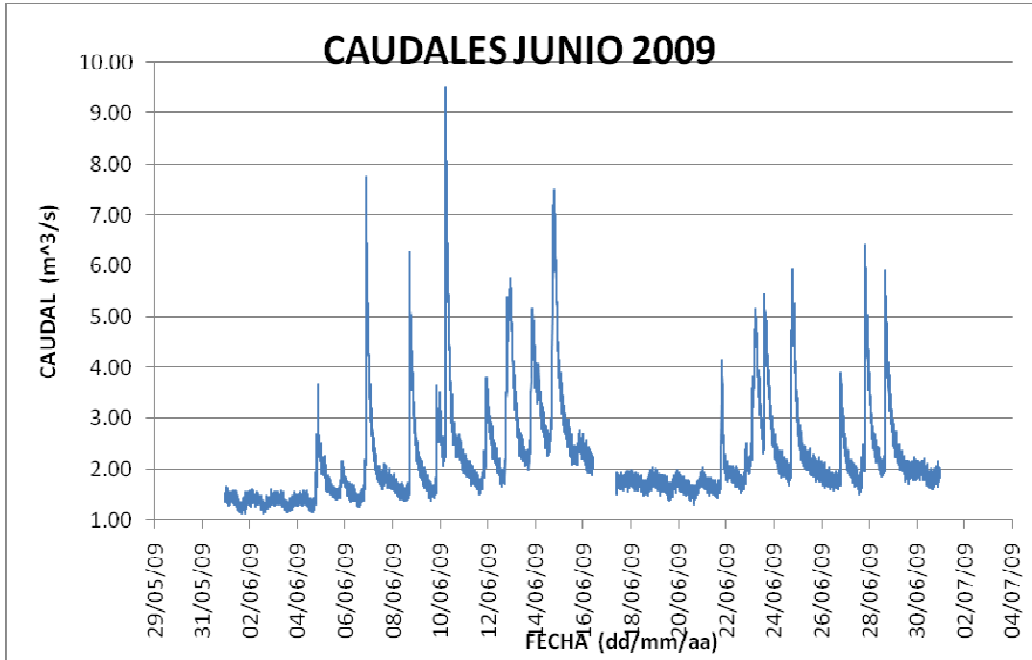
- ✓ Flórez Leal, Wilmer & Rueda Núñez, José Alfredo (2008); Curva de calibración y funcionamiento de la estación hidrométrica automática del río de oro. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander.
- ✓ Hernández Hernández, Laura Isabel & Saltarín Mesa, Diego Andrés (2007); Montaje operación y calibración de la estación hidrométrica automática para medición de niveles en el río de oro, estación conquistador alto. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander
- ✓ SCHLUMBERGER Water Services by Van Essen Instruments BV (2006). Diver Product Manual <http://www.swstechnology.com>
- ✓ Ven Te cchow, Hidrología aplicada, Editorial Mc Graw Hill, 1994

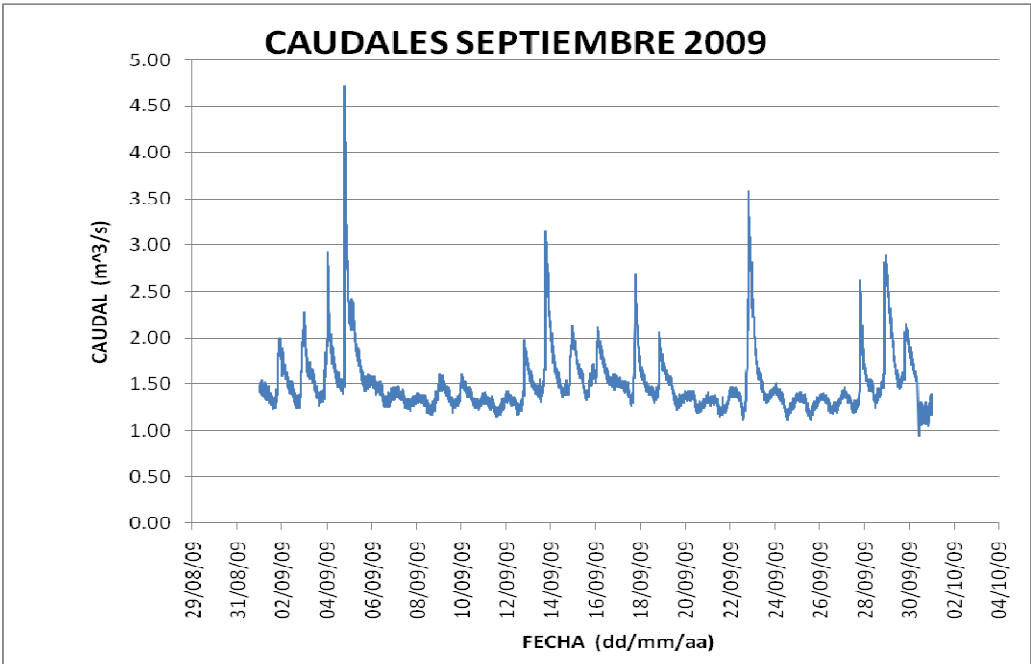
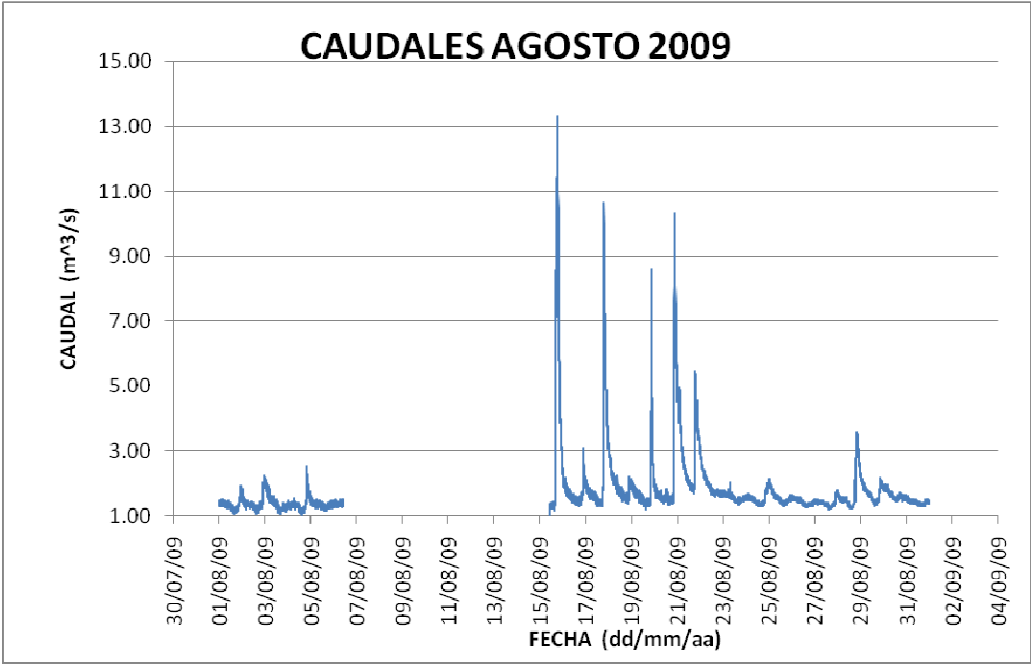
## **ANEXOS**

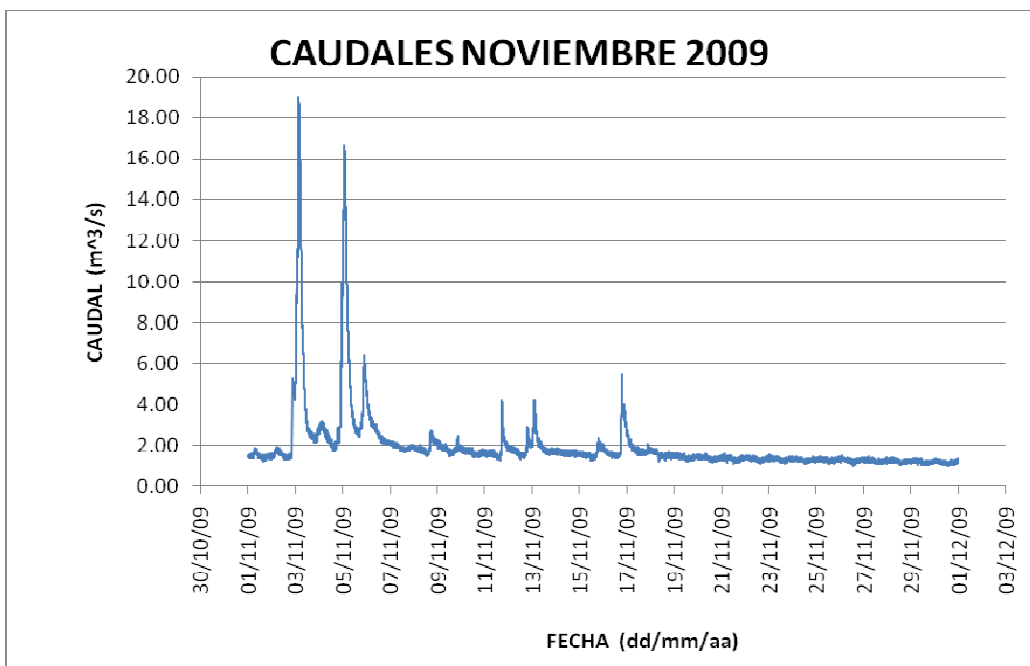
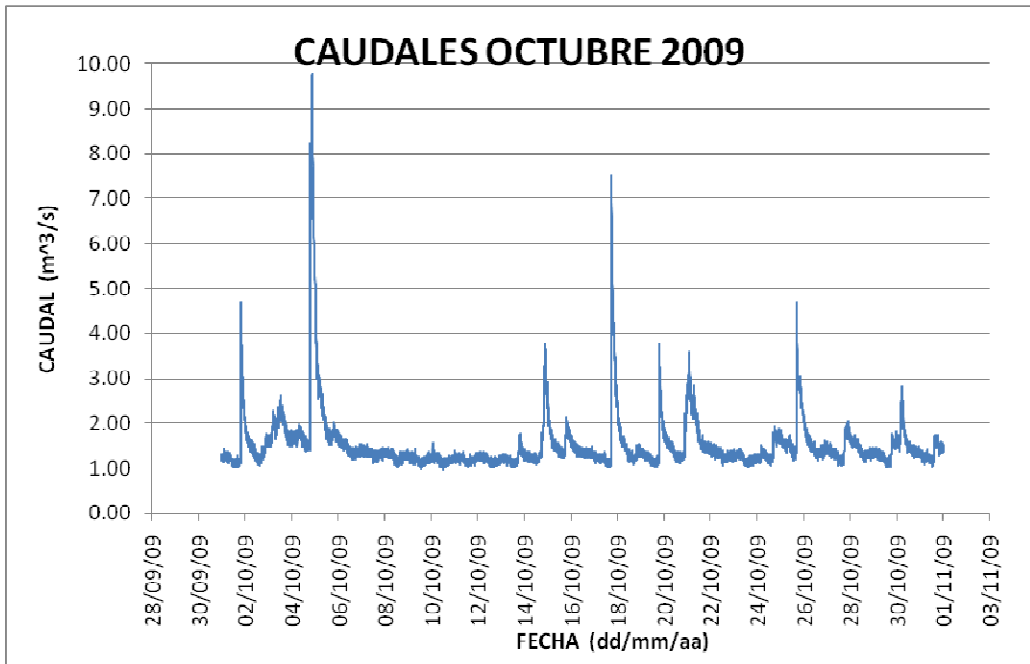
**Anexo A:** Variación mes a mes de caudales mes a mes del 11 de febrero de 2009 al 27 de junio de 2010.

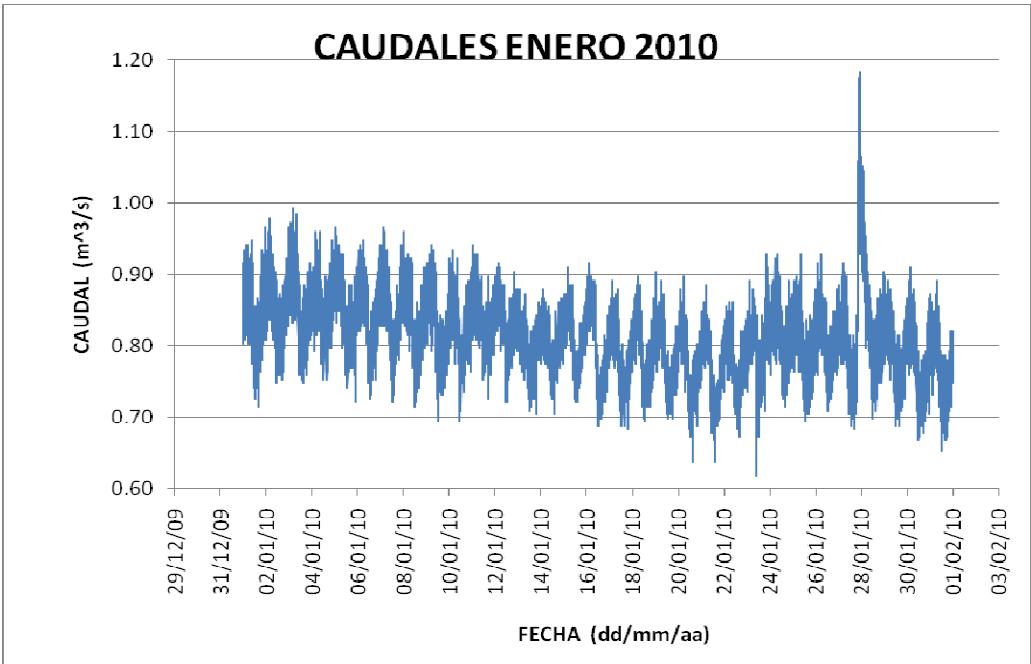
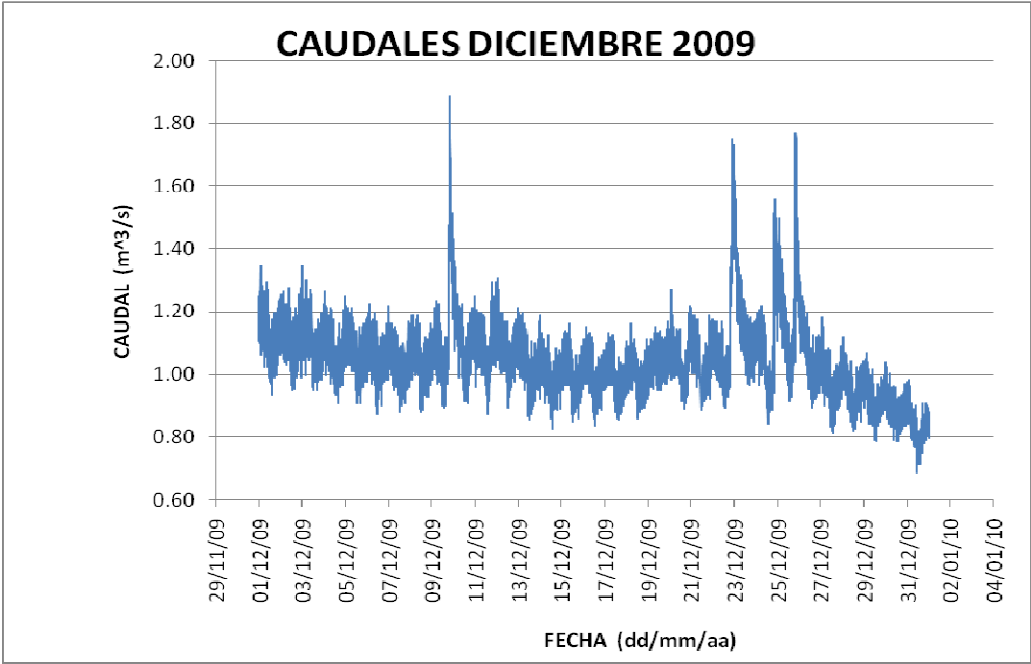


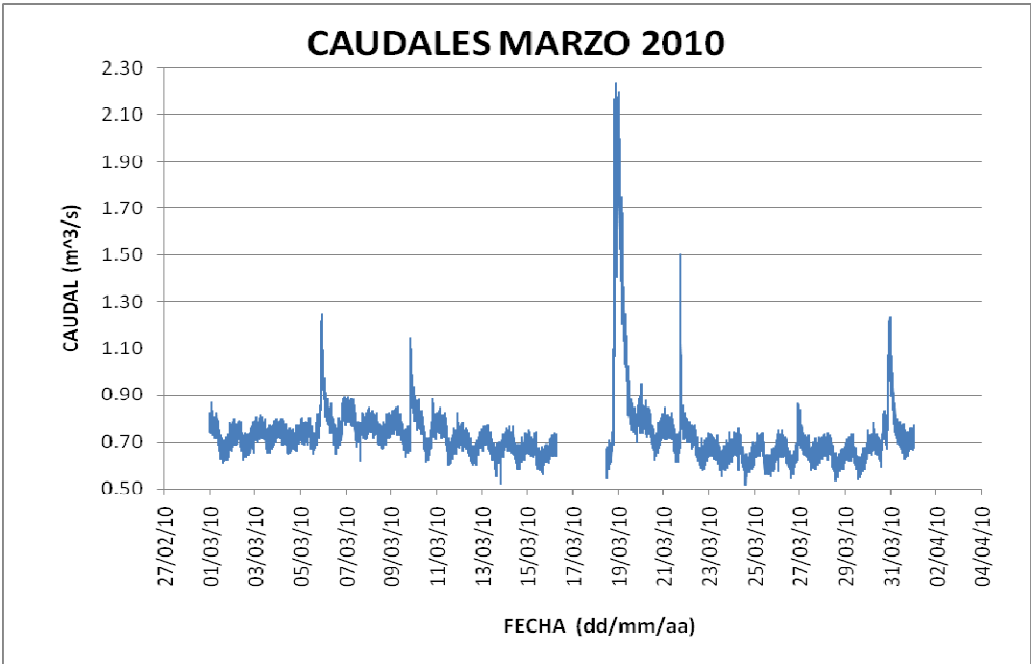
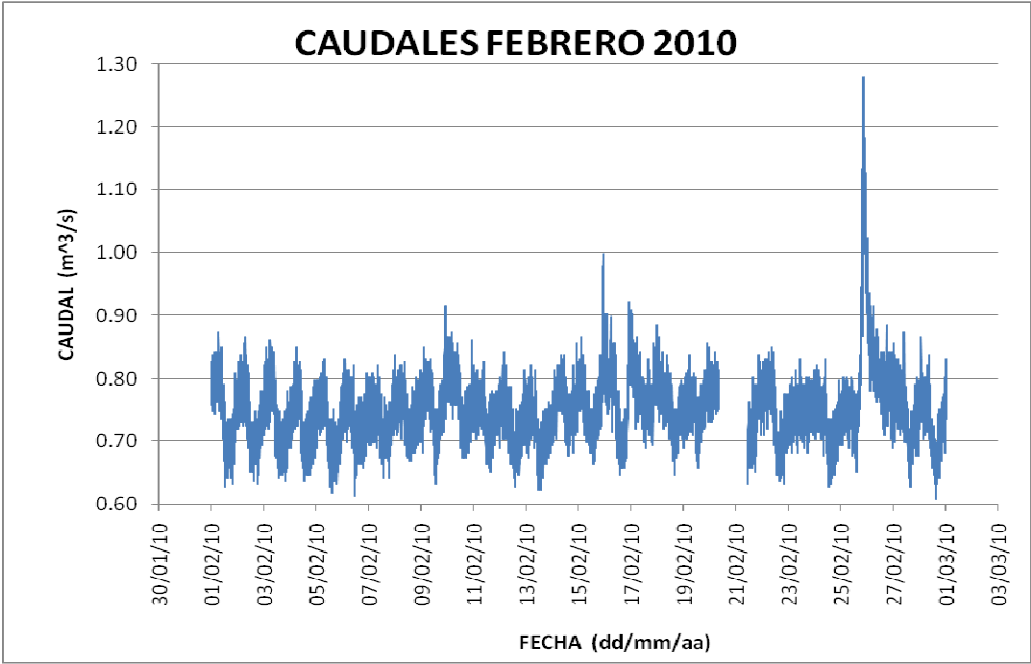


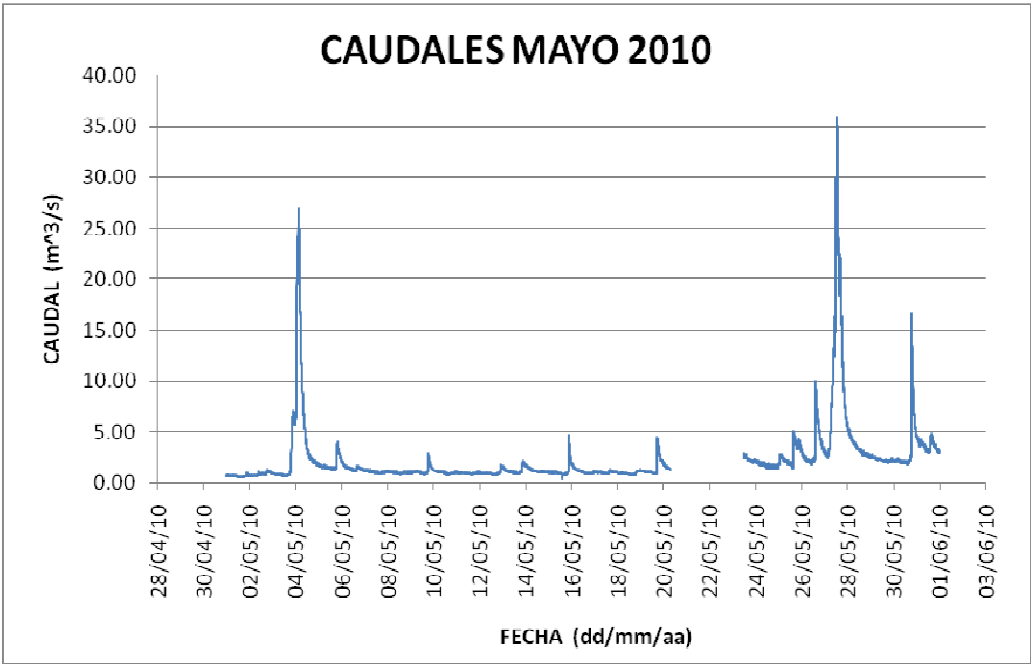
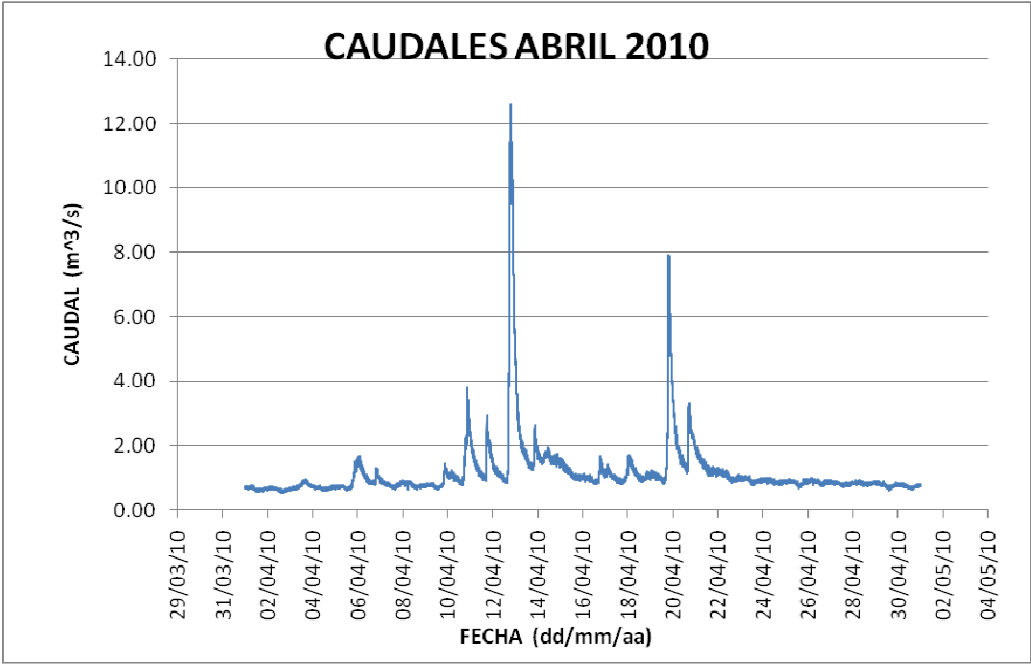


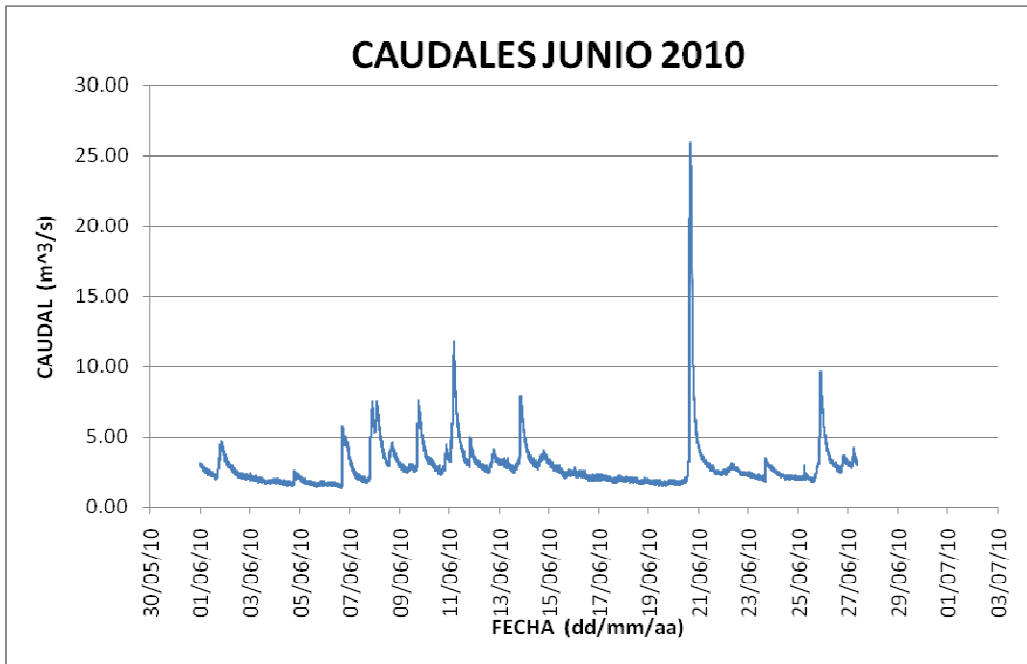




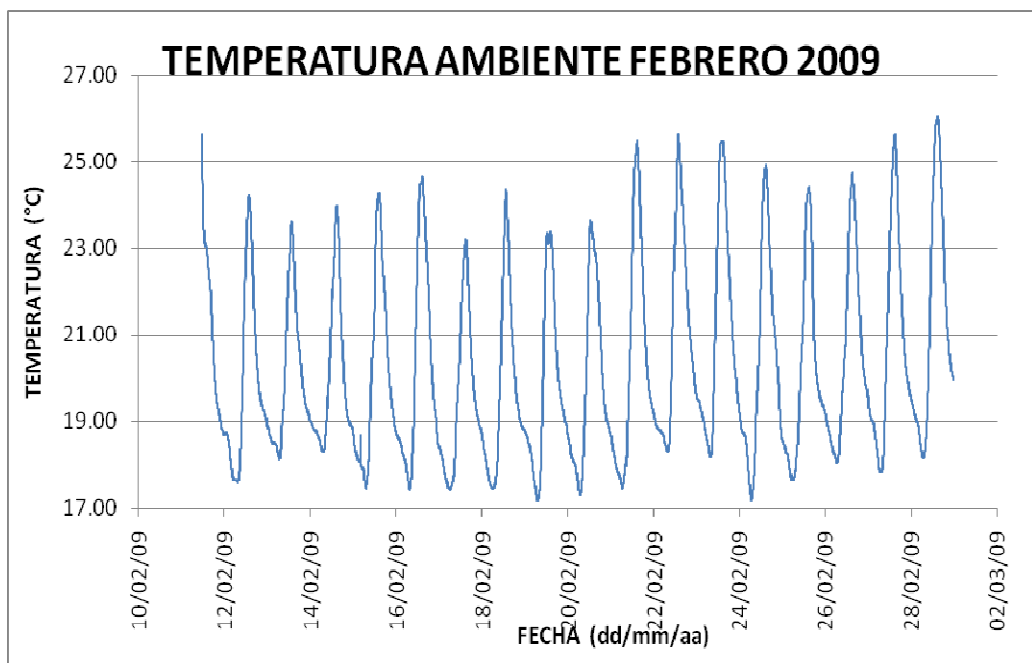
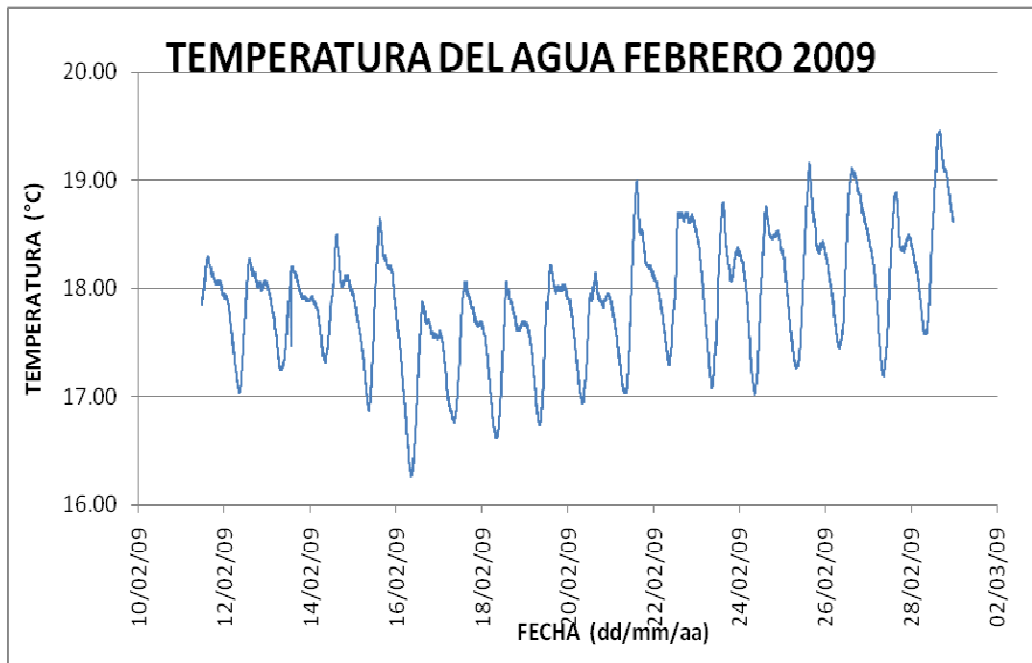


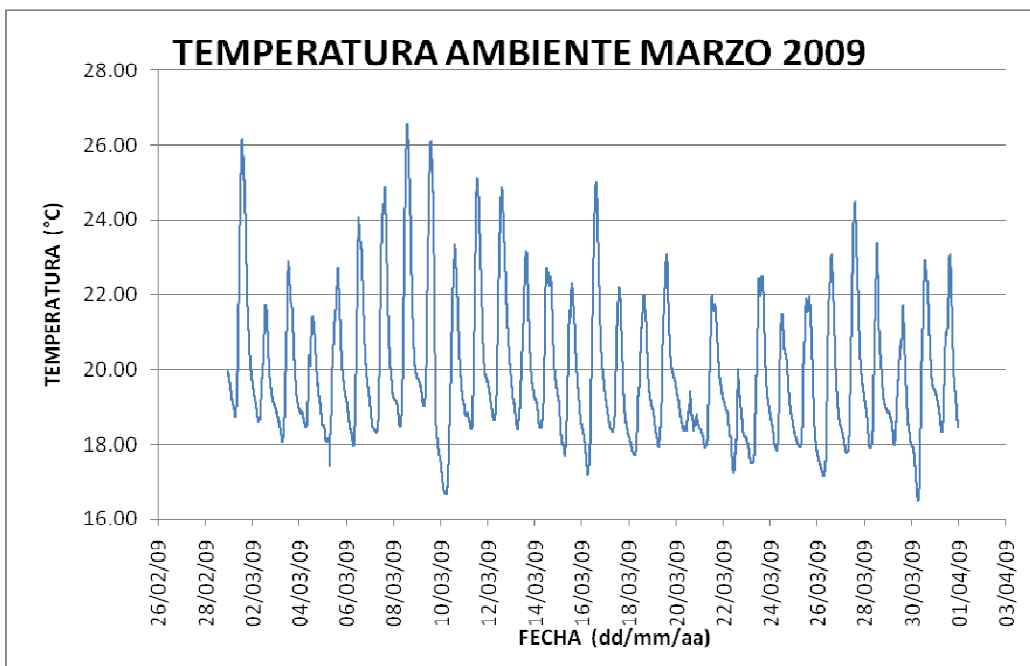
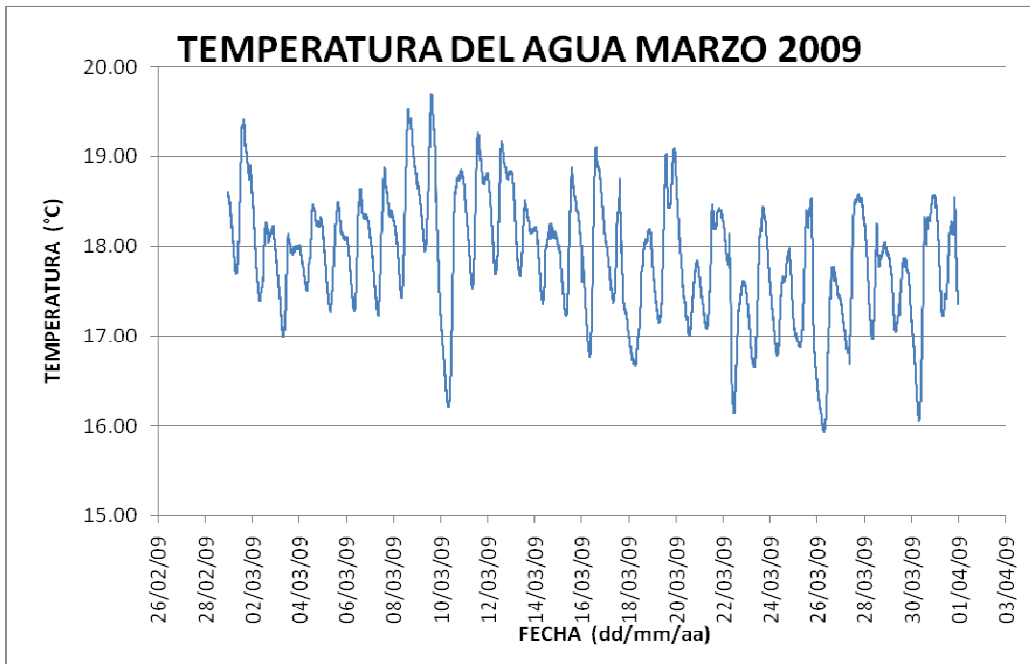


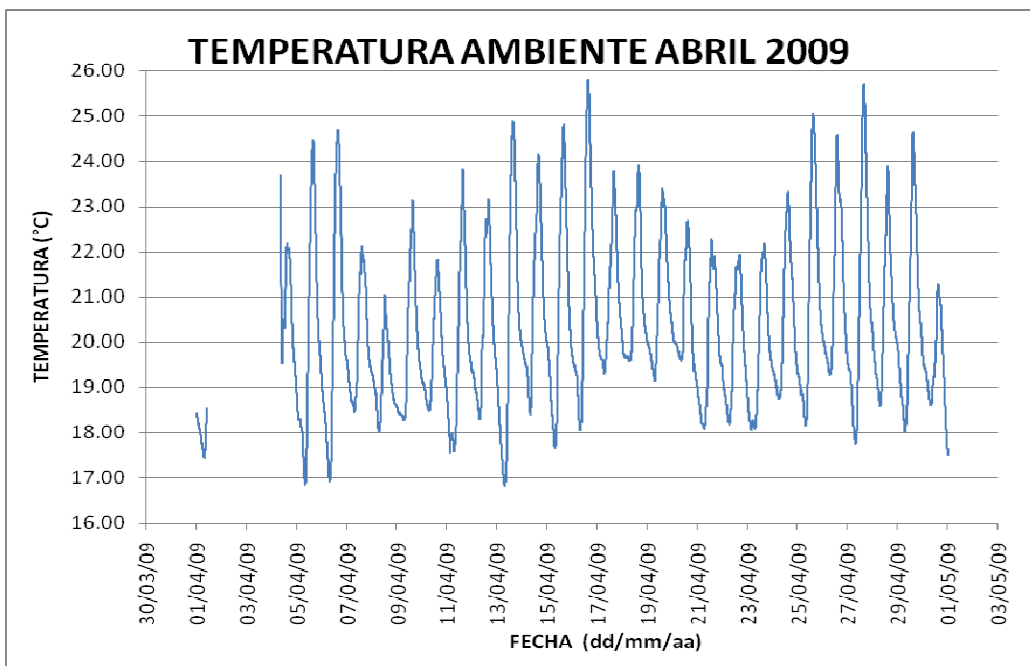
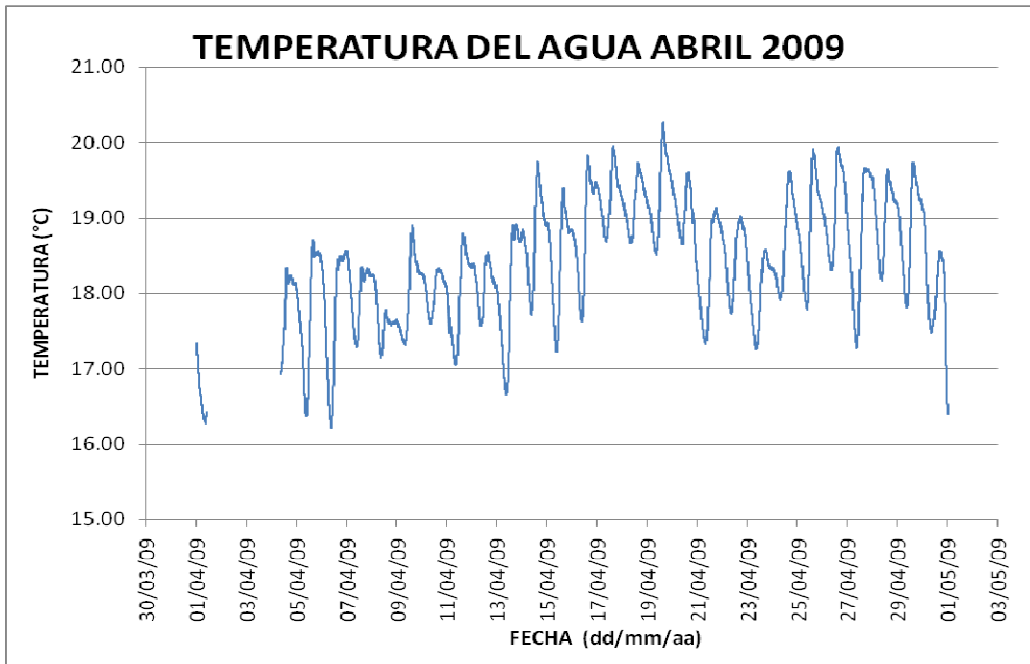


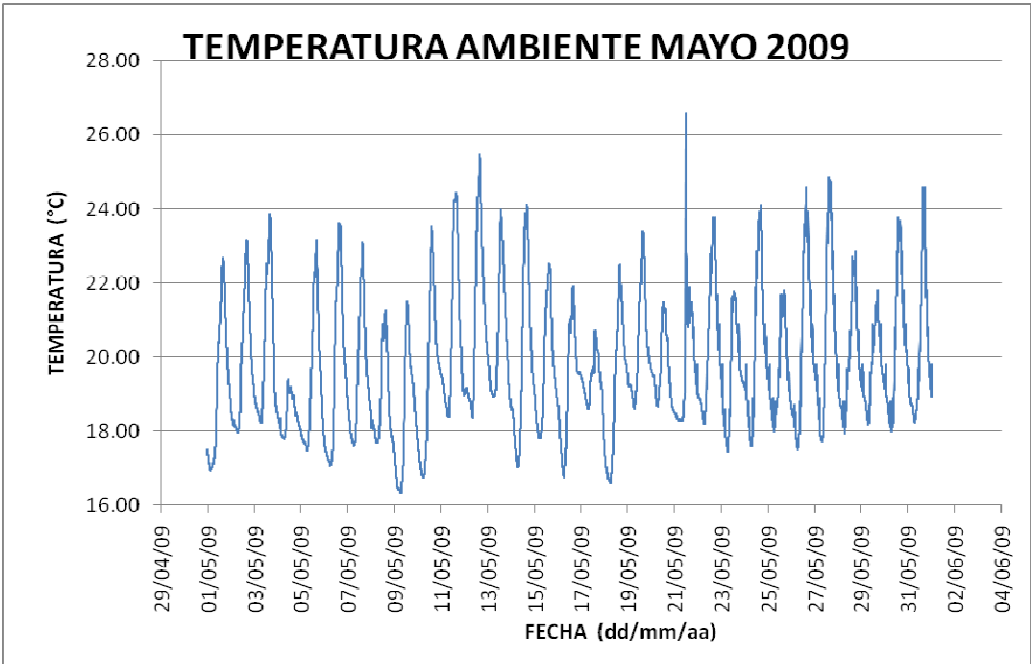
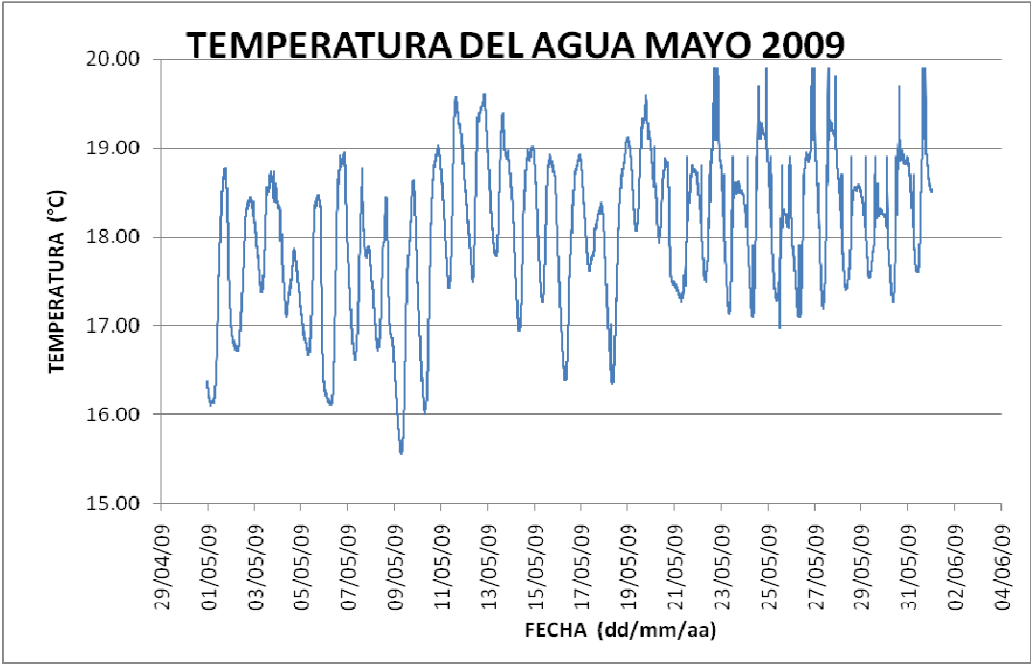


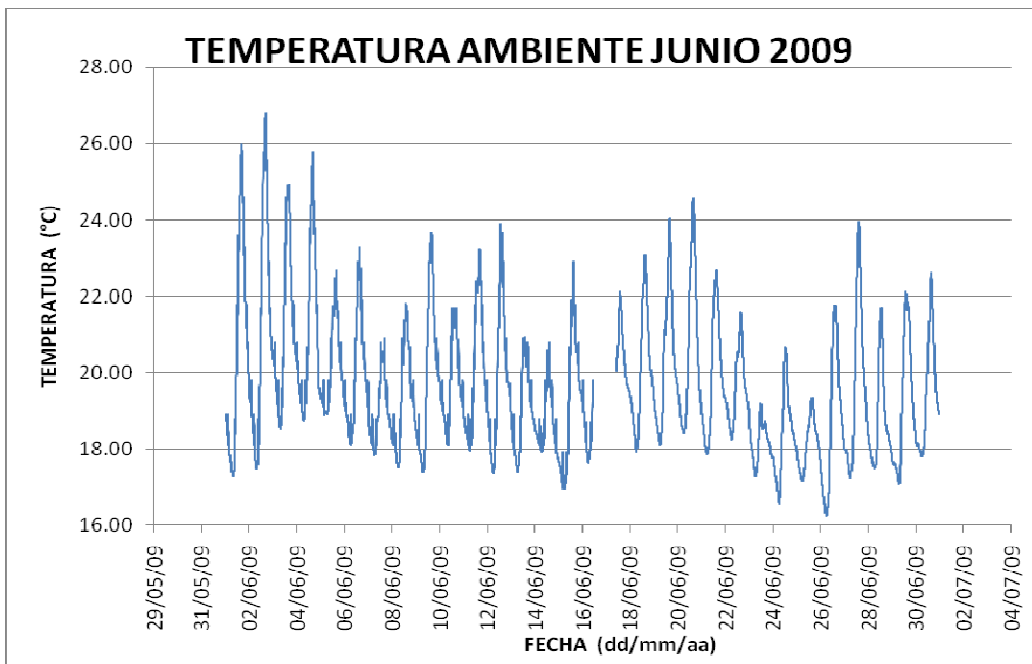
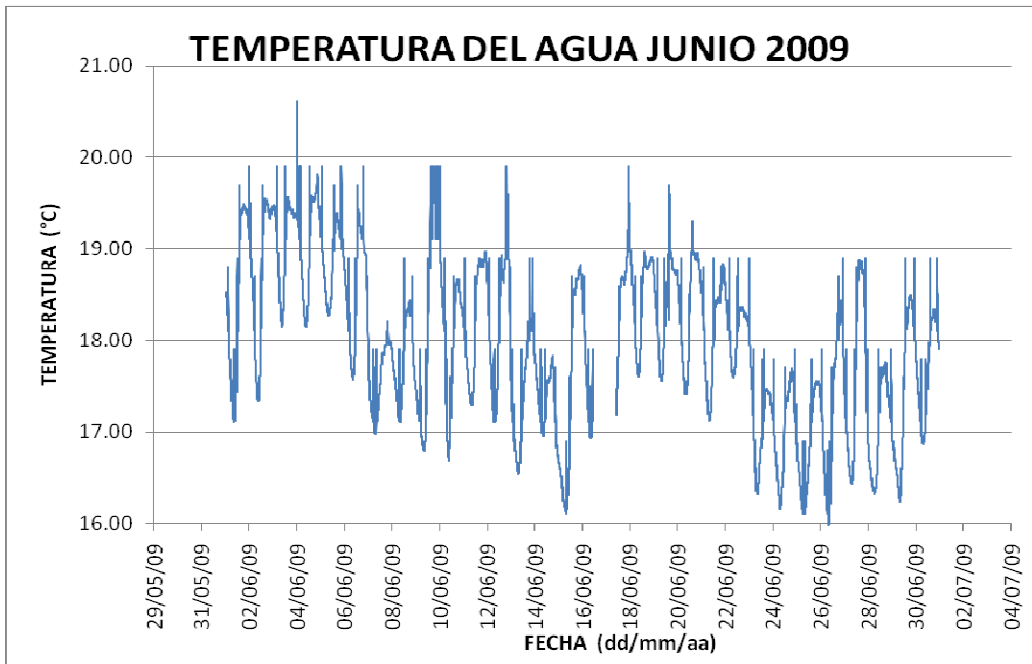
**Anexo B:** Variación mes a mes de la temperatura ambiente y del agua.

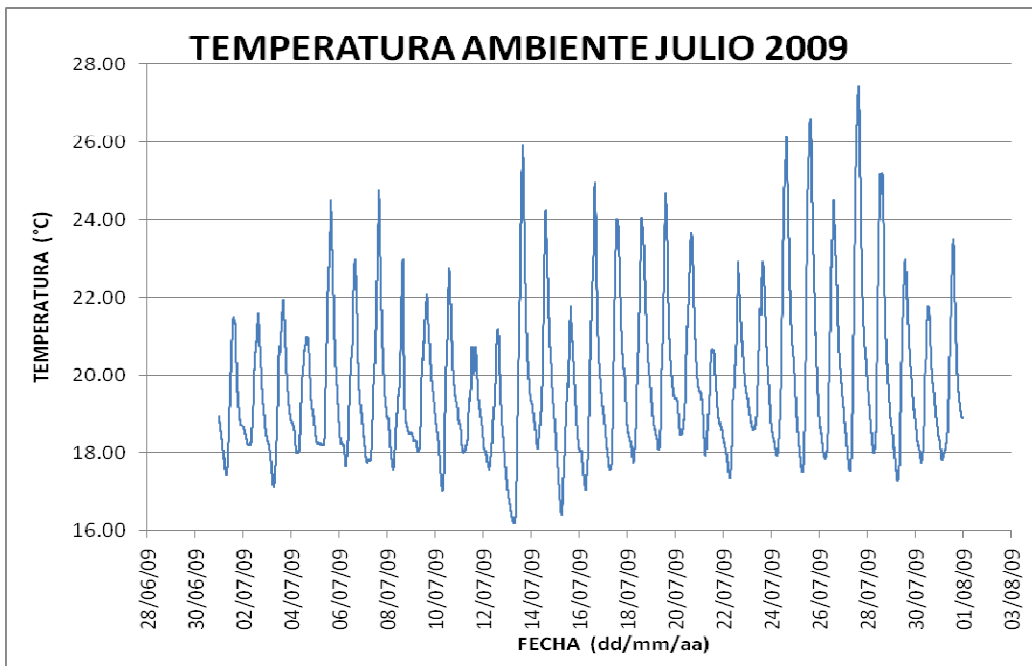
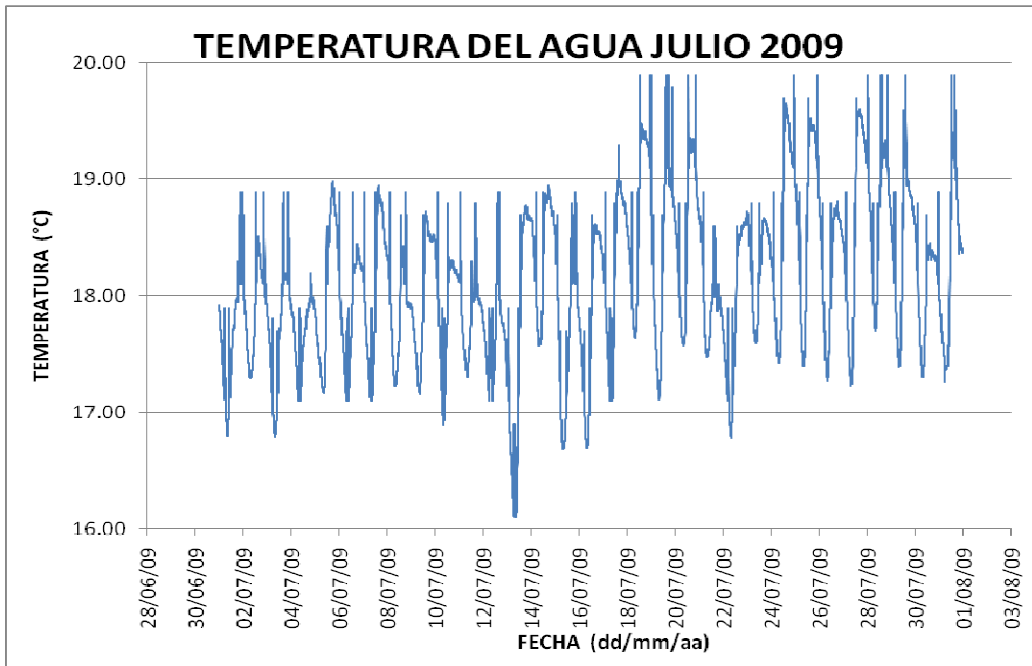


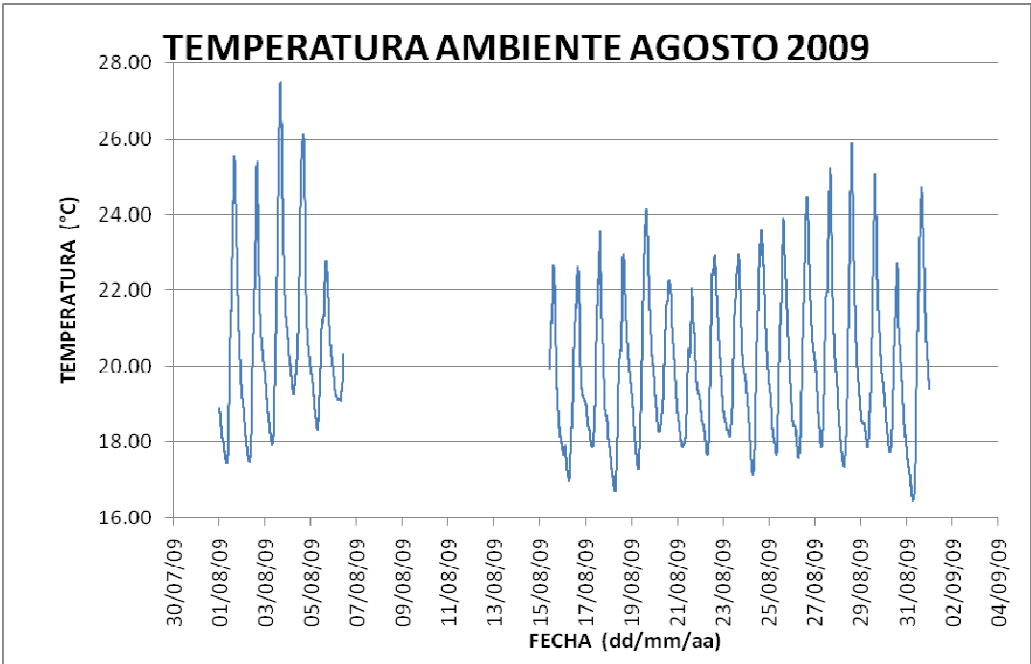
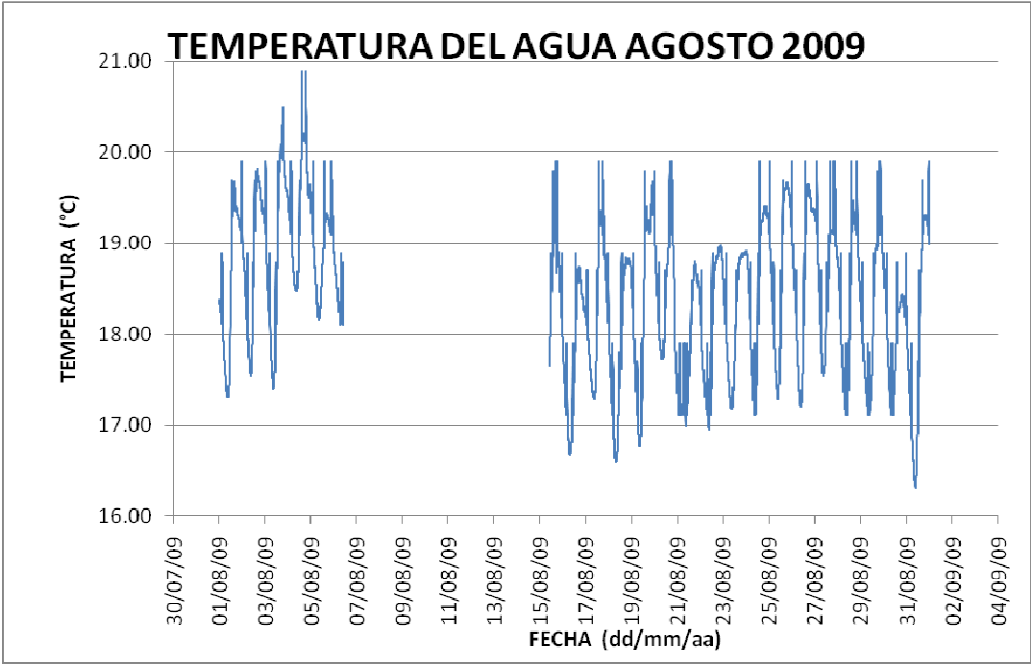


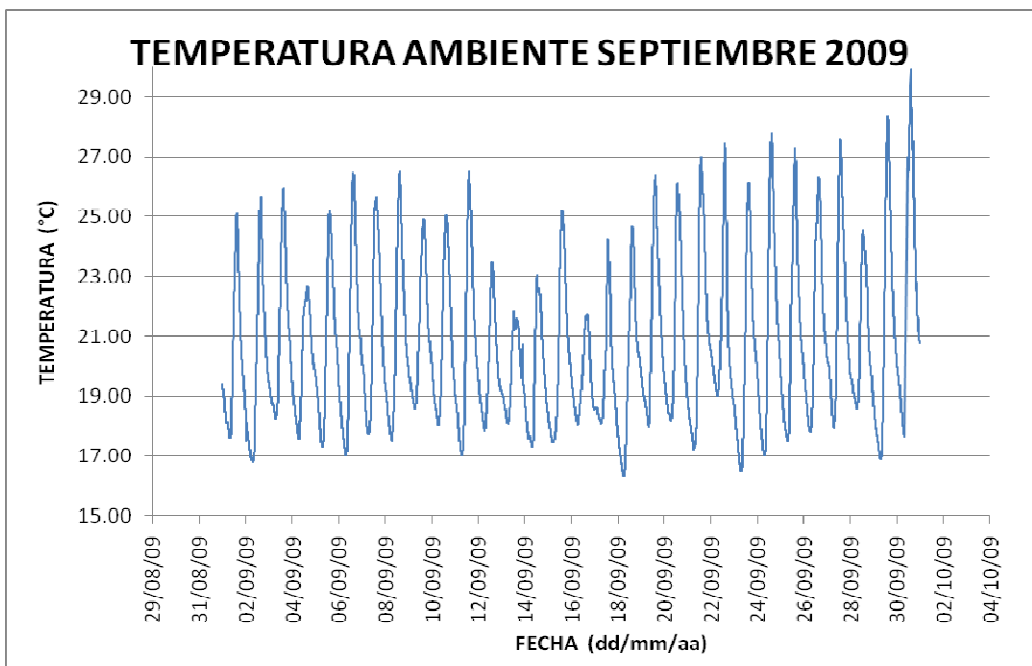
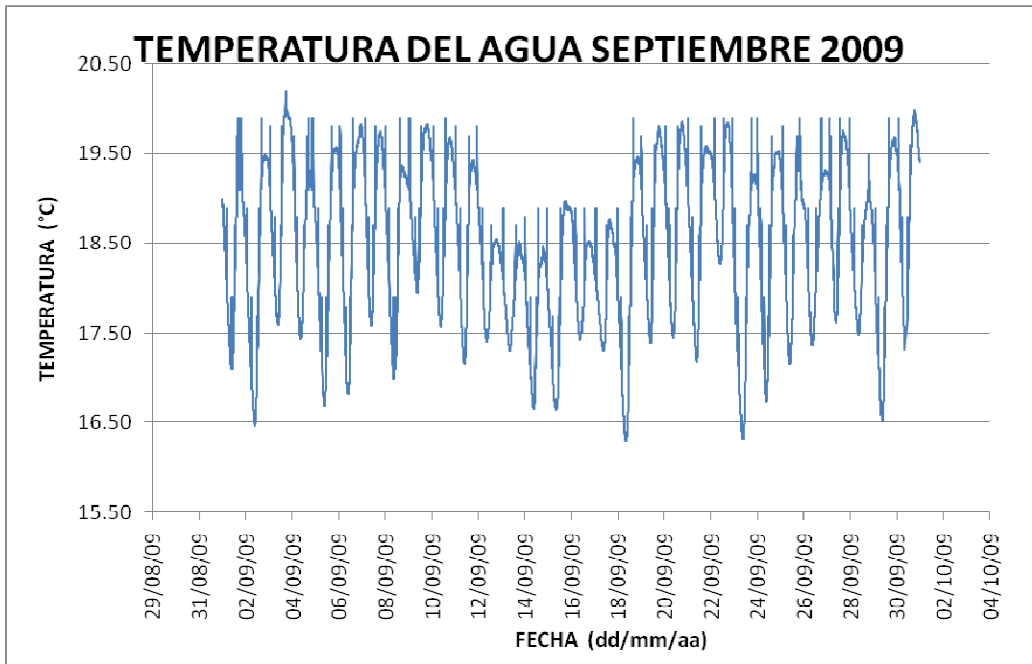


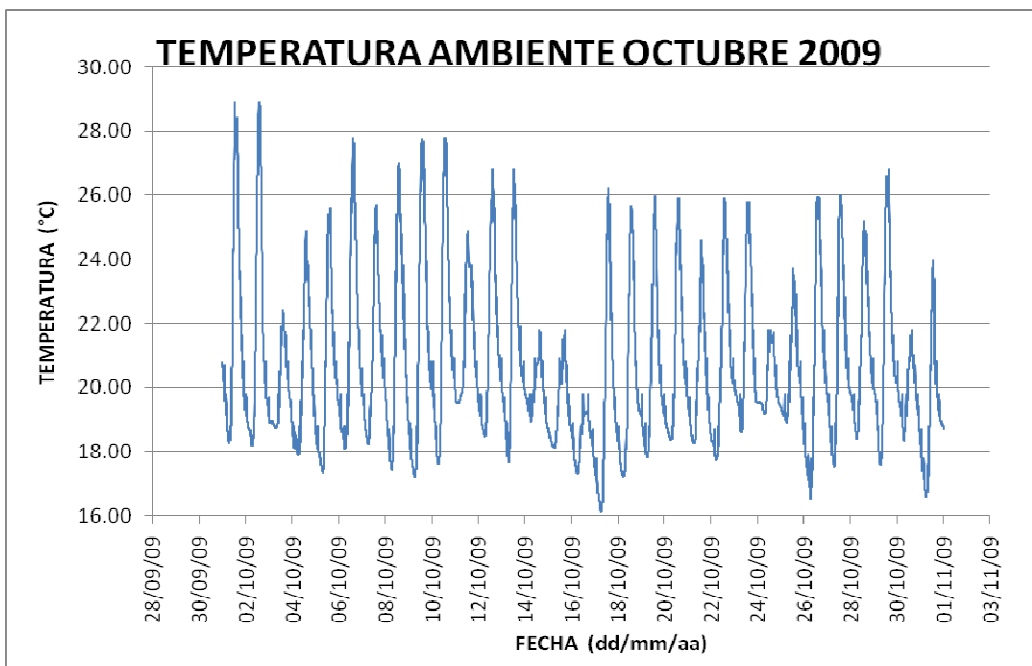
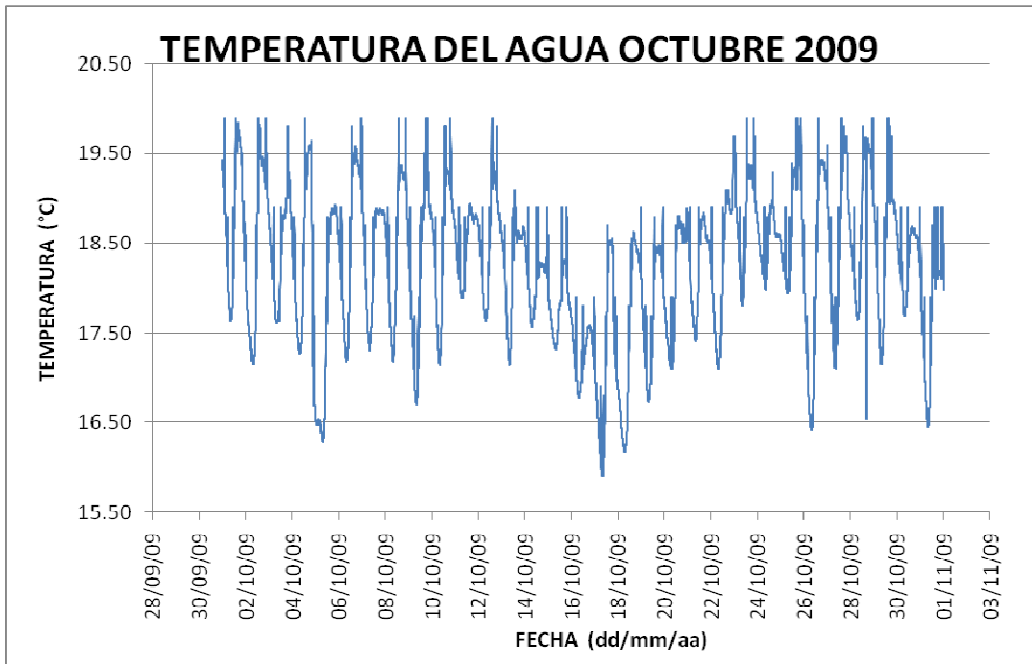


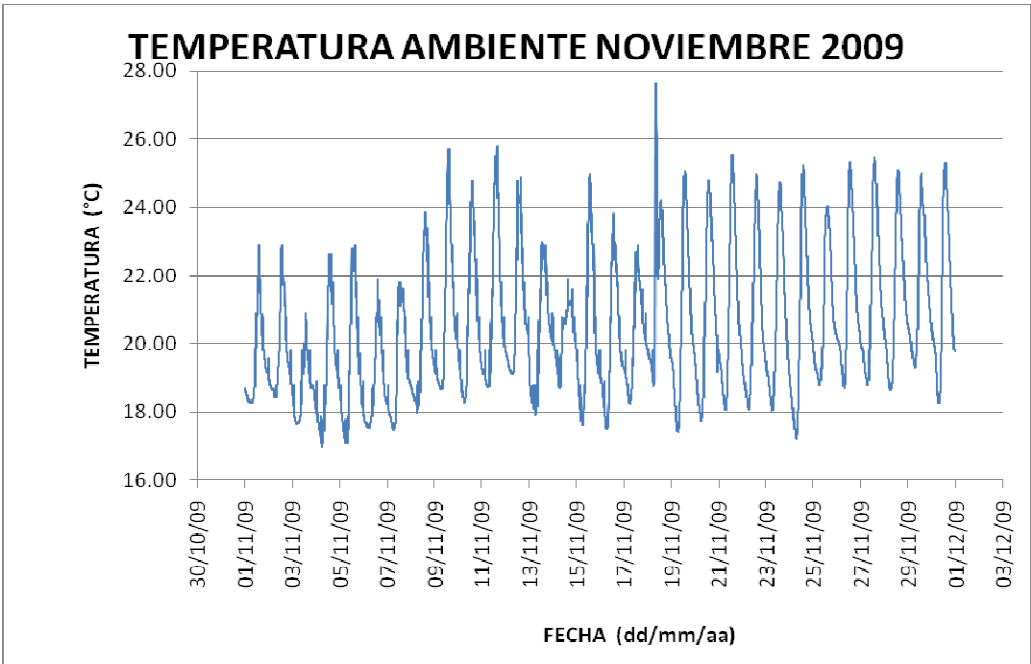
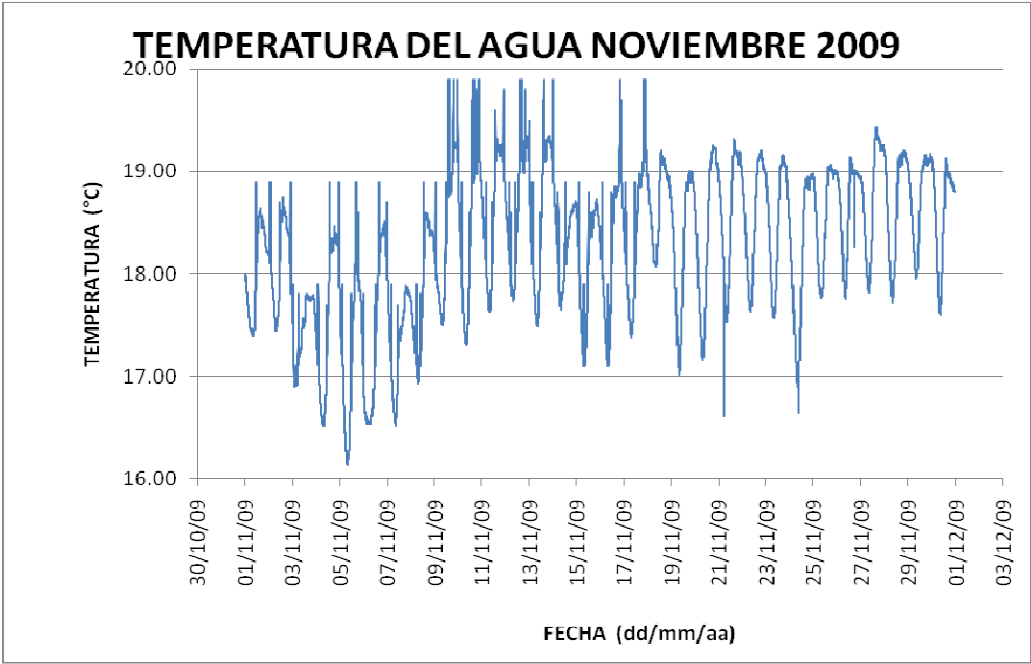


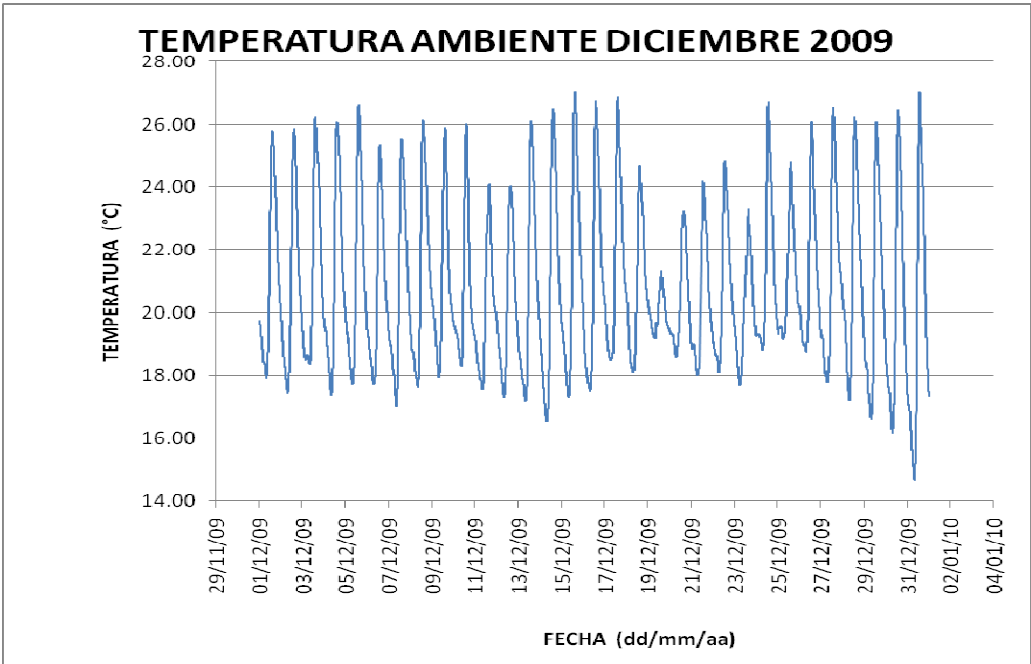
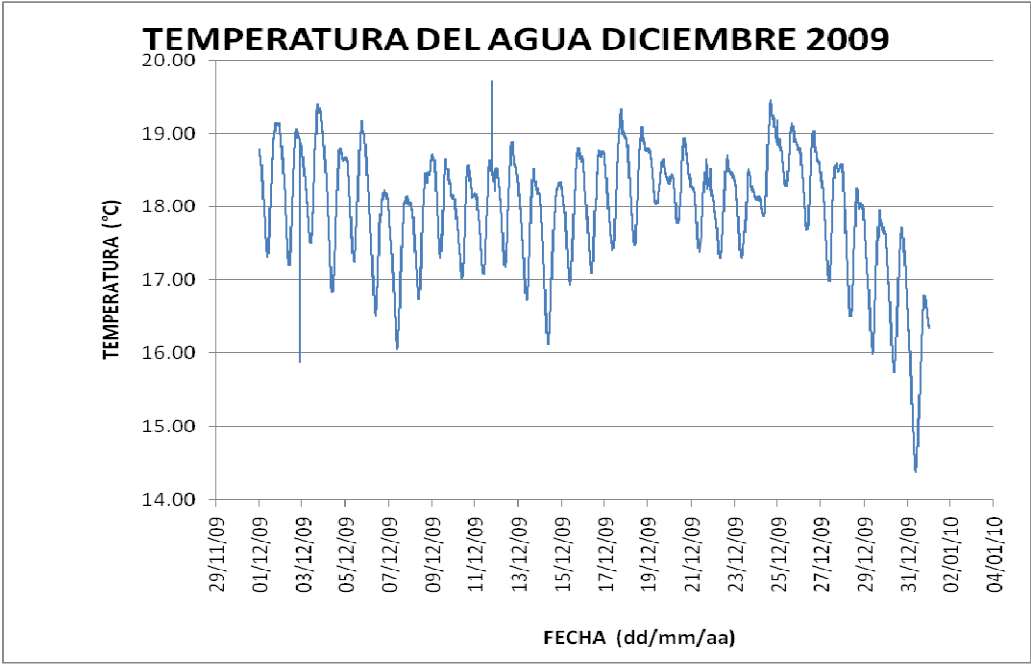


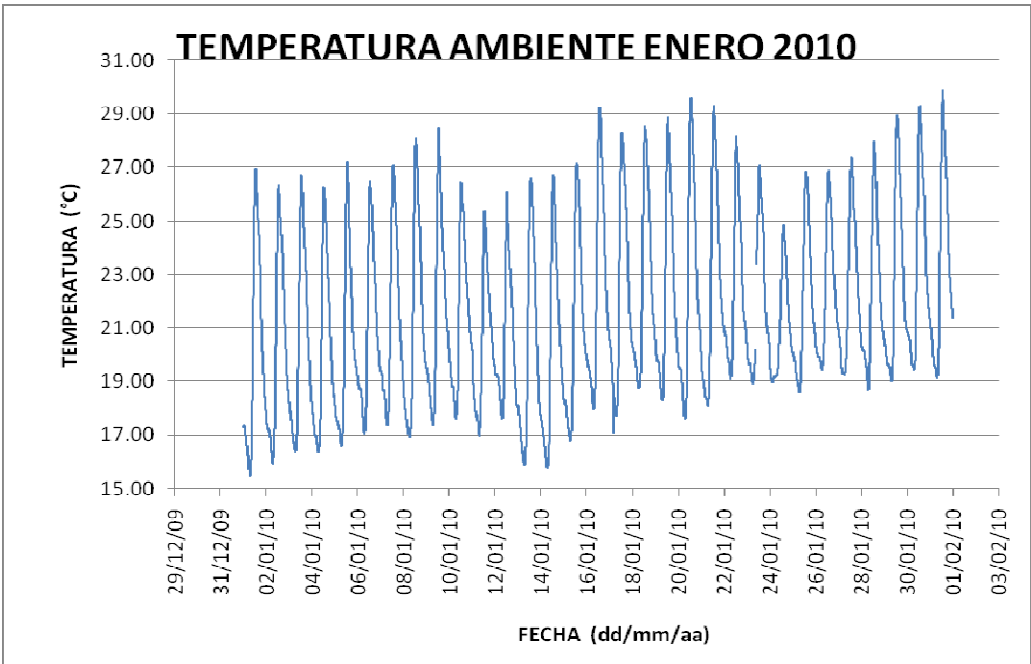
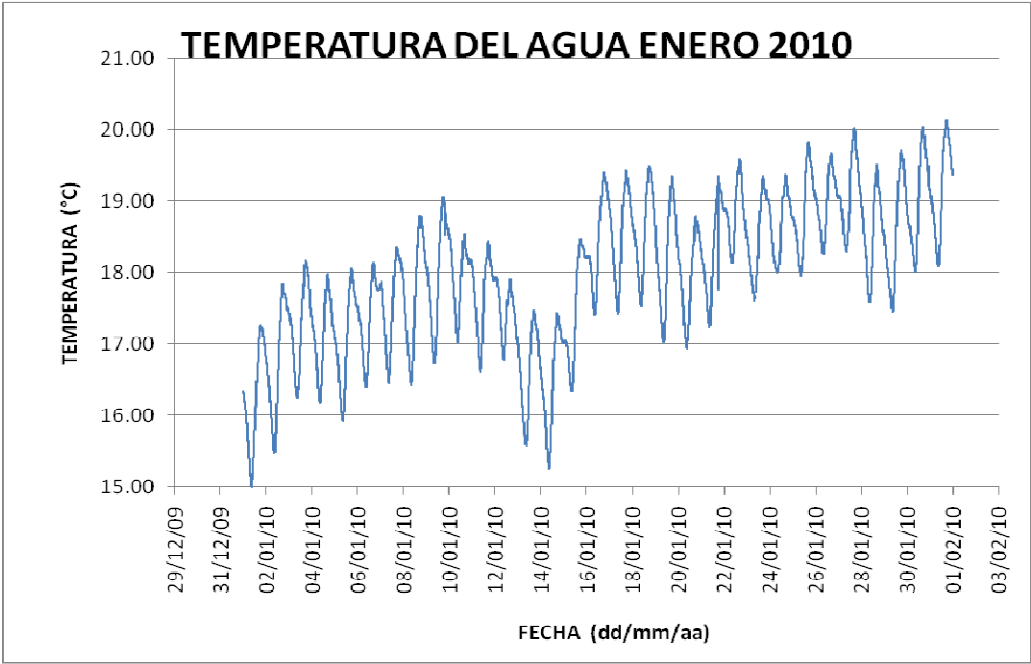


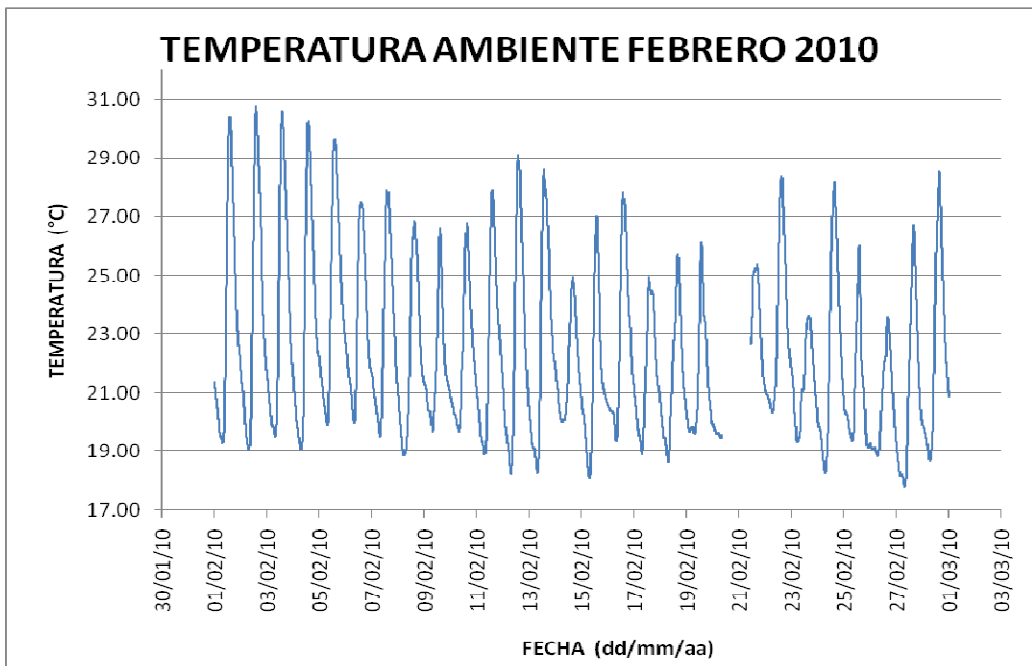
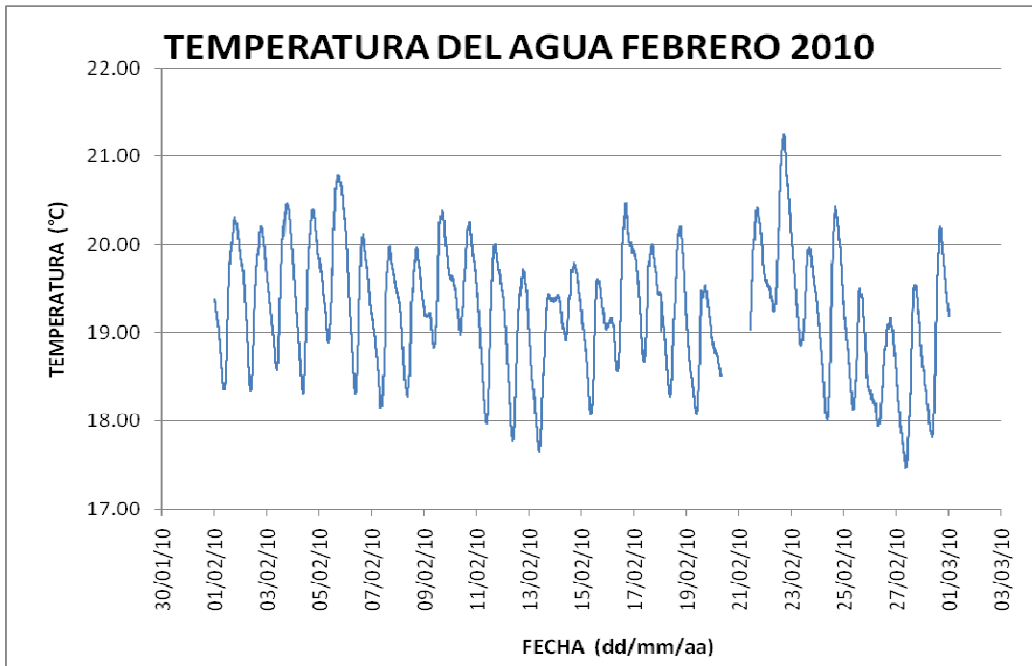


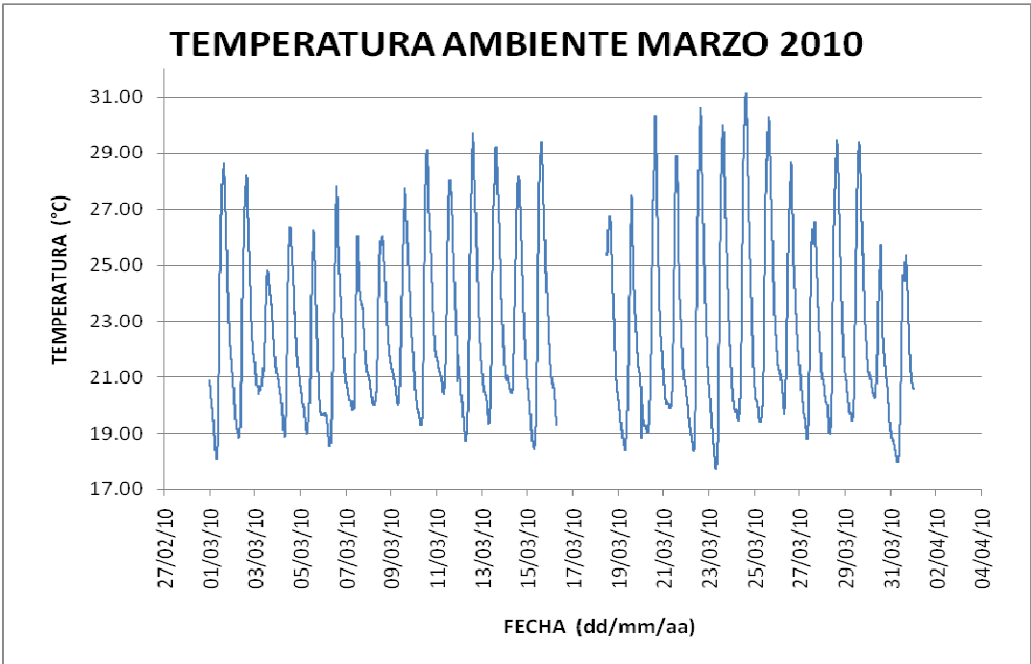
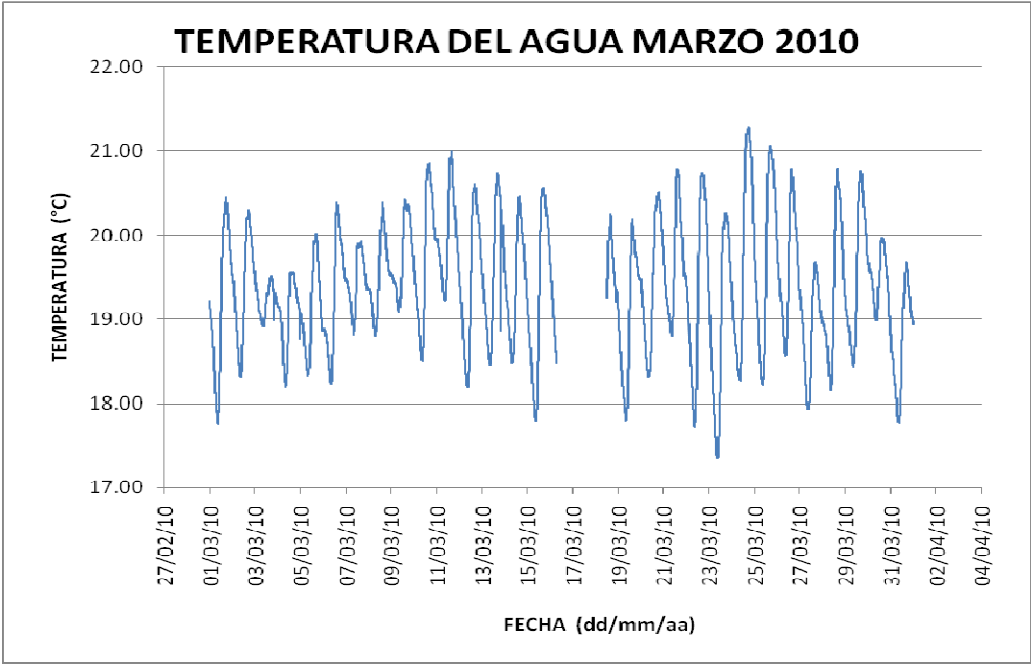


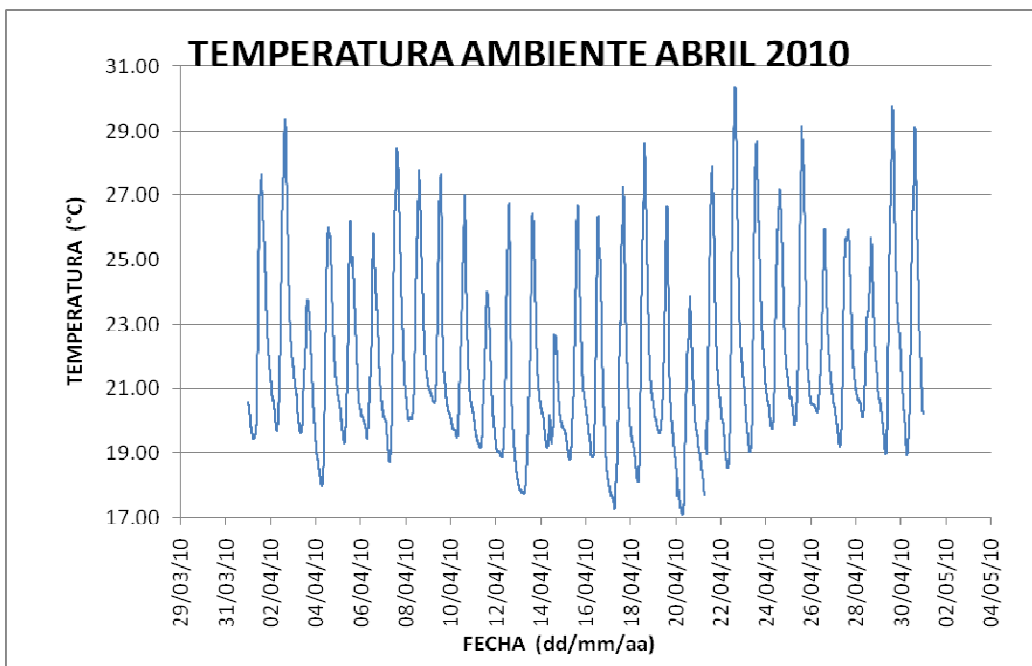
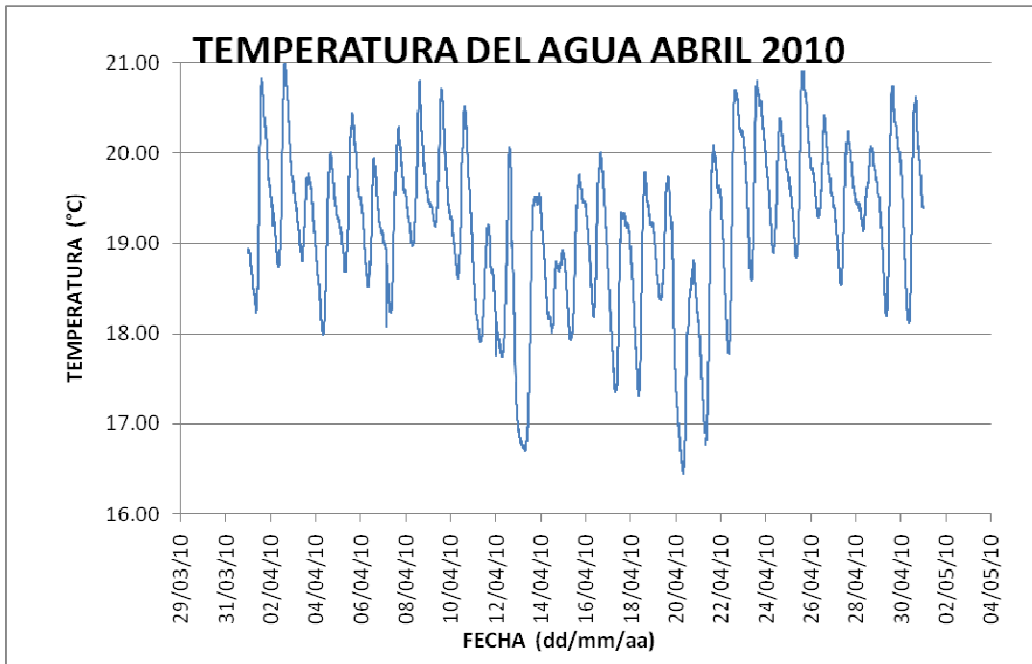


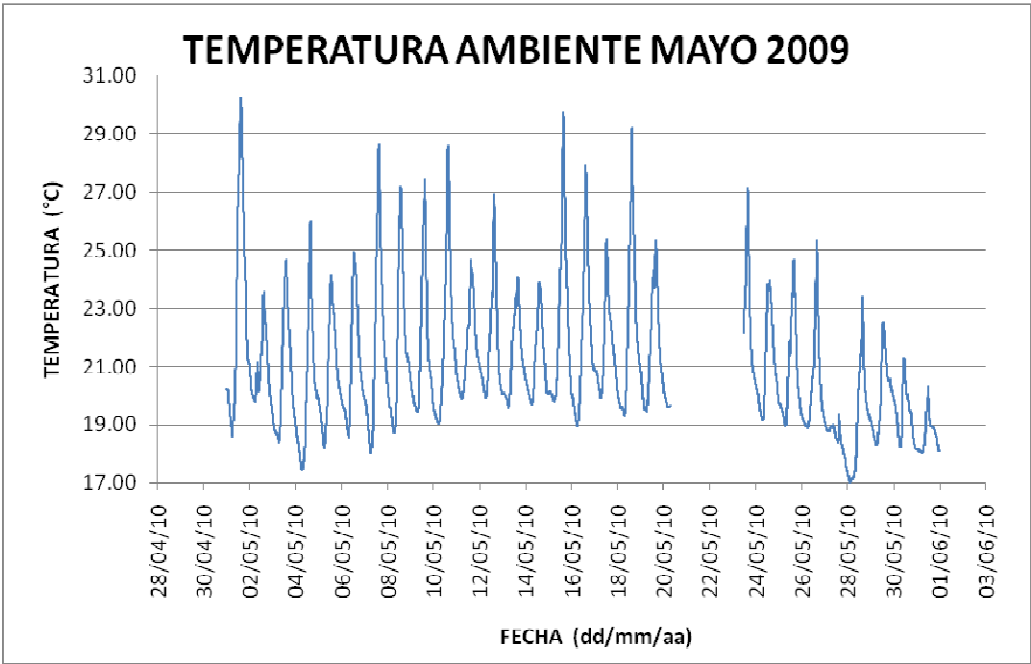
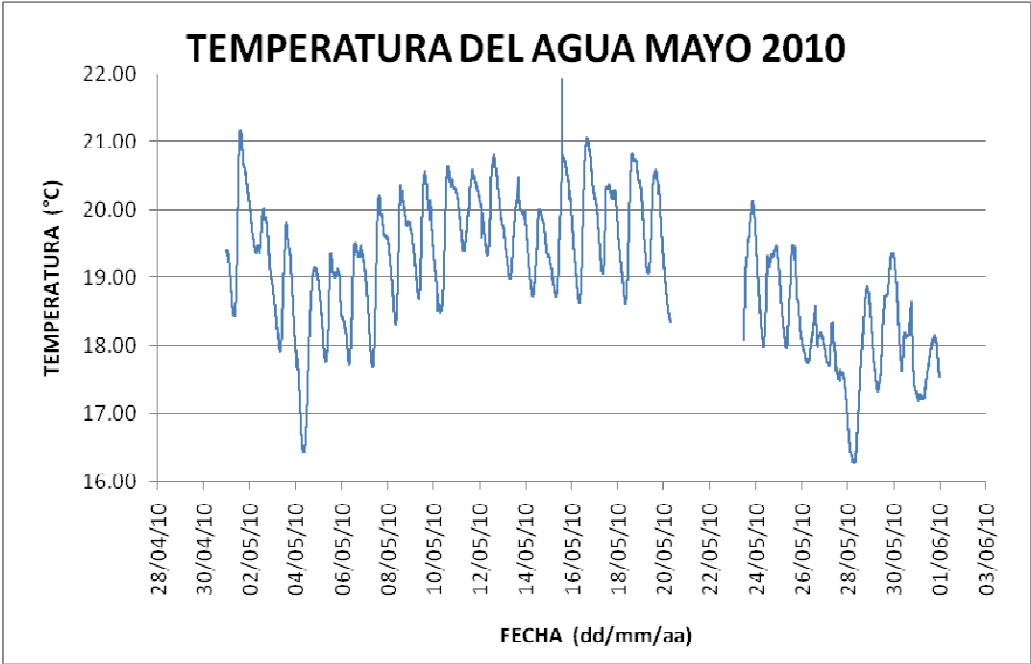


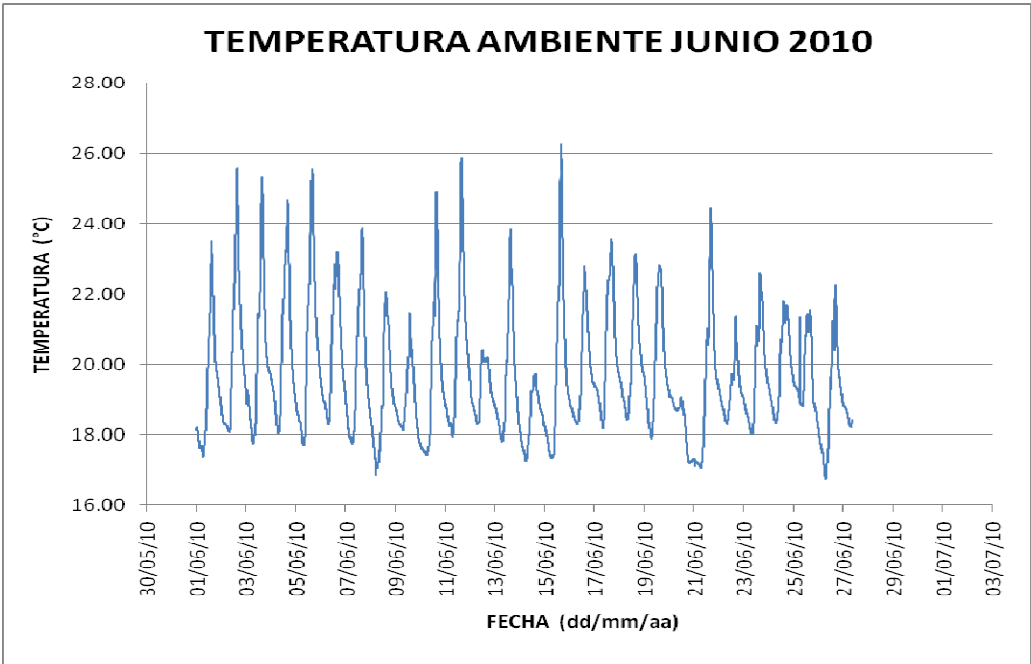
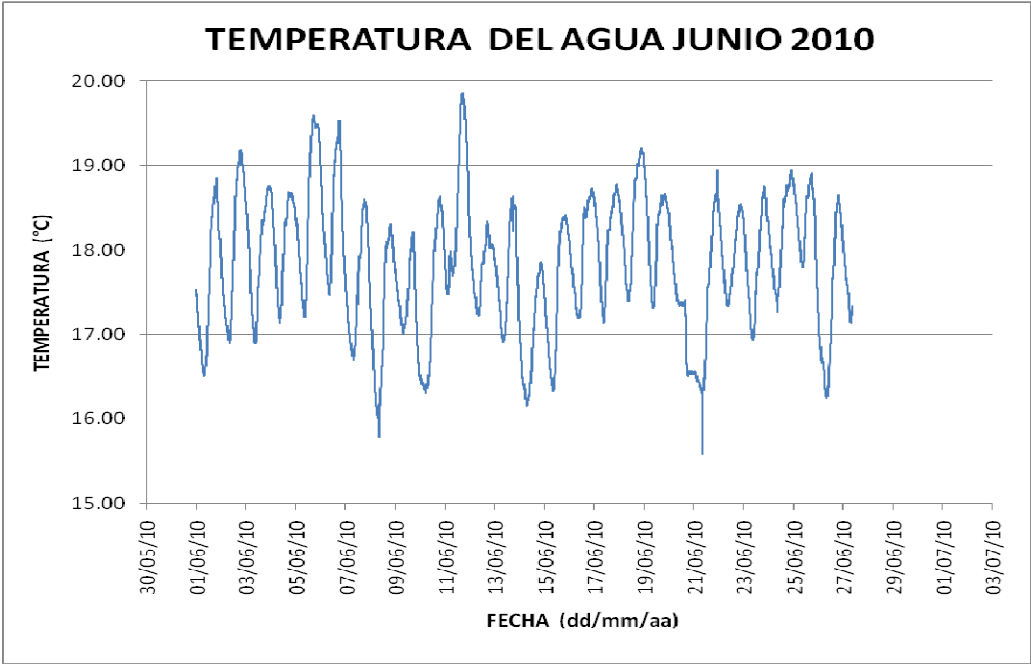




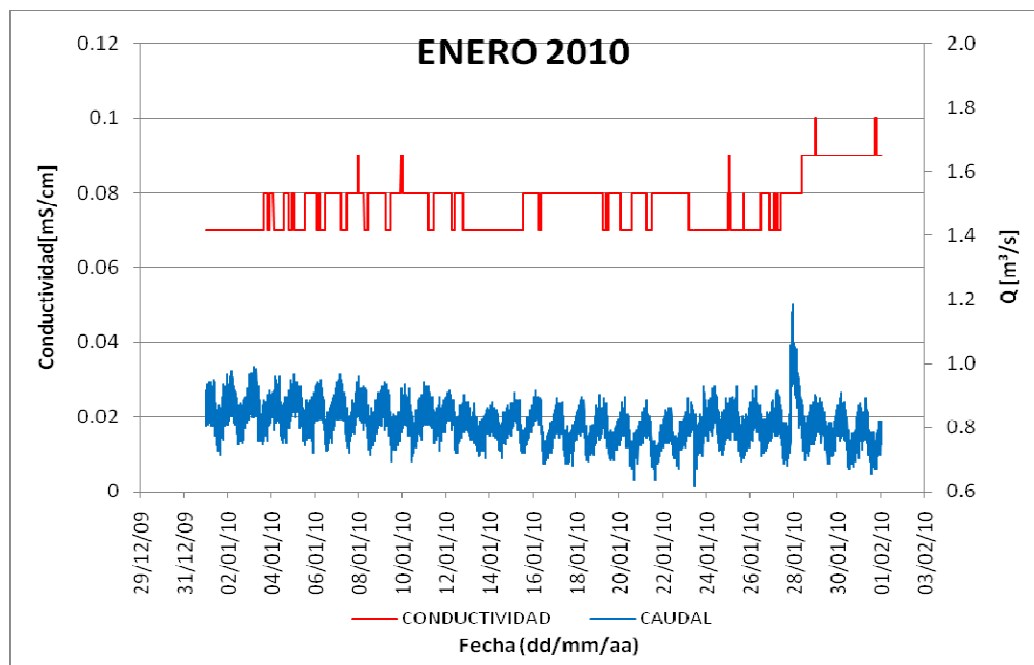
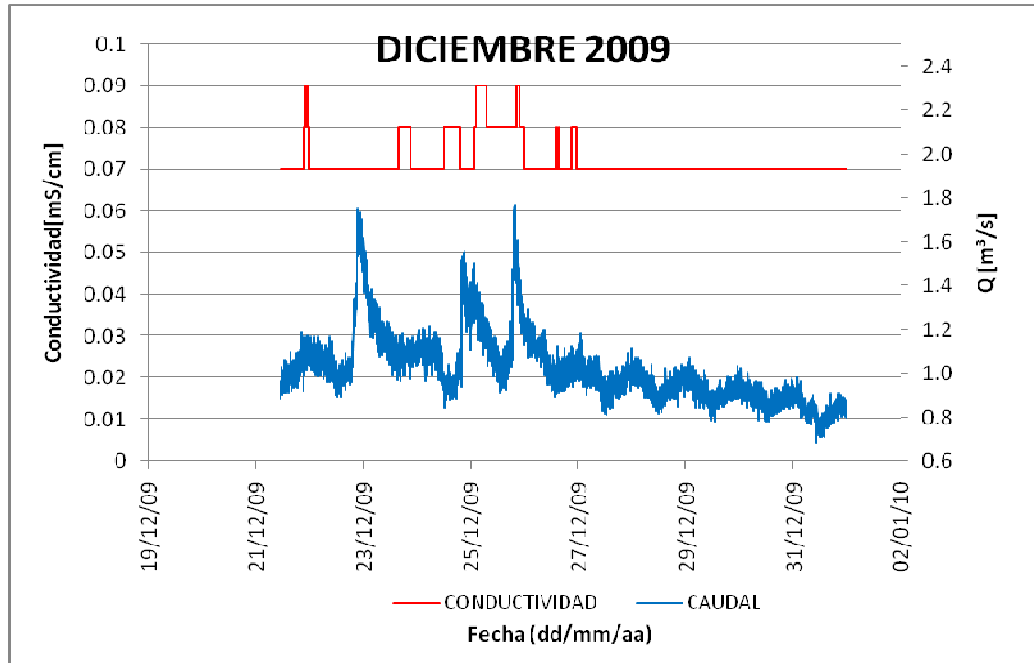


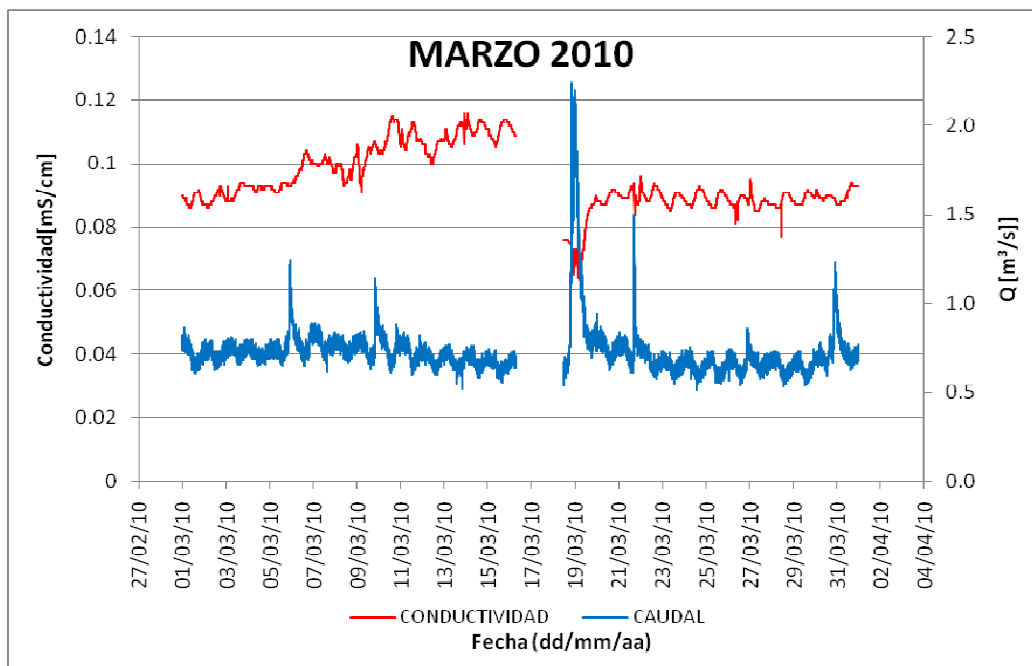
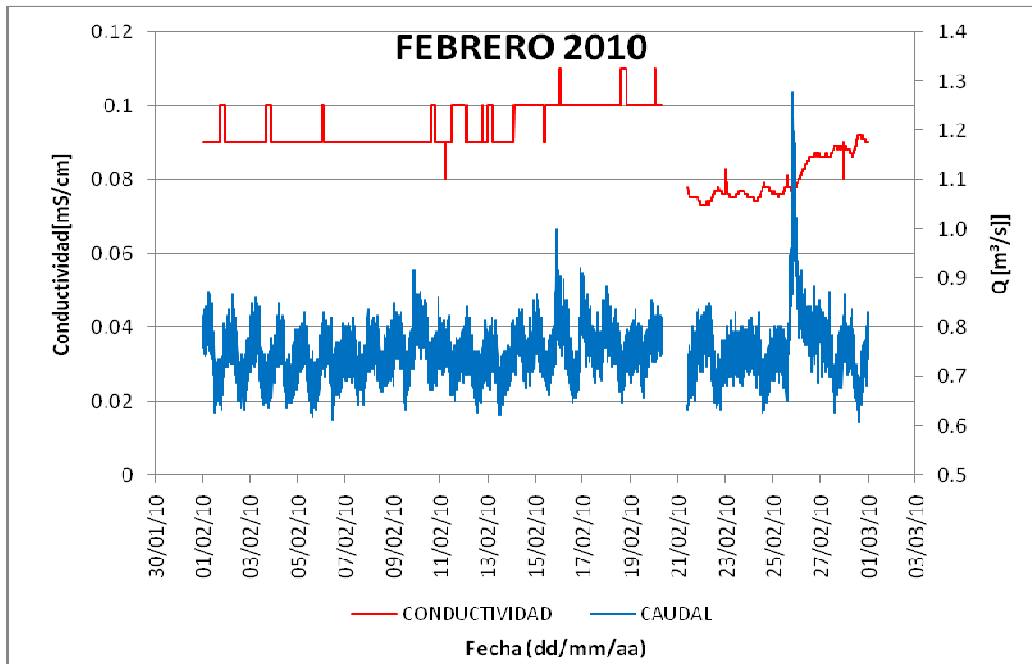


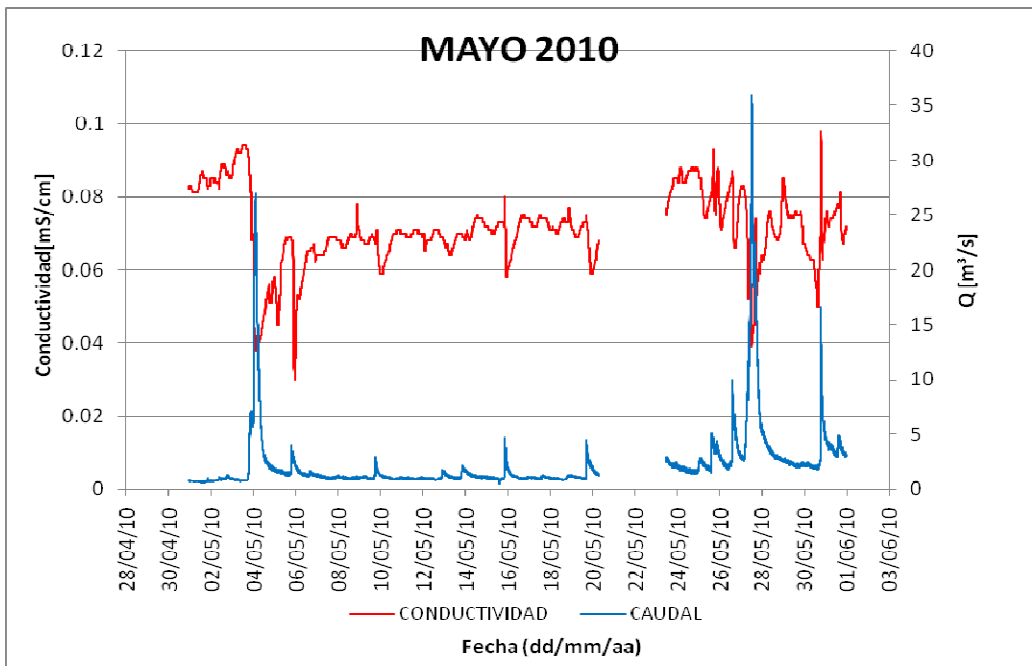
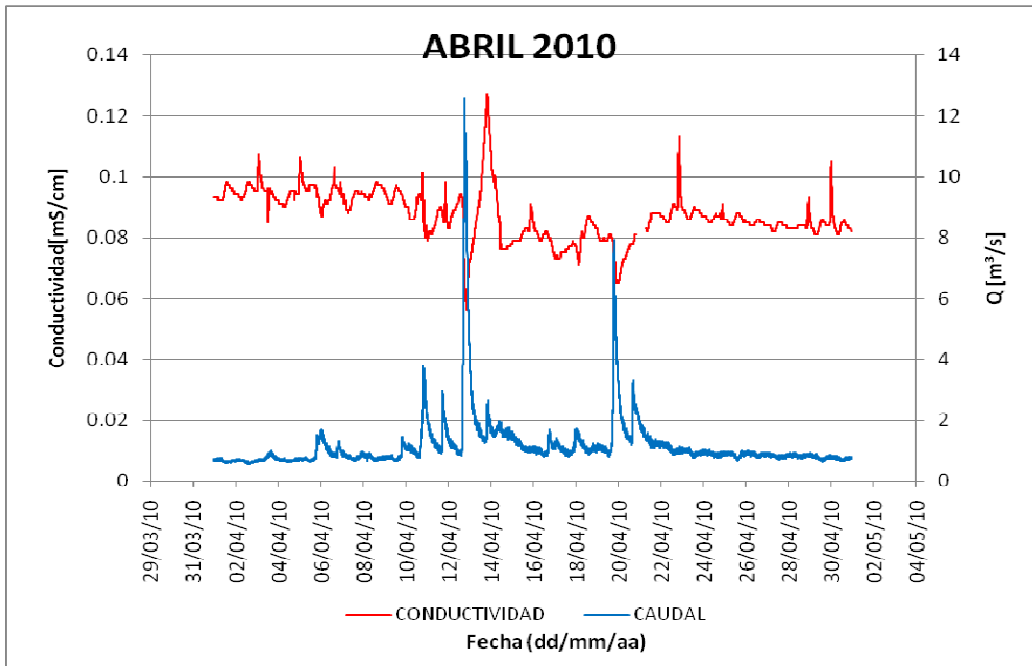


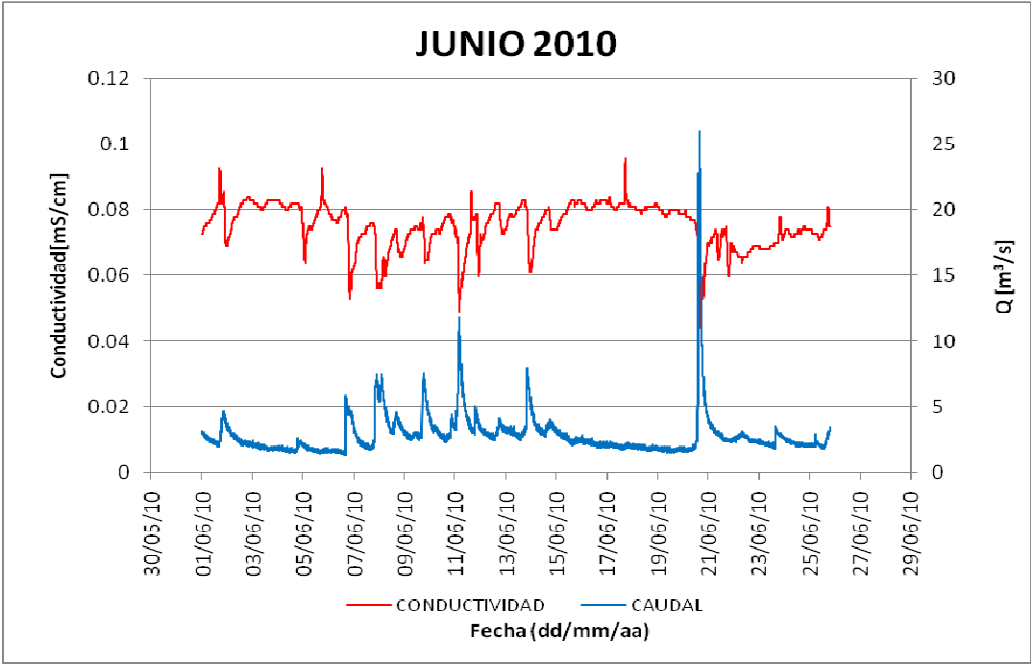


**Anexo C: Variación mes a mes del caudal y la conductividad.**









**Anexo D:** Soluciones de comunicación y vigilancia para aguas subterráneas Diver/e-SENSE.

Mediante el sistema e-SENSE se establece una comunicación de doble vía entre el elemento que realiza la medición en el campo y el ordenador central. La información es enviada desde los sensores a la base de datos. El sistema le permite modificar fácilmente los parámetros de los sensores en el campo desde su puesto de trabajo sin necesidad de desplazarse hasta el lugar. El sistema e-SENSE también tiene la posibilidad de generar diferentes alarmas.

El programa **e-SENSE direct**. Permite controlar y comunicarse con los equipos desde un ordenador en una oficina.

**Módem y accesorios para PC**

Para hacer posible la comunicación entre su PC y el módem de campo se requiere de un kit PC-módem especial para comunicación a través de e-SENSE direct. El paquete completo consta de un módem, una fuente de alimentación (100 – 240 Vca), una antena, un cable de comunicación y software.



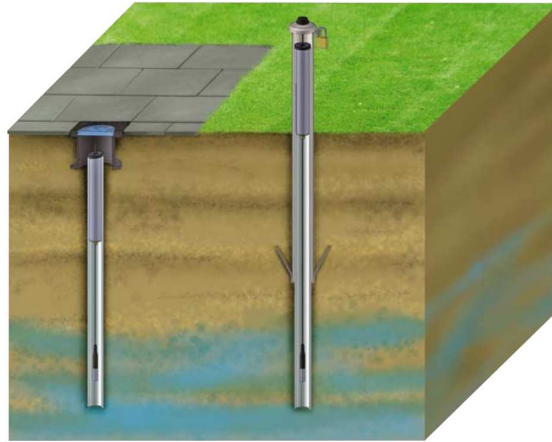
### **Módem de campo**

El módem e-SENSE para SMS se utiliza para la transmisión de datos por GSM con un Diver y un sensor análogo. Fuente de alimentación de 3,6 Vcc. Lectura y configuración a través de la base de datos.



### **Opciones de instalación del módem de campo**

El módem de campo e-SENSE se puede instalar subterráneo o superficial. Para la instalación subterránea se precisa de una tapa para el pozo de sondeo. La tapa también está disponible con antena integrada. Para instalaciones superficiales se suministra una carcasa protectora de acero electrozincado con orificio para la antena exterior.



### **Diver's**

Todos los modelos de la familia Diver pueden conectarse al sistema.

### **Ventajas**

- Facilidad de usar el módem en instalaciones móviles
- Parámetros de medición flexibles
- Larga vida útil
- Además de los Diver's, pueden conectarse otros tipos de sensores e+
- Función de alarma
- Las pilas tienen capacidad para alimentar toda la instalación durante un año