

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA PERFILADOR ACÚSTICO  
DOPPLER (ADCP) PARA LA OBTENCIÓN DE PERFILES  
HIDROLÓGICOS Y DE CAUDAL DE RÍOS EN EL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL  
MONOGRAFÍA**

**Cruz Palacios Roberto Danilo  
danilodc1983@gmail.com**

**DIRECTOR: ING. SANTIAGO GUERRA MSc.  
santiago.guerra@epn.edu.ec**

**CODIRECTOR: ING. LUIS JARAMILLO MSc.  
luis.jaramillo@epn.edu.ec**

**Quito, septiembre 2017**

## DECLARACIÓN

Yo Cruz Palacios Roberto Danilo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Roberto Danilo Cruz Palacios

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Roberto Danilo Cruz Palacios, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Santiago Guerra MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Luis Jaramillo MSc.  
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres su apoyo incondicional, los consejos y valores inculcados durante todo este proceso, por su paciencia en los momentos más críticos y que a pesar de los problemas me ayudaron a salir adelante mostrándome los aspectos más importantes de la vida.

Al laboratorio de la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito por abrirme las puertas y permitirme realizar este proyecto, además del conocimiento brindado en este periodo de tiempo.

A todas las personas que de alguna manera me ayudaron en algún momento. Gracias.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por todo el apoyo que me han brindado y por ser lo más valioso que tengo en la vida.

# CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Marco Teórico.....	2
1.3.1. Caudal .....	2
1.3.2. Medición de Caudales .....	3
1.3.3. Perfil de Velocidades .....	3
1.3.4. Perfil Hidrológico .....	4
1.4. Tipos de Medidores de Caudal .....	5
1.4.1. Flotadores .....	5
1.4.2. Correntómetro o Molinete .....	7
1.4.3. Aforador Acústico Doppler.....	8
1.5. Efecto Doppler.....	9
1.6. Medidores de Caudal de Efecto Doppler .....	9
1.6.1. Perfilador Acústico Doppler S5 .....	10
CAPITULO II: METODOLOGÍA .....	12
2.1. Descripción General del Equipo.....	12
2.2. Configuración del Hardware.....	13
2.3. Pruebas en el Laboratorio .....	14
2.3.1. Tipos de Conexión .....	14
2.3.2. Profundidad del Transductor .....	16
2.3.3. Salinidad .....	17
2.3.4. Declinación Magnética .....	17
2.4. Configuración del ADCP en Campo .....	17
2.4.1. Hora .....	17

2.4.2. Prueba del Sistema .....	18
2.4.3. Información del Emplazamiento .....	18
2.4.4. Calibración de la Brújula.....	19
2.4.5. Ajustes del Sistema .....	20
2.5. Puesta a Punto del ADCP .....	21
2.5.1. Posición del Hydroboard sobre la Corriente .....	21
2.5.2. Sólidos en el Agua .....	22
2.5.3. Memoria Interna del ADCP.....	22
2.6. Toma de Datos .....	23
2.7. Uso del Molinete .....	24
CAPÍTULO III: DISCUSIÓN Y RESULTADOS .....	28
3.1. Declinación Magnética .....	28
3.2. Perfil Hidrológico y de Velocidad.....	29
3.2.1. Río Pita .....	29
3.2.2. Río San Pedro.....	43
3.2.3. Río Guayllabamba.....	56
3.2.4. Río Machángara.....	58
3.2.5. Río Monjas.....	58
3.3. Comparación de Datos Obtenidos con el Molinete y el ADCP .....	59
3.3.1. Río Pita, Molinuco .....	59
3.4. Registro de Datos y Control de Calidad .....	61
3.4.1. Registro de Datos.....	61
3.4.2. Control de Calidad.....	62
3.5. Procedimiento Especifico y de Funcionamiento del Equipo. ....	75
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	76
4.1. Conclusiones .....	76
4.2. Recomendaciones .....	77
Bibliografía.....	79
Anexos .....	80

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de velocidades de un cauce natural.....	3
Figura 2. Perfil Longitudinal del fondo de un curso de agua.....	4
Figura 3. Sección Transversal de un curso de agua .....	5
Figura 4. Método por flotadores .....	6
Figura 5. Correntómetro o Molinete. ....	7
Figura 6. Aforador de Corrientes Acústico Doppler .....	8
Figura 7. Representación Efecto Doppler .....	9
Figura 8. Perfilador de Corrientes Acústico Doppler S5 .....	11
Figura 9. Accesorios incluidos en el perfilador .....	12
Figura 10. Módulo de Alimentación y Comunicaciones (PCM).....	13
Figura 11. Configuración del hardware .....	14
Figura 12. Conexión de manera directa .....	15
Figura 13. Conexión vía bluetooth y dispositivo móvil.....	15
Figura 14. Conexión vía bluetooth y computadora .....	16
Figura 15. Profundidad del transductor .....	16
Figura 16. Actualización de la hora del programa .....	17
Figura 17. Prueba del sistema .....	18
Figura 18. Información de la estación .....	18
Figura 19. Calibración de la brújula.....	19
Figura 20. Calibración de la brújula.....	20
Figura 21. Ajustes del sistema .....	20
Figura 22. Posición del Hydroboard sobre la corriente.....	21
Figura 23. Secciones de medición .....	23
Figura 24. Áreas transversales no medidas por el ADCP .....	23
Figura 25. Mini Molinete.....	25
Figura 26. Contador de pulsos Rickly Hydrological Co.....	25
Figura 27. Canal artificial, laboratorios CIERHI .....	26
Figura 28. Toma medidas de velocidad con mini molinete .....	27
Figura 29. Perfil y perfil de velocidad mes de enero.....	30
Figura 30. Perfil y perfil de velocidades mes de febrero.....	30
Figura 31. Trayectoria del Hydroboard.....	31
Figura 32. Perfil y Perfil de velocidades mes de abril.....	32
Figura 33. Perfil y Perfil de velocidades mes de mayo .....	32

Figura 34. Perfil y Perfil de velocidades mes de junio .....	32
Figura 35. Perfil y Perfil de velocidades mes de julio .....	33
Figura 36. Trayectoria del hydroboard .....	33
Figura 37. Área medida .....	34
Figura 38. Caudal promedio.....	35
Figura 39. Velocidad promedio .....	36
Figura 40. Profundidad promedio.....	37
Figura 41. Perfil y Perfil de velocidad mes de enero .....	38
Figura 42. Perfil y Perfil de velocidad mes de febrero .....	38
Figura 43. Perfil y Perfil de velocidad mes de junio .....	38
Figura 44. Perfil y Perfil de velocidad mes de julio .....	39
Figura 45. Trayectoria del Hydroboard.....	39
Figura 46. Área medida .....	40
Figura 47. Caudal promedio.....	41
Figura 48. Velocidad promedio en los 6 meses.....	42
Figura 49. Profundidad promedio mensual .....	43
Figura 50. Perfil y Perfil de velocidad mes de enero, vía Amaguaña.....	44
Figura 51. Perfil y perfil de velocidad mes de febrero, vía Amaguaña.....	44
Figura 52. Perfil y Perfil de velocidad mes de abril, vía Amaguaña.....	45
Figura 53. Perfil y Perfil de velocidad mes de mayo, vía Amaguaña.....	45
Figura 54. Perfil y Perfil de velocidad mes de junio, vía Amaguaña .....	45
Figura 55. Perfil y Perfil de velocidad mes de julio, vía Amaguaña .....	45
Figura 56. Trayectoria del hydroboard .....	46
Figura 57. Área medida .....	47
Figura 58. Caudal promedio mensual .....	48
Figura 59. Velocidad promedio mensual.....	49
Figura 60. Profundidad promedio mensual .....	49
Figura 61. Perfil y Perfil de velocidades mes de enero, Bocatoma.....	50
Figura 62. Perfil y Perfil de velocidades mes de febrero, Bocatoma.....	50
Figura 63. Perfil y Perfil de velocidades mes de abril, Bocatoma .....	51
Figura 64. Perfil y Perfil de velocidades mes de mayo, Bocatoma .....	51
Figura 65. Perfil y perfil de velocidades mes de junio, Bocatoma.....	51
Figura 66. Perfil y Perfil de velocidades mes de julio, Bocatoma .....	52
Figura 67. Trayectoria del Hydroboard, sector Bocatoma .....	52
Figura 68. Área medida .....	53
Figura 69. Caudal Promedio mensual.....	54

Figura 70. Velocidad Promedio mensual.....	55
Figura 71. Profundidad Promedio mensual.....	55
Figura 72. Hydroboard en Río Guayllabamba.....	56
Figura 73. Hydroboard en Río Guayllabamba.....	57
Figura 74. Iconos del programa RiverSurveyorLive pc.....	57
Figura 75. Río Machángara instalaciones Hidroeléctrica de Cumbayá.....	58
Figura 76. Río Monjas.....	59
Figura 77. Velocidades del Molinete y ADCP, mes de junio.....	60
Figura 78. Velocidades del Molinete y ADCP, mes de julio.....	61
Figura 79. Resumen de la medida de caudal.....	62
Figura 80. Caudal y media aritmética, enero, Molinuco.....	64
Figura 81. Caudal y media aritmética, febrero, Molinuco.....	64
Figura 82. Caudal y media aritmética, abril, Molinuco.....	64
Figura 83. Caudal y media aritmética, mayo, Molinuco.....	65
Figura 84. Caudal y media aritmética, junio, Molinuco.....	65
Figura 85. Caudal y media aritmética, julio, Molinuco.....	65
Figura 86. Caudal y media aritmética, enero, Santa Teresa.....	67
Figura 87. Caudal y media aritmética, febrero, Santa Teresa.....	67
Figura 88. Caudal y media aritmética, junio, Santa Teresa.....	68
Figura 89. Caudal y media aritmética, julio, Santa Teresa.....	68
Figura 90. Caudal y media aritmética, enero, Bocatoma.....	70
Figura 91. Caudal y media aritmética, febrero, Bocatoma.....	70
Figura 92. Caudal y media aritmética, abril, Bocatoma.....	70
Figura 93. Caudal y media aritmética, mayo, Bocatoma.....	71
Figura 94. Caudal y media aritmética, junio, Bocatoma.....	71
Figura 95. Caudal y media aritmética, julio, Bocatoma.....	71
Figura 96. Caudal y media aritmética, enero, vía Amaguaña.....	73
Figura 97. Caudal y media aritmética, febrero, vía Amaguaña.....	74
Figura 98. Caudal y media aritmética, abril, vía Amaguaña.....	74
Figura 99. Caudal y media aritmética, mayo, vía Amaguaña.....	74
Figura 100. Caudal y media aritmética, junio, vía Amaguaña.....	74
Figura 101. Caudal y media aritmética, julio, vía Amaguaña.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Declinación Magnética Río Pita.....	28
Tabla 2. Declinación Magnética Río San Pedro .....	28
Tabla 3. Declinación Magnética Río Guayllabamba.....	28
Tabla 4. Declinación Magnética Río Machángara .....	28
Tabla 5. Declinación Magnética Río Monjas .....	28
Tabla 6. Área medida.....	34
Tabla 7. Caudal promedio.....	35
Tabla 8. Velocidad promedio .....	36
Tabla 9. Profundidad promedio .....	37
Tabla 10. Área medida.....	40
Tabla 11. Caudal promedio.....	41
Tabla 12. Velocidad promedio .....	41
Tabla 13. Profundidad sección transversal promedio.....	42
Tabla 14. Área medida.....	47
Tabla 15. Caudal promedio mensual .....	47
Tabla 16. Velocidad promedio mensual .....	48
Tabla 17. Profundidad promedio mensual.....	49
Tabla 18. Área medida.....	53
Tabla 19. Caudal Promedio mensual .....	54
Tabla 20. Velocidad promedio mensual .....	54
Tabla 21. Profundidad Promedio mensual .....	55
Tabla 22. Resumen caudal, río Pita, sector El Molinuco .....	63
Tabla 23. Resumen caudal, río Pita, sector Santa Teresa .....	66
Tabla 24. Resumen caudal, río San Pedro, sector Bocatoma .....	69
Tabla 25. Resumen caudal, río San Pedro, sector vía Amaguaña .....	72

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Procedimiento específico y de funcionamiento del equipo .....	80
Anexo II. Identificación del Hydroboard.....	111
Anexo III. Identificación Antena Bluetooth Parani SD1000 .....	111
Anexo IV. Anexo Fotográfico .....	112
Anexo V. Cálculos .....	116
Anexo VI. Velocidades obtenidas con el ADCP, junio y julio .....	118

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Quito es atravesada por varios ríos, de los cuales cinco son monitoreados por la Secretaría de Ambiente y son los siguientes: Monjas, Machángara, Pita, San Pedro y Guayllabamba. Estos se encuentran contaminados debido a las descargas de aguas residuales, tanto de los hogares como de las industrias que componen el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Debido a esto es de gran importancia realizar constantemente monitoreos y caracterización de las aguas de estos ríos.

El laboratorio de la Secretaría de Ambiente es un ente acreditado y como tal realiza ensayos encaminados a verificar el cumplimiento de la normativa local vigente. Por esta razón, considerando que la determinación tanto del caudal como del perfil hidrológico de la sección transversal de un río es de vital importancia para la caracterización y posterior análisis de contaminación, requiere de un método de ensayo que permita la obtención de los parámetros antes mencionados.

El Sistema Perfilador Acústico Doppler (ADCP), está diseñado para medir el caudal de un río, así como la velocidad de sus corrientes de agua en tres dimensiones. Esto se da gracias a la combinación de la tecnología de la instrumentación incluida en el perfilador con un paquete de software basado en el sistema operativo Windows™. (Sontek , 2009)

En la actualidad este sistema es útil debido a que permite mejorar la resolución espacial y temporal de las velocidades de flujo, así como una mayor relevancia de los datos obtenidos de la morfología del cauce del río en tiempo real. (Díaz M, García C, Herrero H, Romagnoli M, Cassavella A., 2015)

La Secretaría de Ambiente como institución encargada de monitorear estos ríos se beneficiará con esta información debido a que no existen registros del caudal y mucho menos su perfil en los distintos puntos de muestreo, por lo que con esta información se podrían realizar estudios y/o investigaciones posteriores y en consecuencia saber a ciencia cierta cómo y cuánto afecta la contaminación en estos ríos a la salud del ambiente y de las personas en contacto con estos cauces de agua.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar el Sistema Perfilador Acústico Doppler (ADCP) para la obtención de perfiles hidrológicos y de caudal de ríos en el Distrito Metropolitano de Quito.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características principales para el funcionamiento del ADCP realizando varias pruebas de calibración y configuración del equipo en el laboratorio.
- Medir en campo los caudales y las velocidades de las corrientes de agua.
- Comparar la desviación de la medida de velocidad de un molinete y el ADCP con los datos obtenidos en los ríos que el caudal así lo permita.
- Analizar los datos obtenidos en campo con el perfilador y compararlos entre sí para determinar un promedio que contribuya a la construcción de los perfiles hidrológicos.
- Desarrollar el procedimiento específico de monitoreo de caudal, el instructivo correspondiente del equipo, los formatos de funcionamiento y control de calidad, en base a los lineamientos establecidos en el laboratorio específicamente en el procedimiento general de elaboración de documentos.

## 1.3. MARCO TEÓRICO

### 1.3.1. CAUDAL

El caudal, también conocido como gasto o descarga, es el volumen de agua que circula por una sección transversal de un río en un tiempo determinado. Se lo calcula utilizando la ecuación de continuidad de la siguiente manera. (Rojas, 2006)

$$Q = v * A \quad (1)$$

Donde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

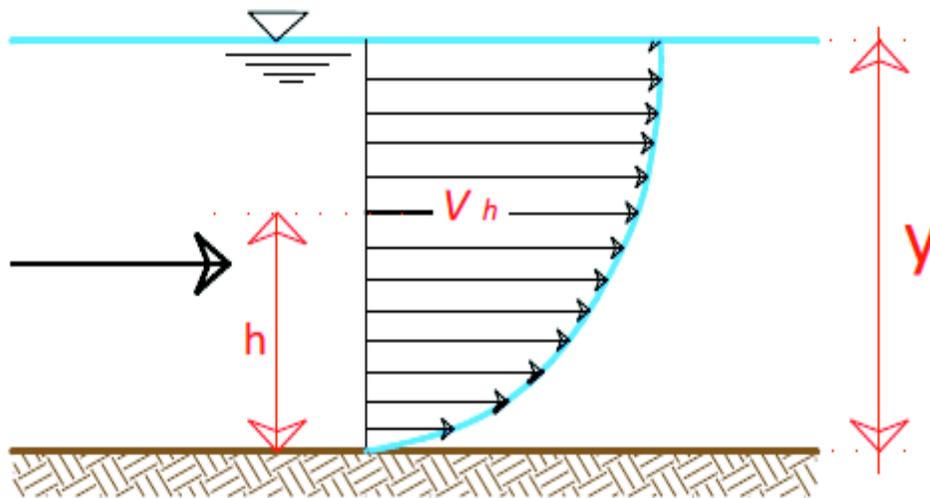
A= Área de la sección(m<sup>2</sup>)

### 1.3.2. MEDICIÓN DE CAUDALES

Conocido como aforo de caudales, es el conjunto de operaciones que se realizan con el fin de encontrar un caudal determinado ya sea de ríos o canales y en agua en movimiento en general. Para realizar estas operaciones se pueden utilizar varios métodos y diferentes medidores de caudal. (Rojas, 2006).

### 1.3.3. PERFIL DE VELOCIDADES

Las velocidades de las corrientes de agua en cauces naturales son variables, dependiendo del lugar en que se las mida, se aproximará a cero en las orillas y en el fondo del río, mientras que en el transecto bajo la superficie del agua se encontrará el mayor valor de velocidad. Para determinar las velocidades de las corrientes de los ríos es muy importante tomar en cuenta la forma de la sección transversal, debido a que la naturaleza y características geométricas del contorno definen básicamente la curva de distribución de velocidades, así como la rugosidad del fondo del cauce y el régimen del escurrimiento (R. Pérez, 2014). Como se muestra en la figura número 1.



**Figura 1.** Distribución de velocidades de un cauce natural.

**Fuente:** G. T. Rodríguez, 2012

Tomando en cuenta que las velocidades en la sección transversal de un río no se encuentran uniformemente distribuidas y que tampoco son proporcionales a su altura (profundidad), se dice que el perfil de velocidades, es la variación de la velocidad a lo largo

de una línea perpendicular a la dirección general de flujo en un lugar geométrico determinado a una profundidad de agua por los extremos de los vectores que representan las velocidades de la corriente. (O. Rojas, 2006).

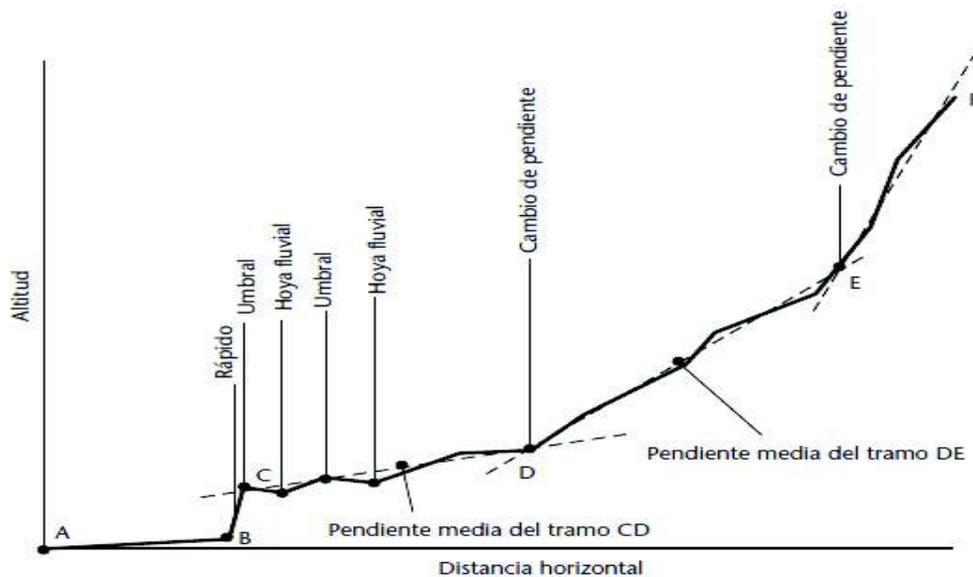
### 1.3.4. PERFIL HIDROLÓGICO

El perfil hidrológico se lo puede determinar dependiendo del trabajo que se quiera realizar. Este puede ser obtenido mediante el perfil longitudinal o la sección transversal de un curso de agua natural.

#### 1.3.4.1. PERFIL LONGITUDINAL

Perfil longitudinal es la línea que une las partes elevadas (umbrales) con las partes más bajas entre dos umbrales (hoyas) del fondo de un río, desde el inicio de este hasta su desembocadura a nivel del mar. A lo largo del perfil longitudinal se puede observar los cambios de pendiente, cascadas, rápidos y fosas entre otras características físicas del río. (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

El perfil longitudinal se lo puede representar en un solo diagrama en el cual se aprecian todas sus características. Como se muestra en la figura número 2.

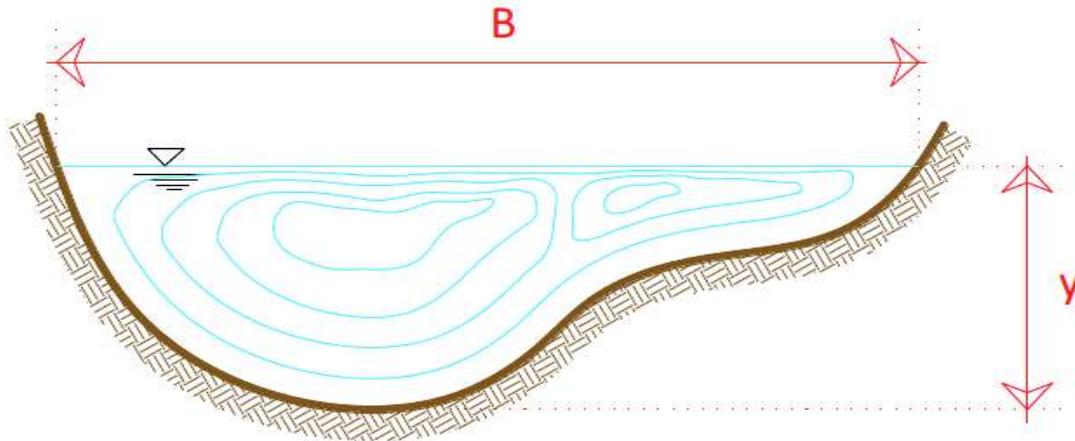


**Figura 2.** Perfil Longitudinal del fondo de un curso de agua

**Fuente:** Organización Meteorológica Mundial, 2011

### 1.3.4.2. SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal de un río es la línea perpendicular al eje de un flujo de agua. En esta se pueden realizar varios cálculos siendo el más importante la determinación del caudal del flujo, así como las velocidades de sus corrientes. La sección transversal es muy útil para la determinación de los modelos de flujo fluvial. (Organización Meteorológica Mundial, 2011). La figura número 3 muestra la forma de una sección transversal.



**Figura 3.** Sección Transversal de un curso de agua

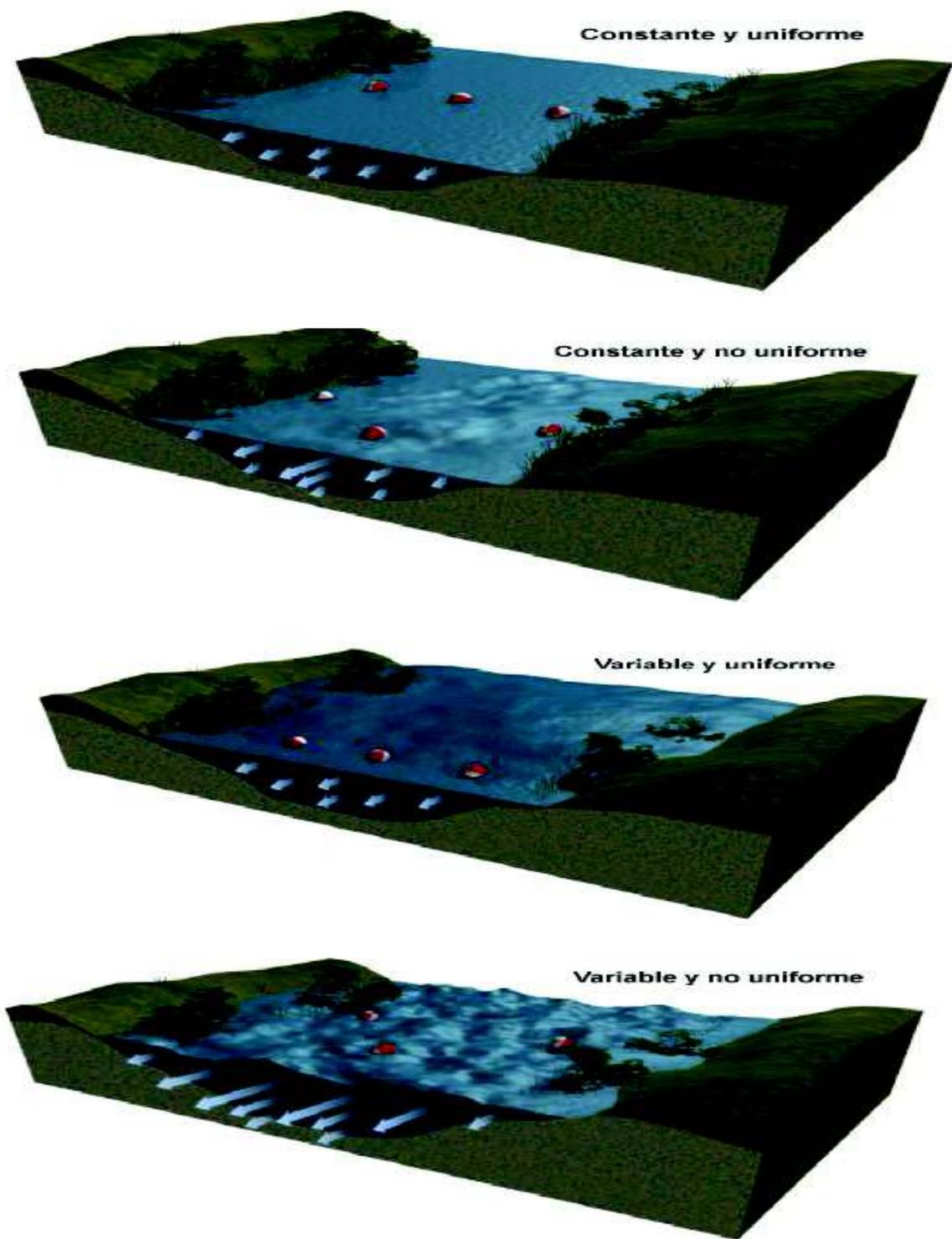
**Fuente:** G. Rodríguez, J Velazco, 2011

## 1.4. TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL

### 1.4.1. FLOTADORES

Los flotadores son los instrumentos de medida de caudal más sencillos y rápidos que se pueden encontrar, estos instrumentos de campo son utilizados para medir la velocidad superficial de una corriente sea de un canal o un río. Debido a que los flotadores no son de alta precisión se los debe utilizar hasta encontrar un instrumento más adecuado para el aforo del caudal.

Este método se lo puede utilizar cuando la corriente del río es demasiado alta y fuerte para una persona o cuando la altura del agua es demasiado baja para utilizar un correntómetro. Otra de las razones para el uso de flotadores es el alto contenido de sedimentos y algas en el agua lo cual impide utilizar instrumentos más avanzados y, si se quiere obtener una medida de caudal aproximado, este método es de mucha ayuda porque se evita la instalación de sistemas de medida mucho más costosos. (Chamorro de Rodriguez G, Velásquez J., 2011). En la figura 4 se muestra los métodos de medidas con flotadores.



**Figura 4.** Método por flotadores

**Fuente:** [http://meted.ucar.edu/hydro/basic/Routing\\_es/print\\_version/03-streamflow\\_characteristics.htm](http://meted.ucar.edu/hydro/basic/Routing_es/print_version/03-streamflow_characteristics.htm)

## 1.4.2. CORRENTÓMETRO O MOLINETE

El correntómetro es un instrumento de precisión construido para medir la velocidad de la corriente de agua de canales, ríos, mares, estuarios y bahías. Por su construcción está diseñado para medir velocidades altas, medias y bajas. (Pérez M. , 2005)

El molinete consta de varias hélices para diferentes velocidades, estas giran en un eje conectado a un imán el cual transmite una señal a un contador de revoluciones. El número de señales es proporcional a la velocidad en el punto de medición (Pérez M, 2005). La figura 5 muestra el molinete perteneciente a la Scretaría de Ambiente.



**Figura 5.** Correntómetro o Molinete.

La velocidad de la corriente de un cauce de agua se obtiene mediante la ecuación número 2 que se muestra a continuación:

$$V = K * n + \Delta \quad (2)$$

Donde:

V: Velocidad de la corriente (m/s)

K: Paso hidráulico de la hélice (m)\*

n: Revoluciones de la hélice por segundo(rev/s)

$\Delta$ : Constante del molinete (m/s) \*

(\*): Determinados en el laboratorio.

### 1.4.3. AFORADOR ACÚSTICO DOPPLER

Estos instrumentos de medición de caudal se basan en el principio físico conocido como desplazamiento Doppler. Los ADCP's pueden montarse sobre una embarcación en movimiento por lo que miden la velocidad y la altura del agua simultáneamente, además de la dirección de la embarcación. (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

Para calcular el caudal el ADCP debe estar conectado a una computadora directamente a través de un cable que tiene una longitud de 10 metros, vía bluetooth a un teléfono celular con un alcance de 60 metros o con la ayuda de una computadora con alcance de 200 metros. (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

Cuando un instrumento ADCP procesa la señal reflejada por las partículas del agua, divide la columna de agua en varios segmentos discretos apilados a lo largo de la vertical. Estos segmentos se denominan celdas de profundidad (Organización Meteorológica Mundial, 2011). La figura 6 muestra los aforadores S5 y M9.



**Figura 6.** Aforador de Corrientes Acústico Doppler

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

El operador será el encargado de colocar las características del lugar en donde se haga la medición, si bien estos instrumentos son configurados de fábrica, es indispensable colocar algunas condiciones iniciales antes de cada medición. (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

## 1.5. EFECTO DOPPLER

El efecto Doppler puede entenderse fácilmente si se considera el cambio que se produce en la frecuencia cuando un tren se mueve hacia un observador con su bocina sonando. Cuando el tren se acerca, la bocina es percibida por el observador con una graduación de tono más alta, ya que la velocidad del tren da lugar a que las ondas sonoras sean más próximas que si el tren estuviera parado. De igual manera, si el tren se aleja aumenta el espaciamiento, dando como resultado una graduación de tono o frecuencia más baja. Este aparente cambio en la frecuencia se denomina efecto Doppler y es directamente proporcional a la velocidad relativa entre el objeto móvil, el objeto estático y el observador. (Gutierrez, 2012).

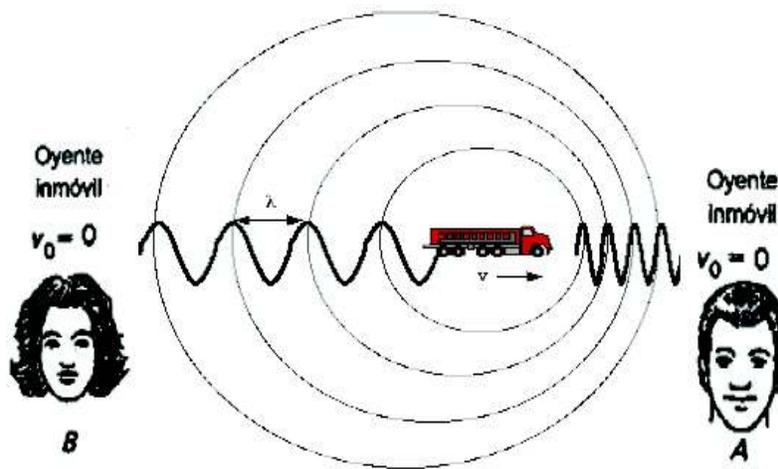


Figura 7. Representación Efecto Doppler

FUENTE: G. T. Rodríguez, 2012

(Osorio, 2010) dice que “El llamado efecto Doppler provoca el cambio de frecuencia entre la señal emitida y recibida, según la velocidad relativa de la misma en relación al objeto que la señal golpea. Es decir, el ADCP mide la velocidad de los sólidos en suspensión en el agua y asigna la misma velocidad al flujo.”

## 1.6. MEDIDORES DE CAUDAL DE EFECTO DOPPLER

El Perfilador de Corriente de Efecto Doppler (ADCP), es un instrumento robusto diseñado para trabajar en campo de manera sencilla, con tan solo introducir pocos parámetros iniciales en su programa. El ADCP es utilizado para realizar perfiles batimétricos, perfiles

de velocidad de las corrientes de una sección transversal de un cauce natural, así como para la obtención de su caudal. El aforador S5 trabaja en aguas poco profundas, este incluye un algoritmo SmartPulse el cual, en base a la profundidad, velocidad y niveles de turbulencia del flujo, adapta el esquema de pulso acústico para esas condiciones con el fin de proveer la máxima resolución de datos de velocidad, con tamaños de celda tan pequeños como 2 cm. La frecuencia de registro de los perfiles de velocidad de flujo es de 1Hz. (SensorVital, 2014)

El ADCP transmite sonidos a una frecuencia fija lo que le permite escuchar los ecos que retornan por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas microscópicas de sedimentos o plancton presentes naturalmente en el agua, que se mueven a una velocidad igual que la misma, y que reflejan el sonido hacia el ADCP. Cuando el sonido enviado por el ADCP llega a los reflectores, se encuentra desplazado a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler; este desplazamiento frecuencial es proporcional a la velocidad relativa entre el ADCP y los reflectores, o sea, entre el ADCP y el agua. Parte de este sonido desplazado frecuencialmente es reflejado nuevamente hacia el ADCP donde se recibe desplazado una segunda vez. Este desplazamiento es el que utiliza el aparato para el cálculo de las velocidades. Con el ADCP se puede obtener la forma de la sección, las velocidades de las corrientes y definir el caudal. (Sontek , 2009).

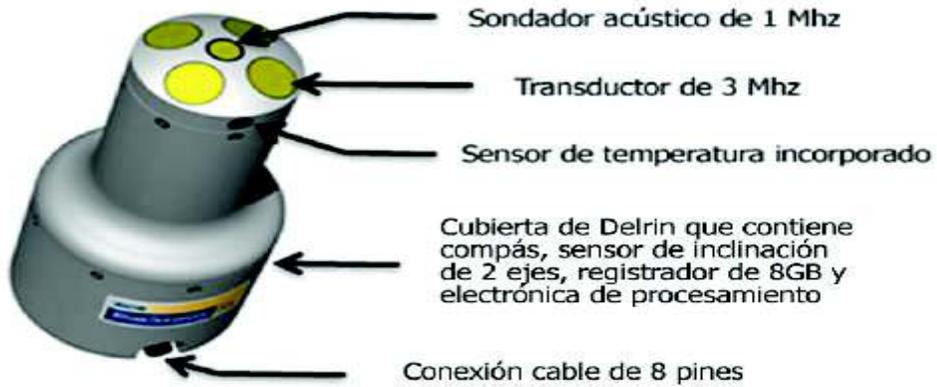
### **1.6.1. PERFILADOR ACÚSTICO DOPPLER S5**

El ADCP S5 está formado por 5 haces, 4 transductores inclinados a 25° con la vertical, responsables de la medición de la velocidad en las 3 direcciones y 1 haz vertical que mide las profundidades y realiza el perfil de la sección. Los 4 haces tienen una frecuencia de 3 MHz y el vertical de 1 MHz. (Sontek , 2009)

El S5 tiene un rango de trabajo de 0.20 a 5 m. de profundidad (calado) y un rango de medición de caudal de 15 m<sup>3</sup>/s. Por tal motivo es adecuado y recomendado para ríos y canales poco profundos. (Sontek , 2009)

Al ser las condiciones tan variables en cada río, tanto por el clima como por su ubicación, el equipo presenta algunas limitaciones al momento de utilizarlo, entre estas podemos mencionar la gran cantidad de sólidos presentes en el agua. Si bien el equipo necesita sólidos para que el haz rebote y pueda ser leído por los transductores, el exceso de estos hace que el haz no pueda traspasar a través de ellos provocando que el equipo no afore y no obtenga ningún dato, otros de los problemas que se pueden presentar son las

condiciones del fondo del río las cuales por presencia de una gran cantidad de vegetación (algas) hacen que el haz no pueda reconocer el fondo y no se pueda perfilar (Osorio, 2010). La figura 8 muestra el ADCP S5 con sus partes principales.



**Figura 8.** Perfilador de Corrientes Acústico Doppler S5

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

# CAPITULO II: METODOLOGÍA

## 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

Para empezar a utilizar el Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP) fue necesario familiarizarse con el equipo con la ayuda de su manual. Antes de salir al campo a tomar datos se realizó un reconocimiento de cada parte que conforma el equipo y su funcionamiento, así como las diferentes formas de conexión. La Secretaría de Ambiente cuenta con un ADCP en versión de firmware y software 1.0, esta versión es del 15 de febrero del 2009, así como de hardware la más básica que existe en el mercado. Como se muestra en la figura 9 a continuación.



**Figura 9.** Accesorios incluidos en el perfilador

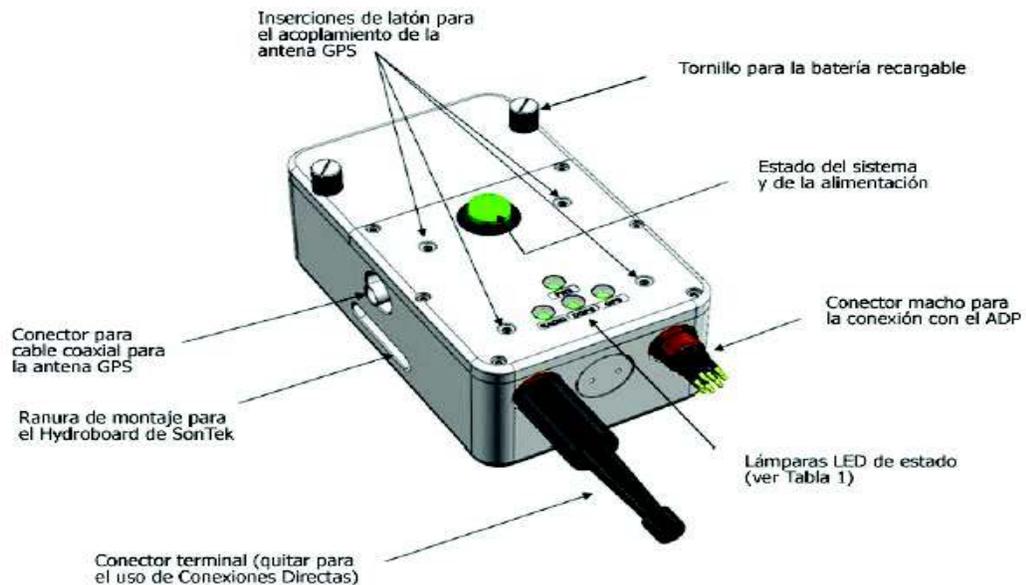
El equipo con el que cuenta la Secretaria de Ambiente contiene:

- Perfilador de Corrientes Acústico Doppler S5 (ADCP)
- Módulo de Alimentación y Comunicaciones (PCM)
- Cable de 10 metros para comunicación directo a la computadora
- Baterías recargables
- Cargador de baterías

- Adaptador USB-serie para PC
- Cable de comunicación ADP, PCM 1 m.
- Cable de alimentación de corriente
- Teléfono celular
- CD de software RiverSurveyorLive
- Antena Bluetooth
- Plataforma Hydroboard
- Manual.

## 2.2. CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE

La configuración del hardware empezó al colocar la fuente de alimentación (PCM). El equipo funciona con pilas recargables, por tal motivo, se las ubicó en su lugar, previamente retirando la tapa protectora contra el agua. En la figura 10 se muestra el PCM con sus partes principales.



**Figura 10.** Módulo de Alimentación y Comunicaciones (PCM)

**Fuente:** Sontek, 2009

Se colocó la tapa y ajustó con los tornillos, luego se ubicó la antena de comunicaciones tratando de que esta quede bien acoplada con el fin de evitar el contacto con el agua. Para finalizar se situó el PCM en la ranura que se encuentra en el Hydroboard asegurándolo con las correas evitando que se mueva o se salga de su lugar.

Posteriormente, se ubicó el ADP S5 en su posición, con el conector hembra alineado con el conector macho del PCM y los transductores en la parte de abajo de la plataforma y el ADP asegurando con el carenado instalado en el Hydroboard, así como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Configuración del hardware

**Fuente:** Sontek, 2009

## 2.3. PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Una vez realizado el reconocimiento del equipo, se procedió a las pruebas en el laboratorio de la Secretaría de Ambiente.

Para probar el equipo se tuvo que improvisar una piscina artificial, en la cual se colocaron algunas figuras intentando simular las formas del fondo de un río. Se llenó con agua y se colocó el equipo.

Estas pruebas fueron importantes ya que se determinó datos necesarios al momento de tomar medidas en campo, entre estas podemos mencionar:

- Tipos de conexión
- Profundidad de transductor
- Salinidad
- Declinación magnética

### 2.3.1. TIPOS DE CONEXIÓN

Dependiendo de las condiciones del lugar de trabajo, el operador puede elegir la forma de conectar el equipo. A continuación, se explicará los tipos de conexión que se pueden realizar en esta versión del ADCP.

### 2.3.1.1. CONEXIÓN DE MANERA DIRECTA

Este tipo de conexión requiere el cable de 10 metros, para lo cual se conectó directamente la computadora al ADP S5. Se requirió de alimentación energética por lo que si no se cuenta con baterías este tipo de conexión no se puede realizar en campo, además, es una limitante la longitud del cable ya que solo se lo podría utilizar en ríos o canales menores a 10 metros (siempre refiriéndose al ancho de su sección transversal) o sobre embarcaciones tripuladas. En la figura 12 se muestra los accesorios para realizar la conexión directa.



**Figura 12.** Conexión de manera directa

### 2.3.1.2. CONEXIÓN VÍA BLUETOOTH Y DISPOSITIVO MÓVIL.

Se utilizó el teléfono móvil en el cual viene precargado el programa RiverSurveyorLive para móvil que fue conectado vía bluetooth al PCM. Fue necesario conectar el ADP y el PCM con el cable de 50 centímetros. Cabe recalcar que el alcance en este tipo de conexión es de aproximadamente 60 metros, teniendo en cuenta una buena visión del campo y del cielo, sin obstrucciones ni mal tiempo. La figura 13 muestra los accesorios para realizar la conexión vía bluetooth con el teléfono móvil.



**Figura 13.** Conexión vía bluetooth y dispositivo móvil

### 2.3.1.3. CONEXIÓN VÍA BLUETOOTH Y COMPUTADORA

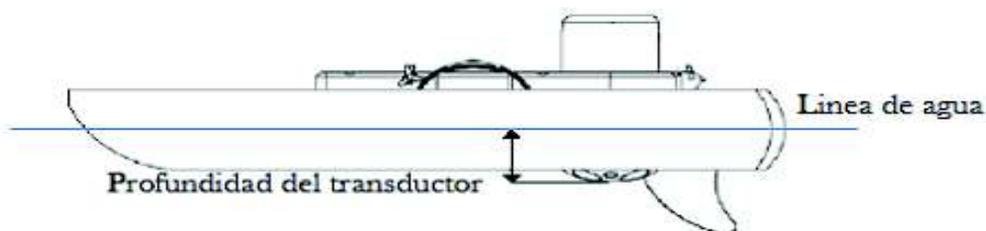
Para esta conexión se necesitó de una antena bluetooth Parani 2000 y una computadora. Se conectó la antena mediante el adaptador USB-serie para PC. En este caso fue necesario la configuración de la antena en una frecuencia de velocidad de 57600 K. El alcance para este tipo de conexión es de 200 metros, teniendo en cuenta una buena visión del campo y del cielo sin obstrucciones ni mal tiempo. La figura 14 muestra los accesorios necesarios para la conexión vía bluetooth con la computadora.



**Figura 14.** Conexión vía bluetooth y computadora

### 2.3.2. PROFUNDIDAD DEL TRANSDUCTOR

Es el calado del haz de luz del transductor que está sumergido debajo la superficie del agua. (Sontek , 2009). Este calado depende exclusivamente del usuario. Una vez colocado el equipo en el hydroboard, se determinó la distancia entre la línea de agua y el transductor. Con una regla se midió la distancia del ADP que sobresale del hydroboard y se sumó a la distancia medida desde la línea de agua de la plataforma hasta la superficie inferior de ésta. Para este caso se obtuvo el valor de 0,09 m. La figura 15 muestra cómo se debe medir la profundidad del transductor.



**Figura 15.** Profundidad del transductor

**Fuente:** Sontek, 2009

### 2.3.3. SALINIDAD

Este valor fue introducido por el usuario, sus unidades son en partes por billón (ppb), y va a depender de las condiciones locales del agua. Como referencia se tiene un rango que va desde 0 (ppb) para agua dulce y 34,5 (ppb) para agua de mar. (Sontek , 2009).

### 2.3.4. DECLINACIÓN MAGNÉTICA

Es la diferencia angular entre el norte magnético y el norte geográfico, este valor cambia según el lugar y con el tiempo. (Sontek , 2009). Para determinar la declinación magnética de cada punto de muestreo se procedió a tomar las coordenadas geográficas obtenidas *in situ* con un GPS, estas fueron introducidas en la página web <http://www.magnetic-declination.com>, en donde se obtuvo la declinación magnética de cada punto de muestreo.

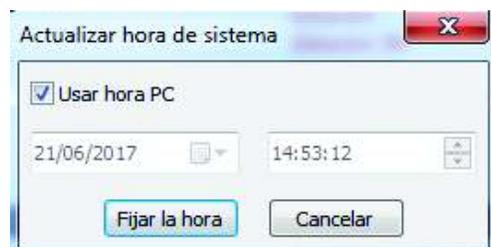
## 2.4. CONFIGURACIÓN DEL ADCP EN CAMPO

Una vez obtenidos los valores en el laboratorio se procedió a configurar el equipo en campo, en una situación real. Se probó el equipo en el río Pita en el sector del Molinuco, cabe recalcar que este es uno de los puntos de muestreo del laboratorio de la Secretaria de Ambiente.

Para empezar, se configuró el Hardware de la forma ya descrita anteriormente y se utilizó la conexión descrita en el inciso 2.3.1.3. Ya en el programa se introdujeron los siguientes parámetros:

### 2.4.1. HORA

Para actualizar la hora del sistema se ejecutó la opción, usar hora PC, esta opción actualizó la hora automáticamente a la que se muestra en la computadora, así como se muestra en la figura 16.

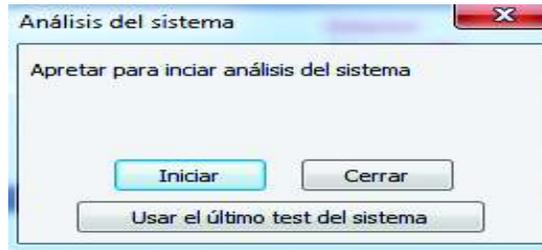


**Figura 16.** Actualización de la hora del programa

**Fuente:** Sontek, 2009

## 2.4.2. PRUEBA DEL SISTEMA

Este inciso se utilizó para comprobar el funcionamiento del equipo, las conexiones tanto de los cables como del bluetooth, el estado de la batería y el medidor de temperatura. Es importante realizar esta prueba cada vez que se utilice el equipo para saber si existe algún desperfecto y así solucionarlo. Como se muestra en la figura 17.



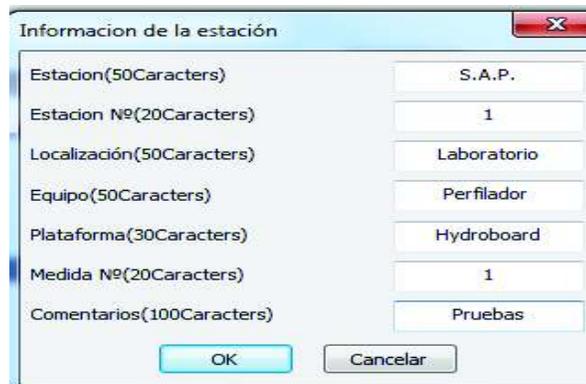
**Figura 17.** Prueba del sistema

**Fuente:** Sontek, 2009

## 2.4.3. INFORMACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

En este apartado se utilizó la siguiente información como se observa en la figura 18:

- Estación
- Número de la estación
- Localización
- Equipo
- Plataforma
- Número de medida
- Comentario



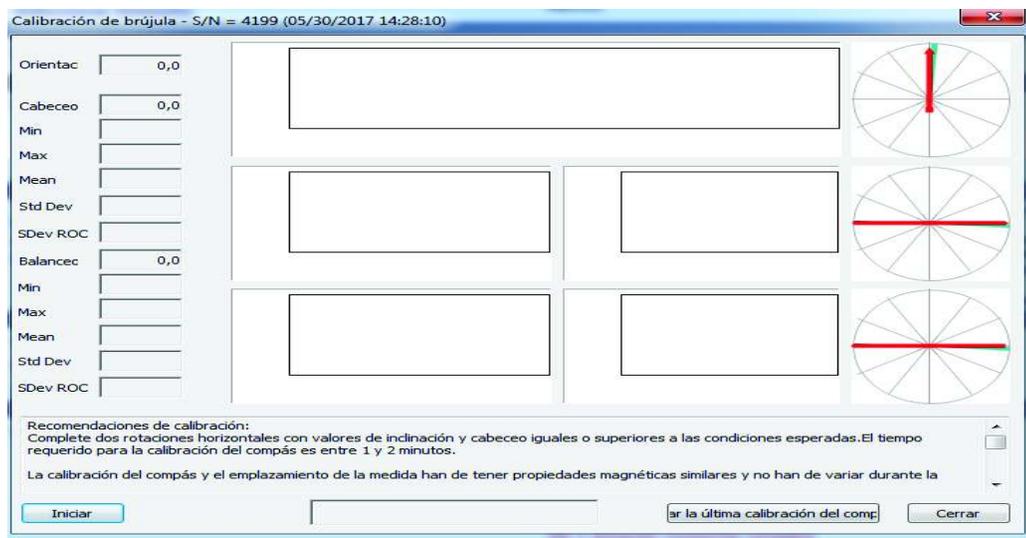
**Figura 18.** Información de la estación

**Fuente:** Sontek, 2009

Esta información fue introducida según el lugar en el que se tomó la medida y el correspondiente número de muestra, el resto de información corresponden a la institución a la que pertenece el equipo.

#### 2.4.4. CALIBRACIÓN DE LA BRÚJULA

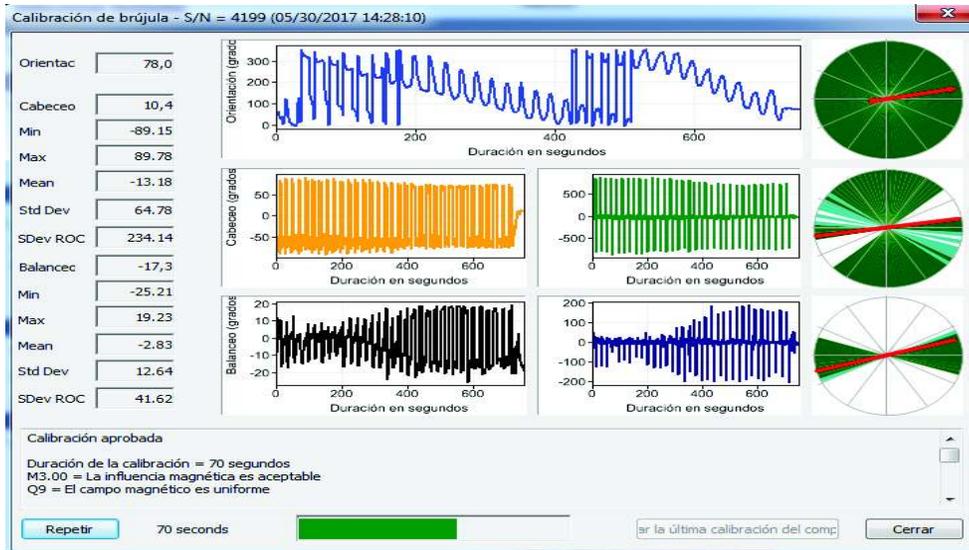
Para continuar se procedió a calibrar la brújula, con el equipo armado y en lo posible lo más cerca al punto de muestreo, evitando tener cerca algún aparato electrónico o estructuras metálicas que interferirían con el magnetismo de la brújula incluida en el ADCP. La figura 19 muestra la interfaz para la calibración de la brújula.



**Figura 19.** Calibración de la brújula

**Fuente:** Sontek, 2009

Después de haber iniciado el programa en el computador, el operador giró en su propio eje con el equipo, se simuló el movimiento del agua, con variaciones del ángulo de balanceo y de cabeceo tanto como fue posible, dos círculos completos en un tiempo mínimo de un minuto y máximo de dos minutos. Cuando se cumplió el tiempo y las dos vueltas, se detuvo el programa, inmediatamente se desplegó una ventana donde se indicó el resultado de la calibración. Por las interferencias ya mencionadas en uno de los puntos de muestreo la calibración de la brújula no fue aprobada, por consecuencia de un teléfono celular que se encontraba cerca. Por tal motivo el procedimiento de calibración tuvo que repetirse, debido a su importancia ya que se lo realiza con el fin de compensar los campos magnéticos del lugar. La figura 20 muestra la calibración de la brújula aprobada.

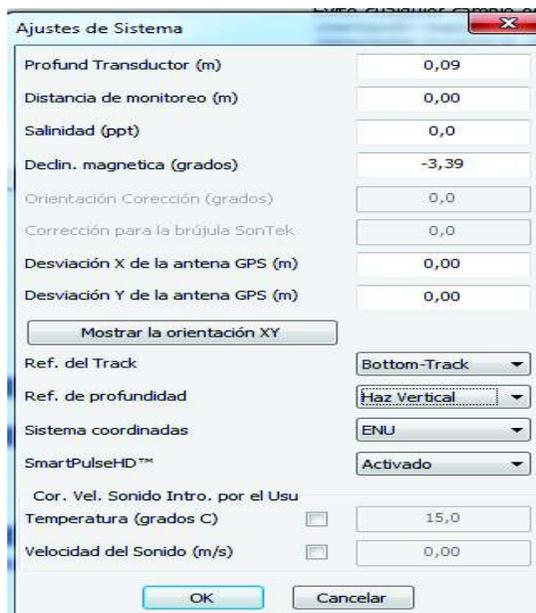


**Figura 20.** Calibración de la brújula

**Fuente:** Sontek, 2009

## 2.4.5. AJUSTES DEL SISTEMA

Para terminar la calibración del equipo, se usó los datos obtenidos en el laboratorio como se muestra en la figura 21 a continuación. Es importante señalar que las otras opciones que se muestran en este apartado dependerán del tipo de conexión que se utilice, para este caso las opciones que vienen por defecto serán las utilizadas.



**Figura 21.** Ajustes del sistema

**Fuente:** Sontek, 2009

## 2.5. PUESTA A PUNTO DEL ADCP

Se realizaron las primeras pruebas del equipo en campo para poner a punto el método de medida, en donde se encontraron varios inconvenientes que se detallan a continuación:

### 2.5.1. POSICIÓN DEL HYDROBOARD SOBRE LA CORRIENTE

#### 2.5.1.1. PROBLEMA

Al no tener un adecuado sistema para la sujeción de la plataforma en las primeras pruebas se colocó el hydroboard en forma perpendicular a la corriente lo que provocó que este terminara virándose o hundiéndose por la fuerza de la corriente. Se optó por colocarlo de forma paralela a la corriente y de la misma forma terminaba hundiéndose.

#### 2.5.1.2. SOLUCIÓN

Para resolver este problema se colocó al hydroboard de forma paralela a la corriente con la punta de éste aguas arriba. De esta forma se logró un mejor manejo y control de la plataforma, lo que permitió tomar datos sin problemas. En la figura 22 se muestra la posición del Hydroboard que se utilizó para las medidas y la dirección de la corriente.



Figura 22. Posición del Hydroboard sobre la corriente

## **2.5.2. SÓLIDOS EN EL AGUA**

### **2.5.2.1. PROBLEMA**

Al ser varios de los ríos de Quito contaminados con alta carga orgánica y alta presencia de sólidos en sus aguas, se presentó el problema más grave al momento de obtener datos. El ADCP si bien necesita cierta cantidad de sólidos en el agua por el efecto Doppler, una cantidad excesiva de estos ocasiona que el haz de luz no penetre a través de estos produciendo una interrupción en el proceso de medida y el equipo no pueda leer y dar resultados.

### **2.5.2.2. SOLUCIÓN**

Una posible solución a este problema era bajar la frecuencia del ADCP, lamentablemente la versión con la que cuenta la Secretaría de Ambiente tiene una sola frecuencia. De tal manera que este problema no se pudo solucionar por lo que en algunos de los ríos no se pudo tomar medias.

## **2.5.3. MEMORIA INTERNA DEL ADCP**

### **2.5.3.1. PROBLEMA**

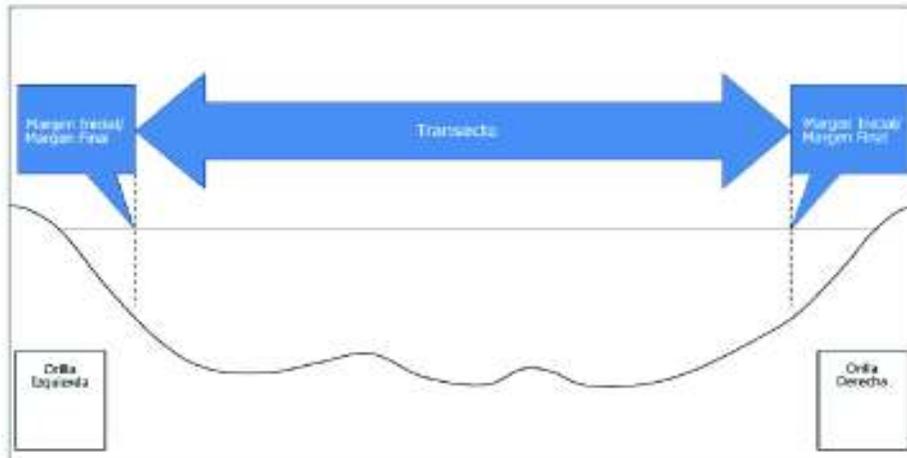
Uno de los inconvenientes que se presentaron al utilizar el equipo fue que al momento de configurar el ADCP en el inciso de pruebas del sistema este daba un error, se desplegaba un mensaje que decía que las baterías estaban descargadas y tenían un voltaje menor a 12 voltios. A su vez, esto provocaba que la brújula del ADCP no pudiera ser calibrada porque no era reconocida y desplegaba otro mensaje de error de instalación y por esta razón se imposibilitaba el uso del equipo y no se podía tomar medidas.

### **2.5.3.2. SOLUCIÓN**

En el laboratorio se procedió a cargar las baterías, pero el error persistía. La solución recomendada por la empresa y que se tomó, fue resetear a memoria interna del equipo previamente descargando los datos obtenidos anteriormente. Una vez hecho este proceso el equipo funcionó nuevamente.

## 2.6. TOMA DE DATOS

El método que se utilizó para la toma de datos fue el mismo para los ríos en los que se pudo utilizar el equipo. Se dividió al río en tres partes que son: Margen inicial, margen final y el transecto. Como se muestra en la figura 23 a continuación.



**Figura 23.** Secciones de medición

**Fuente:** Sontek, 2009

Además, el transecto se divide en Estimación Superior, área medida y fondo estimado, siendo el área medida lo único que el equipo puede leer, las otras áreas como su nombre lo indican son estimadas al igual que la margen inicial y final. La figura 24 a continuación detalla cómo se divide una sección transversal.



**Figura 24.** Áreas transversales no medidas por el ADCP

**Fuente:** Sontek, 2009

Teniendo en cuenta estos parámetros se describirá el método a continuación.

- A. Se configuró el equipo con la conexión bluetooth a través de una computadora y la antena Parani 2000.

- B. Se inició el programa RiverSurveyorLive y se conectó con el equipo.
- C. Se introdujeron los parámetros necesarios para el funcionamiento del programa, así como la configuración de la brújula.
- D. Realizados los pasos iniciales, se colocó el hydroboard en el cauce de agua de tal forma que la parte delantera (proa) de la plataforma quedó en contra al flujo de la corriente.
- E. Una vez el equipo en el agua, empezó la medida presionando el botón de inicio o la tecla F5.
- F. Enseguida se desplegó una ventana en donde se colocaron los datos del punto de partida, los cuales son: margen inicial, distancia de la orilla y forma de la orilla. El margen inicial se determinó mirando aguas abajo teniendo en cuenta la posición del hydroboard.
- G. Se presionó la pestaña *enter* o la tecla F5 y se contó diez muestras, se mantuvo el perfilador lo más estático cómo fue posible, transcurrido este tiempo se presionó la pestaña empezar a mover o la tecla F5.
- H. Inició la medida del transecto, esto se realizó lo más despacio cómo fue posible tratando de mantener la velocidad y la dirección uniforme. Una vez terminado el transecto, se presionó la pestaña terminar transecto o la tecla F5.
- I. Nuevamente se desplegó una ventana en donde se colocó los datos del margen final, luego se presionó *ok* y se contó diez muestras. Una vez transcurrido esto se presionó la tecla F5 o la pestaña finalizar medida.
- J. Dependiendo la necesidad del usuario se puede iniciar nuevamente otra medida siguiendo el procedimiento anterior o terminar la medida presionando abortar o F8. Cabe recalcar que los datos tomados se guardaron en una carpeta creada por el programa en la computadora.

Para esta campaña se realizaron 8 medidas en el mismo punto, cuatro de ida y cuatro de vuelta. También hay que tomar en cuenta que los datos iniciales de los márgenes cambiaron debido a que las orillas son distintas en cada río.

## **2.7. USO DEL MOLINETE**

La secretaría de Ambiente cuenta con un mini molinete de marca Seba Hydrometrie el cual cuenta con los siguientes accesorios como se muestra en la figura 25:

- Barra soporte con pie de 1,50 metros
- Molinete propiamente dicho
- Cables

- Hélices
- Pinza para sujeción de barra soporte
- Caja contadora de impulsos



**Figura 25.** Mini Molinete

Se presentaron algunos inconvenientes para el uso del molinete, entre estos tenemos: la falta del manual del equipo, hélices incompletas y el contador de impulsos dañado.

Para solucionar el problema del contador de impulsos se lo reemplazo por otro contador de marca Rickly Hydrological Co, que se muestra en a figura 26.



**Figura 26.** Contador de pulsos Rickly Hydrological Co.

Previamente al uso del molinete en los ríos, fue necesaria la obtención de sus constantes para determinar la velocidad, con el fin de poder comparar las velocidades de las corrientes determinadas con el ADCP.

$$V = Kn * \Delta \quad (3)$$

Donde:

V: velocidad (m/s)

K: Paso hidráulico de la hélice

N: Número de vueltas(m/s)

$\Delta$ : Constante del molinete

Este proceso se realizó en Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI) de la Escuela Politécnica Nacional. En un canal artificial se hizo correr un caudal de agua que tenía una altura (calado) de 12cm, se tomaron tres valores diferentes de 0.8; 0.6 y 0.4 % de altura. Estos valores se los multiplico por los 12 cm del calado, obteniendo tres alturas diferentes que fueron 9.6; 7.2 y 4.8 cm.

En la figura 27 se muestra el canal artificial perteneciente al CIERHI.



**Figura 27.** Canal artificial, laboratorios CIERHI

Primero se colocó el molinete a la altura de 9,6 centímetros y se tomó el número de vueltas, en un tiempo de 40 segundos. El número de vueltas se dividió para el tiempo y se obtuvo la constante n. Este proceso se realizó por tres veces seguidas. Los tres valores de n se sumaron y promediaron obteniendo un valor medio.

Para determinar la velocidad del agua del canal artificial, se utilizó una pelota de pingpong como flotador en una distancia conocida, se soltó la pelota y se midió el tiempo que transcurrió en recorrer la distancia planteada. Este proceso se realizó por cinco veces, los valores obtenidos se promediaron para obtener un tiempo medio.

Para finalizar se utilizó la fórmula física para obtener la velocidad como se indica en la ecuación 4.

$$v = \frac{d}{t} \left( \frac{m}{s} \right) \quad (4)$$

Con la velocidad de la corriente del canal artificial y la constante n, se despejó la constante del molinete ( $\Delta$ ), y reemplazó dichos valores, para al final obtener una la constante del molinete y la ecuación de velocidad. Una vez obtenida la ecuación de velocidad del molinete, se procedió a la obtención de datos en campo.

El método que se utilizó fue consecuencia de la profundidad del agua. Para el caso en el que se logró tomar medidas la profundidad fue menor a 60 centímetros por lo que el molinete se colocó a la mitad de esa profundidad, en tres puntos diferentes del río. Para determinar los puntos en el ancho de la sección transversal, se tomó el ancho total de la sección y se dividió para tres. La altura del molinete fue la misma para cada punto. En la figura 28 a continuación muestra la toma de datos con el molinete en el sector del Molinuco.



**Figura 28.** Toma medidas de velocidad con mini molinete

Se tomaron 3 medidas por cada punto, las cuales se promediaron. De esta forma se obtuvo una velocidad media que pudo ser comparada con la velocidad obtenida con el ADCP.

# CAPÍTULO III: DISCUSIÓN Y RESULTADOS

## 3.1. DECLINACIÓN MAGNÉTICA

Los valores obtenidos para cada punto de muestreo fueron los siguientes:

**Tabla 1.** Declinación Magnética Río Pita

<b>Río Pita</b>			
<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Declinación magnética</b>
<b>Molinuco</b>	78°23'54,78"	0°24'56,98"	-3,39°
<b>Santa Teresa</b>	78°25'4,24"	0°20'13,83"	-3,47°

**Tabla 2.** Declinación Magnética Río San Pedro

<b>Río San Pedro</b>			
<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Declinación magnética</b>
<b>Bocatoma (El Triángulo)</b>	78°27'47,69"	0°18'0,66"	-3,36°
<b>Vía Amaguaña</b>	78°31'2,54"	0°23'21,41"	-3,31°

**Tabla 3.** Declinación Magnética Río Guayllabamba

<b>Río Guayllabamba</b>			
<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Declinación magnética</b>
<b>Pacto, El Chontal</b>	78°44'41,81"	0°14'7,73"	-3,27°

**Tabla 4.** Declinación Magnética Río Machángara

<b>Río Machángara</b>			
<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Declinación magnética</b>
<b>Tumbaco</b>	78°24'53,82"	0°11'7,17"	-3,42°

**Tabla 5.** Declinación Magnética Río Monjas

<b>Río Monjas</b>			
<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Declinación magnética</b>
<b>San Antonio de Pichincha</b>	78°26'27,37"	0°0'44,61"	-3,31°

## **3.2. PERFIL HIDROLÓGICO Y DE VELOCIDAD**

A continuación se describirán los resultados obtenidos con el Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP), cabe mencionar que los datos recopilados son de un periodo de seis meses, con la realización mensual de una medida tal cual se realizan los monitoreos de la Red Hídrica del DMQ por la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito.

Para el mes de marzo no se pudo tomar ninguna medida en ninguno de los ríos debido a que el ADCP sufrió un desperfecto y no se lo pudo utilizar.

### **3.2.1. RÍO PITA**

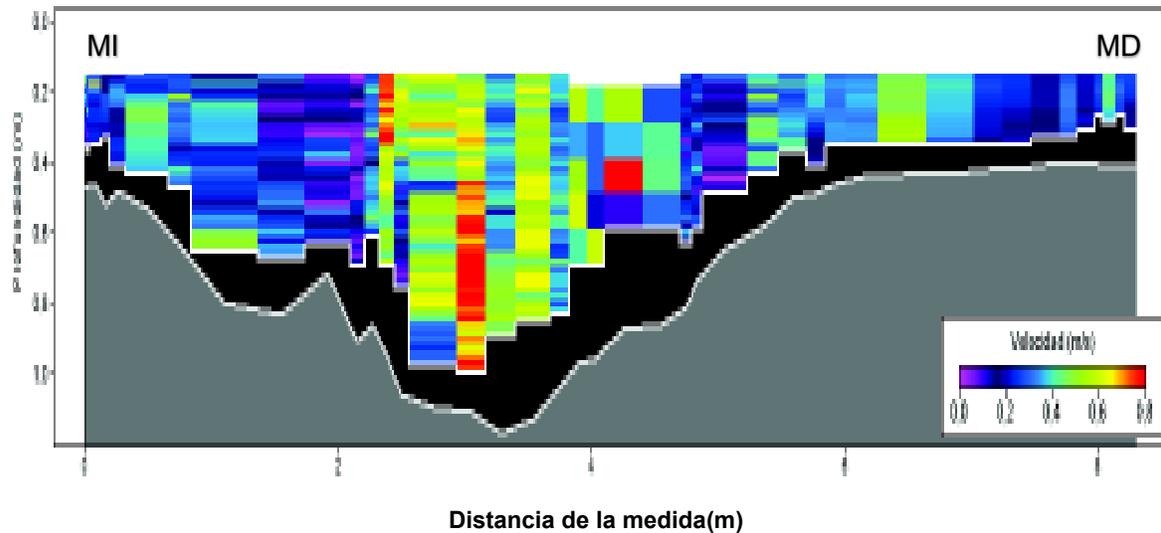
En el Río Pita la Secretaría de Ambiente tiene dos puntos de muestreo diferentes que son en los sectores de:

- Molinuco
- Barrio Santa Teresa

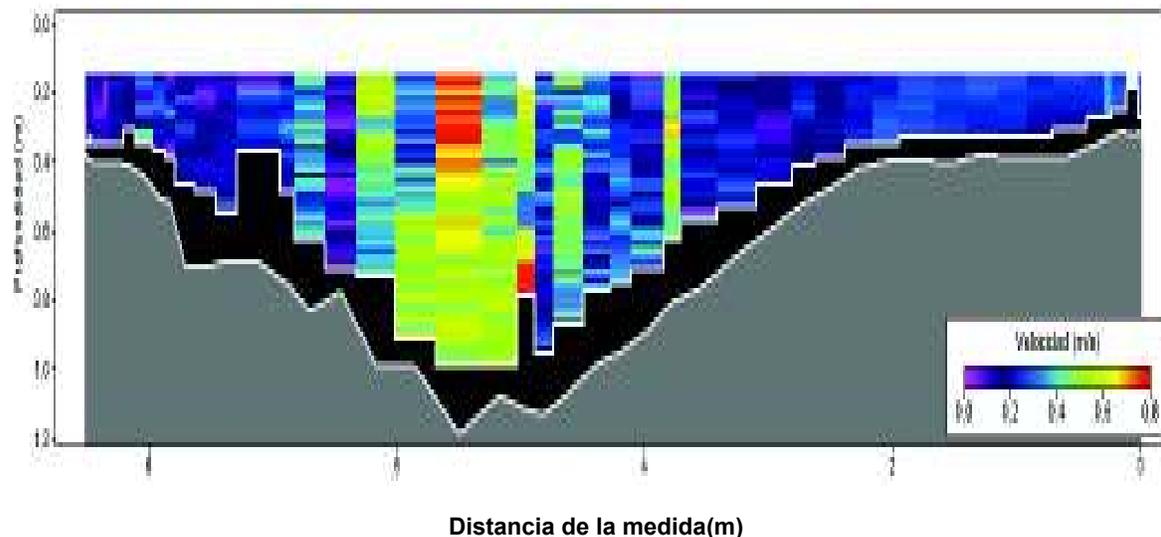
#### **3.2.1.1. MOLINUCO**

En este sector se tenía planeado tomar muestras directamente del río, al ser un lugar accesible, pero por motivos del mal tiempo por las lluvias y por seguridad se tuvo que cambiar el punto de muestreo al puente que se encuentra aproximadamente a 10 metros del punto original. Por esta razón en ese sector se tiene datos de dos puntos distintos.

El equipo fue utilizado con una soga por dos operarios cuando se tomaron las medidas en el río, en cambio sobre el puente solo un operario fue el encargado de medir. El problema de trabajar sobre el puente es que este fue construido de forma artesanal ya que está formado por troncos de árboles y que no cuentan con los soportes a los lados, lo que se volvía peligroso, sobre todo en los meses de lluvia las corrientes eran más fuertes por lo que el procedimiento de medida se complicaba al no tener un soporte, además, por el sector circulan automóviles y al no existir vereda se tornaba en una situación más peligrosa. Como se explicó anteriormente se tomaron 8 medidas cada mes de donde se recopiló los datos de caudal, velocidad de las corrientes y profundidad las cuales al final se promediaron. Se muestra las figuras 29 y 30 que corresponden a los meses de enero y febrero del 2017.



**Figura 29.** Perfil y perfil de velocidad mes de enero



**Figura 30.** Perfil y perfil de velocidades mes de febrero

Para los meses de enero y febrero las medidas fueron sobre el río y como se observa en el perfil de velocidad, existen valores de velocidad que van desde 0.2 m/s (color azul) hasta velocidades de 0.8 m/s (color naranja), además, señalar que las velocidades más altas se encuentran aproximadamente en la mitad del río y las velocidades más bajas cerca de las orillas por lo que se cumple con lo que dice en la teoría (O. Rojas, 2006). Otro dato importante por mencionar es que en esos meses no era época lluviosa.

Por lo mencionado en el capítulo anterior la estimación superior y el fondo estimado no son medidos por el ADCP. Debido a deficiencias en este tipo de equipos estas áreas son estimadas (extrapoladas).

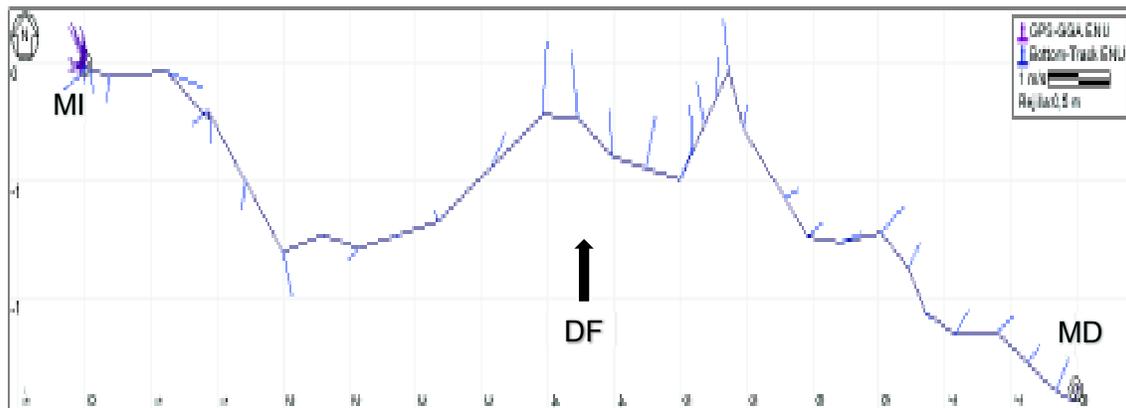
La estimación superior es la franja que se forma desde los transductores hasta la superficie inferior del hydroboard, es por esta razón la importancia de colocar correctamente la profundidad del transductor.

El fondo estimado el equipo no lo puede medir debido a que este no distingue el rebote que existe entre las partículas que viajan en el líquido y el rebote de la onda acústica perteneciente al ADCP contra el fondo del río.

Para determinar la velocidad el equipo utiliza el método conocido como Extrapoliación de Velocidad de Perfilado el cual utiliza un ajuste potencia del perfil de velocidades por encima y por debajo del área medida. Por otro lado, el caudal es determinado utilizando la velocidad calculada anteriormente, además de la posición del equipo que se determina con el GPS interno y la profundidad del calado. (Sontek, 2009).

En lo que se refiere al perfil se observa que tiene similitud en los dos meses, las pocas variaciones se deben a que la plataforma no siguió un mismo camino al no tener una buena sujeción por la dificultad del trabajo en campo.

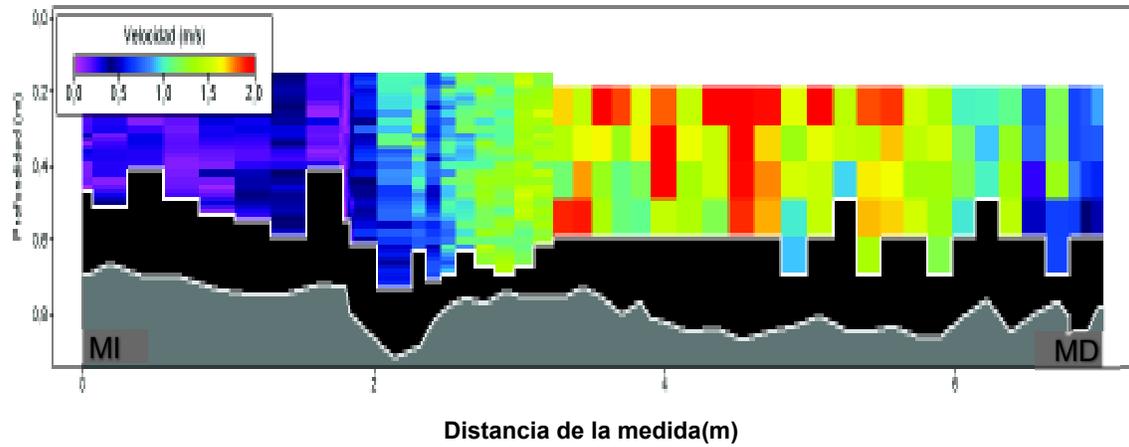
En la figura 31 se observa la trayectoria recorrida por el hydroboard.



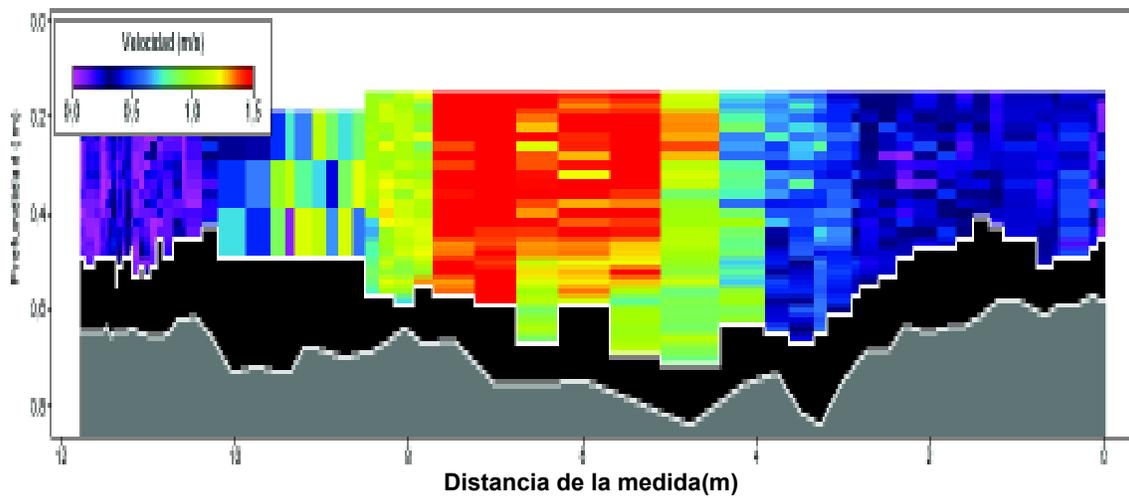
**Figura 31.** Trayectoria del Hydroboard

En la figura 31 se identifica el margen izquierdo (MI) y el margen derecho (MD) al igual que la dirección del flujo (DF) tomando en cuenta que la imagen se encuentra referenciada con el norte magnético. En resumen, el ADCP midió 64.3% de la sección lo que quiere decir que el 35.7% restante fue extrapolado, la duración promedio de la medida fue de 1:02 minutos, mientras que la longitud medida de la sección transversal fue de 11.59 m. El área promedio para los dos meses fue de 6.152 m<sup>2</sup>. Y la profundidad máxima medida fue de 1.165 m.

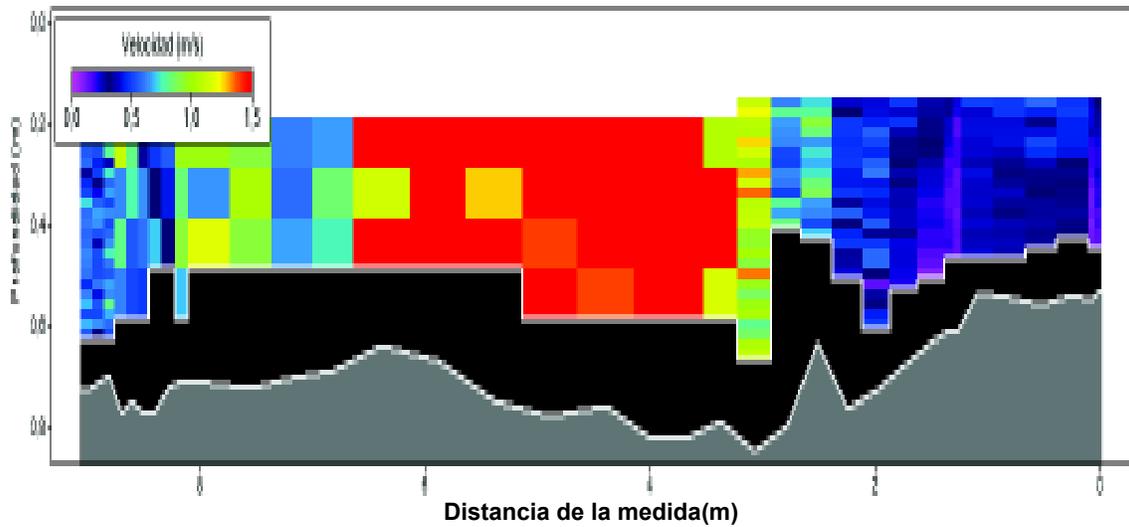
En las figuras 32 a la 35 a continuación corresponden a los meses de abril hasta julio que fueron tomadas sobre el puente.



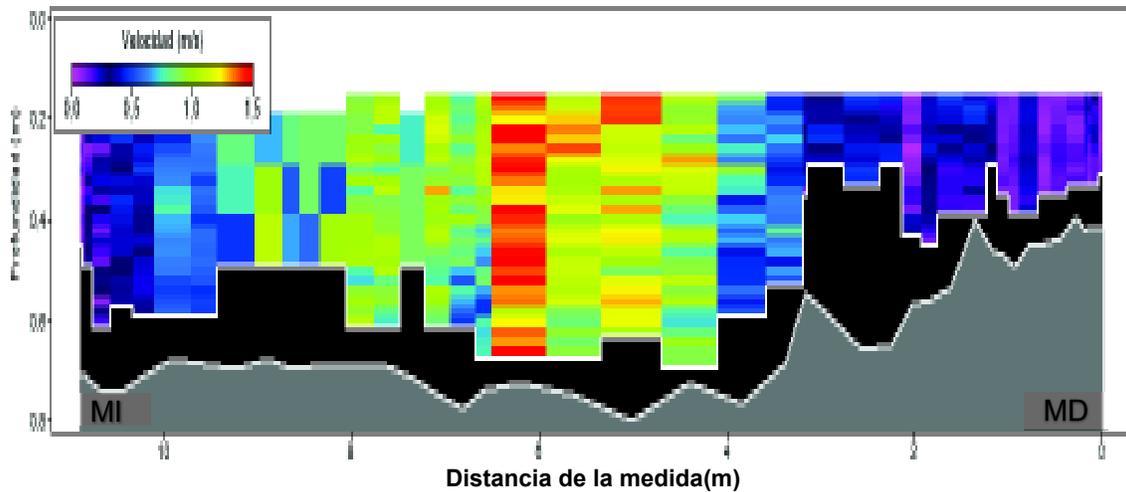
**Figura 32.** Perfil y Perfil de velocidades mes de abril



**Figura 33.** Perfil y Perfil de velocidades mes de mayo



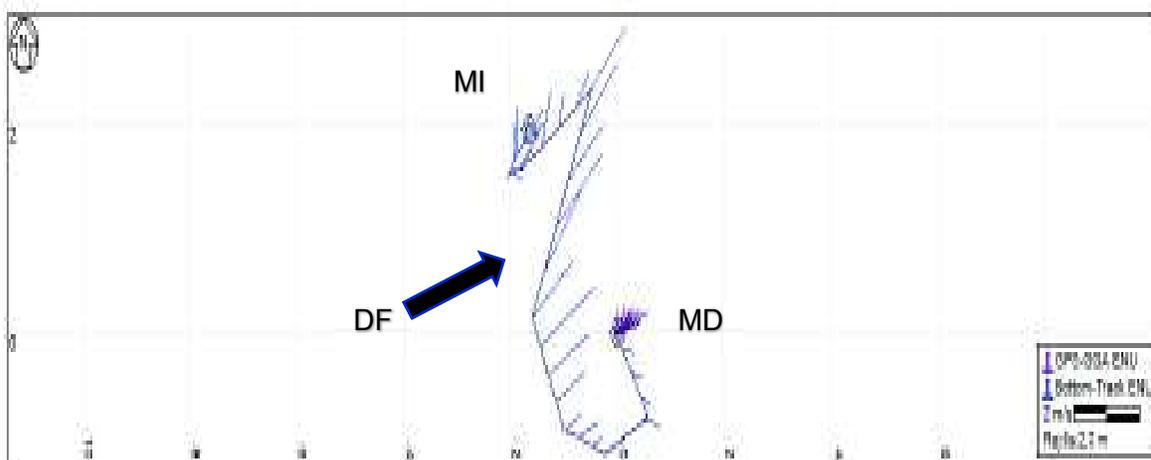
**Figura 34.** Perfil y Perfil de velocidades mes de junio



**Figura 35.** Perfil y Perfil de velocidades mes de julio

Para los meses de abril a julio las medidas se realizaron sobre el puente, por esa razón se observa la diferencia de forma en el perfil en comparación con los meses de enero y febrero. Para esas fechas fueron meses de lluvia por lo que las velocidades están en un rango de 0 m/s en las orillas (color morado) y 1.5 m/s en la mitad del río (color naranja). Señalar que las figuras se identifican la margen izquierda (MI) y derecha (MD), debido a que una de las ventajas de estos equipos es que se puede iniciar una nueva medida a partir de la margen final de la anterior medida, esta configuración se mantiene para todas las figuras en donde se observa el perfil y perfil de velocidades.

En lo que se refiere al perfil, este es similar con solo unas diferencias, debido a que por la fuerza de la corriente el hydroboard no siguió un mismo camino por falta de una forma correcta de sujeción del equipo, como se muestra en la figura 36.



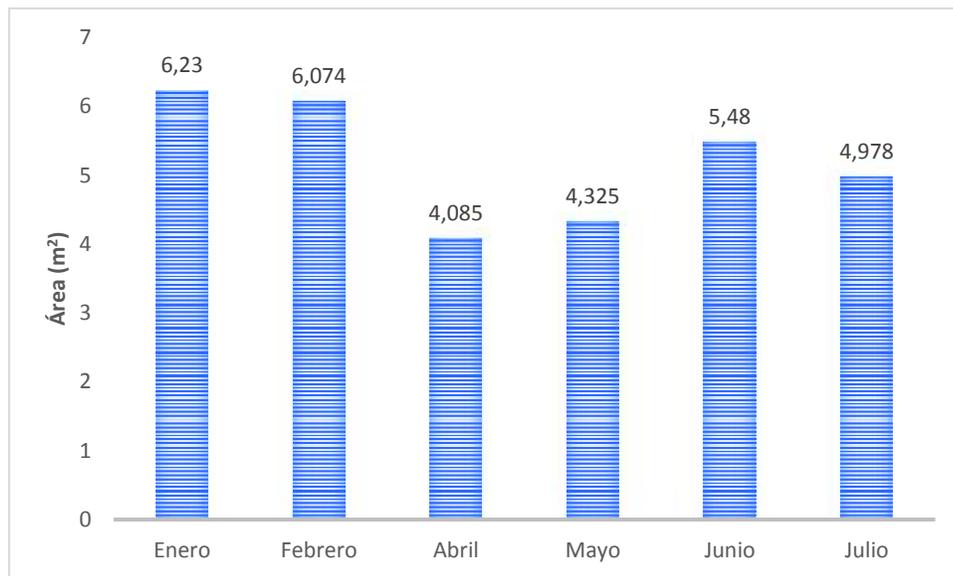
**Figura 36.** Trayectoria del hydroboard

En resumen, el ADCP midió el 53.1% de la sección, lo que quiere decir que el 46.9% del restante fue extrapolado, el tiempo promedio de duración de la medida fue de 1:11 minutos, mientras que la longitud medida de la sección transversal fue de 7.789 m. El área calculada fue de 4.717 m<sup>2</sup>. Y la profundidad máxima medida de 0.873 m.

En la tabla 6 se muestra un resumen de las áreas en cada mes, mientras que en la figura 37 se representa el gráfico de estas.

**Tabla 6.** Área medida

Mes	Área (m <sup>2</sup> )
Enero	6,230
Febrero	6,074
Abril	4,085
Mayo	4,325
Junio	5,480
Julio	4,978



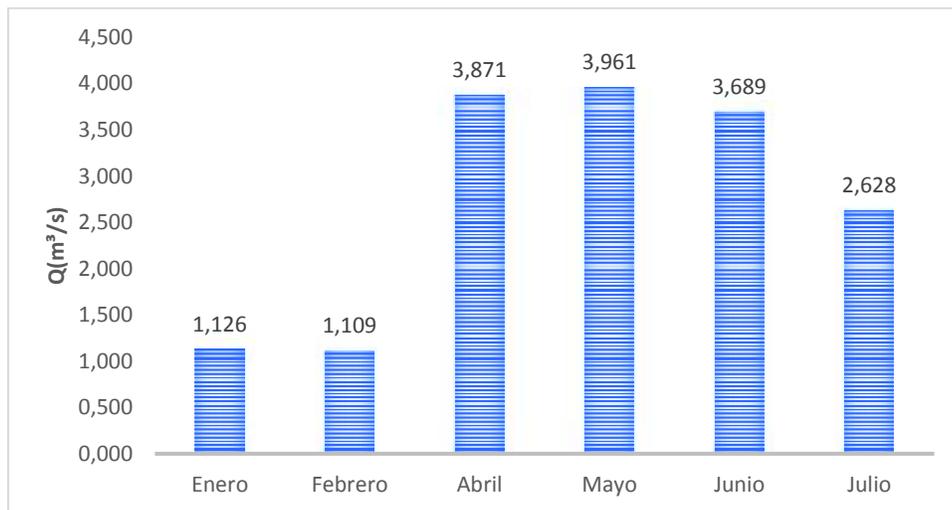
**Figura 37.** Área medida

En la figura 37 se observa el área medida en cada mes de muestreo, para los meses de enero y febrero el área es mayor en comparación a los otros meses esto debido a que las primeras dos medidas se las realizaron sobre el río mientras que para los meses de abril a julio las medidas fueron tomadas sobre el puente. Todos los valores obtenidos tienen variaciones esto debido a la trayectoria del ADCP que no fue constante por la variación de la velocidad en la corriente del río.

En la tabla 7 se muestra el resumen de las medidas obtenidas cada mes y su promedio mientras que en la figura 38 se observan sus gráficos.

**Tabla 7.** Caudal promedio

Caudal(m <sup>3</sup> /s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	1,209	0,837	1,067	1,270	1,132	1,292	1,064	1,139	1,126
Febrero	1,169	1,150	1,307	1,032	1,197	1,033	1,106	0,874	1,109
Abril	3,074	5,673	4,133	3,897	3,934	4,857	2,645	2,757	3,871
Mayo	3,515	3,919	4,237	3,862	4,521	4,604	3,579	3,448	3,961
Junio	5,502	3,654	2,918	2,530	3,670	2,838	5,154	3,243	3,689
Julio	2,633	3,554	2,843	2,561	2,591	2,429	2,067	2,347	2,628



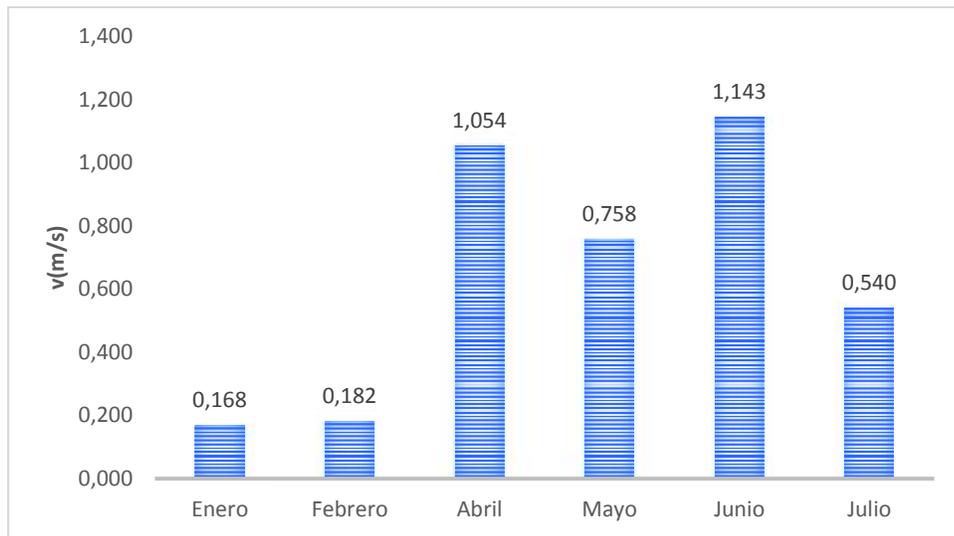
**Figura 38.** Caudal promedio

Se aprecia los caudales promedio de las 8 medidas de cada mes, para los meses de enero y febrero el caudal es mucho menor en comparación para los otros meses esto debido a las condiciones climatológicas del lugar ya que eran meses que no se presentaron lluvias y a pesar que estas medidas fueron en diferente lugar el caudal se mantiene bajo. Como ya se mencionó para los meses de abril a junio se tiene meses de lluvia debido al invierno por lo que el caudal aumenta considerablemente a diferencia con el mes de julio en donde el caudal nuevamente baja.

En la tabla 8 se representan los valores de velocidades de corrientes de cada medida durante los seis meses, mientras que en la figura 39 sus gráficos respectivamente.

**Tabla 8.** Velocidad promedio

Velocidad Corrientes(m/s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,146	0,136	0,163	0,186	0,184	0,184	0,190	0,154	0,168
Febrero	0,186	0,173	0,205	0,183	0,187	0,190	0,191	0,142	0,182
Abril	1,320	0,828	0,912	0,757	0,924	2,715	0,253	0,720	1,054
Mayo	0,477	0,945	0,719	0,758	0,837	0,783	0,743	0,804	0,758
Junio	1,061	0,809	1,362	0,451	0,654	3,149	0,935	0,726	1,143
Julio	0,500	0,576	0,571	0,371	0,627	0,555	0,636	0,480	0,540



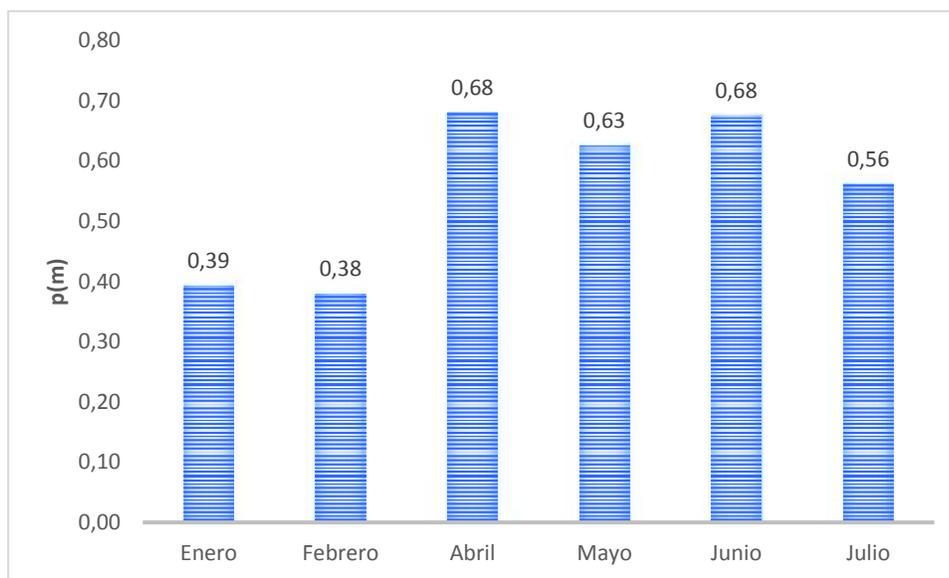
**Figura 39.** Velocidad promedio

Se visualiza la velocidad promedio de las corrientes en cada mes, para los meses de enero y febrero la velocidad fue relativamente baja, pero aumenta a medida que se acercó la temporada lluviosa. Para los meses de abril a junio esta velocidad aumentó, en el mes de mayo se observa que la velocidad disminuyó, esto fue debido a que por la fuerza de las corrientes hubo inconvenientes en la sujeción del equipo. Para el mes de julio la velocidad nuevamente bajó, la razón principal fue el cese de las lluvias en el sector.

En la tabla 9 se representan los valores de la profundidad promedio medida por el equipo, mientras que en la figura 40 se observan sus gráficas.

**Tabla 9.** Profundidad promedio

Profundidad Sección Transversal Promedio (m)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,41	0,40	0,38	0,41	0,35	0,35	0,41	0,37	0,39
Febrero	0,38	0,40	0,41	0,39	0,38	0,38	0,31	0,38	0,38
Abril	0,65	0,71	0,63	0,68	0,74	0,82	0,61	0,60	0,68
Mayo	0,72	0,55	0,64	0,60	0,69	0,61	0,51	0,68	0,63
Junio	0,71	0,71	0,79	0,62	0,78	0,45	0,74	0,60	0,68
Julio	0,56	0,42	0,73	0,42	0,72	0,45	0,72	0,47	0,56



**Figura 40.** Profundidad promedio

Por último, se observa la profundidad promedio medida por el perfilador, cabe mencionar que esta profundidad no es la misma que la profundidad máxima medida.

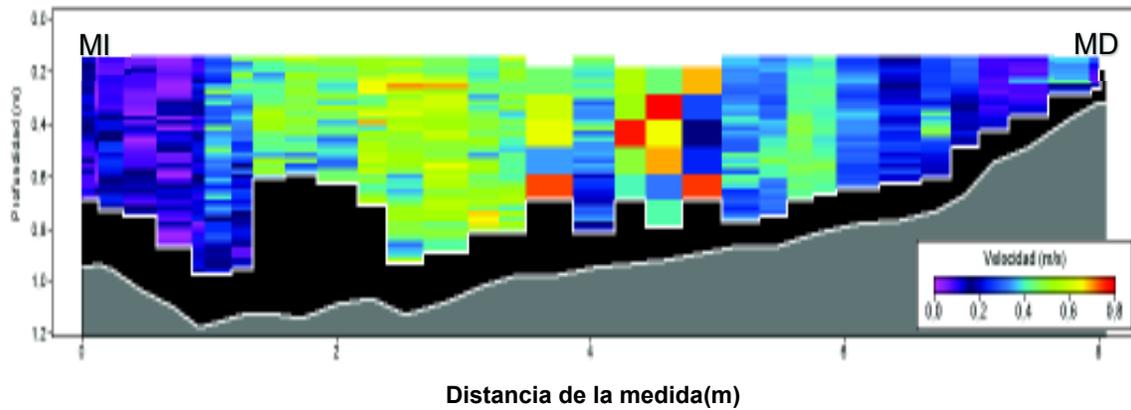
Se aprecia que la profundidad creció en los meses de lluvia al igual que aumentó el caudal y en los meses que no hubo lluvia la profundidad se mantuvo baja.

### 3.2.1.2. BARRIO SANTA TERESA

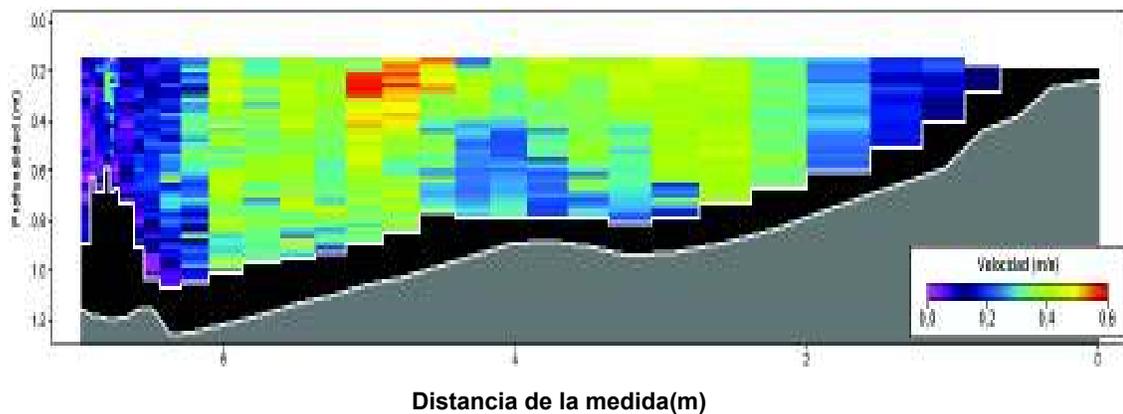
El segundo punto de muestreo del río Pita es en el barrio de Santa Teresa, la razón de muestrear en este sector es saber cuánto afectan las canteras de las cercanías. Para cruzar el río existía un puente de troncos hecho por los moradores del sector, pero por causa del mal tiempo y las lluvias este puente desapareció lo que causó un problema para la toma de datos ya que al intentar el cruce a través del río se volvió peligroso por el

aumento de caudal y velocidad de las corrientes, por lo que en los meses de abril y mayo lamentablemente no se pudo obtener datos.

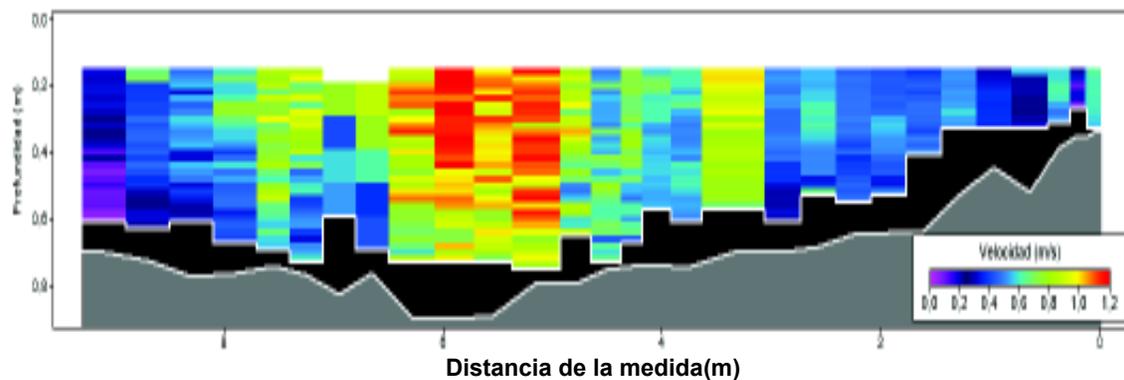
En este punto se utilizó el equipo sujetándolo con una soga con dos operarios uno a cada lado del río, de la misma forma se hicieron 8 medidas en cada mes de donde se obtuvo los siguientes resultados, como se muestran en las figuras 41 a 44:



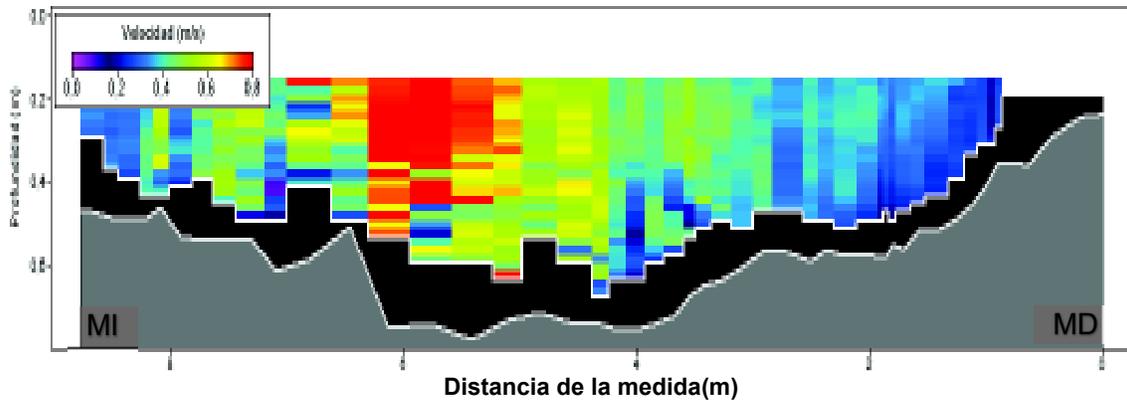
**Figura 41.** Perfil y Perfil de velocidad mes de enero



**Figura 42.** Perfil y Perfil de velocidad mes de febrero



**Figura 43.** Perfil y Perfil de velocidad mes de junio



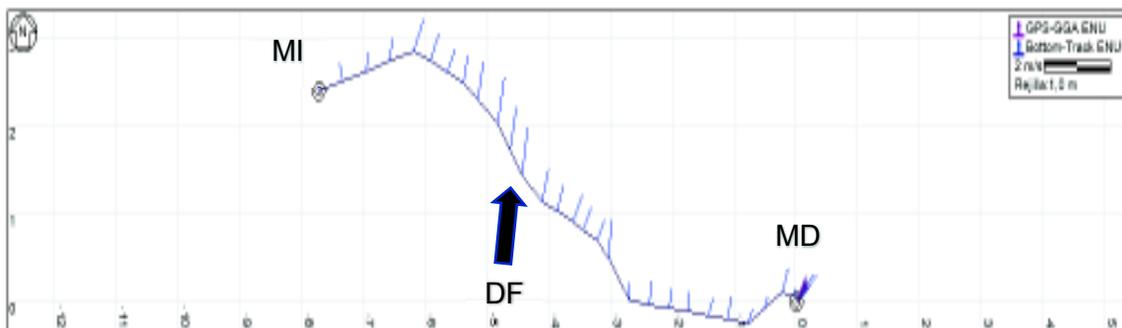
**Figura 44.** Perfil y Perfil de velocidad mes de julio

En este caso se observa que para los meses de enero y febrero las velocidades van en un rango de 0.2 m/s en las orillas (color morado) hasta 0.8 m/s en el centro del río (color naranja). Mientras que para el mes de junio las velocidades tienen un rango que va desde 0.2 m/s en las orillas (color morado) y 1.2 m/s en el centro del río (color naranja), el aumento de velocidad en las corrientes es debido al aumento de caudal provocado por las lluvias en época de invierno.

Para el mes de julio se observa que nuevamente la velocidad desciende a un máximo de 0.8 m/s en el centro del río y un mínimo de 0.2 m/s en las orillas.

Para los meses de febrero y julio se observa que en el margen derecho del río no existe perfil de velocidad y se mira de color negro, esto es causado por la profundidad del río ya que en esa parte no tenía la profundidad necesaria de 0.20 m para perfilar y solo extrapoló la forma de la orilla.

En lo que se refiere al perfil, hay un cambio para los meses de junio y julio esto debido a que aguas arriba del punto de muestreo están ubicadas las canteras de Pintag, el río arrastró varios pedazos de piedra lo que cambió la forma del fondo y por el hecho de haber realizado el cruce del hydroboard sujetado solo con una soga este no tuvo un recorrido continuo y recto, así como se muestra en la figura 45.



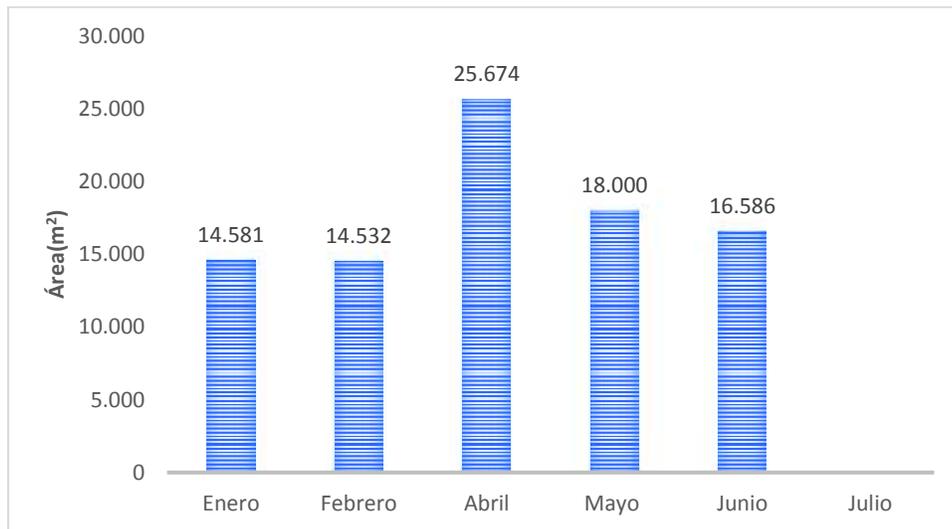
**Figura 45.** Trayectoria del Hydroboard

En resumen, el ADCP midió un 61.5% de la sección transversal el restante 38.5% fue extrapolado, la duración promedio de la medida fue de 1:00 minuto, mientras que la longitud medida de la sección transversal fue de 10.299 m, el área promedio calculada fue de 6.352 m<sup>2</sup> y la profundidad máxima medida fue de 0.920 m.

En la tabla 10 se presentan los valores del área medida durante los seis meses mientras que en la figura 46 sus gráficas.

**Tabla 10.** Área medida

Mes	Área (m <sup>2</sup> )
Enero	6.298
Febrero	6.221
Abril	
Mayo	
Junio	6.387
Julio	6.502



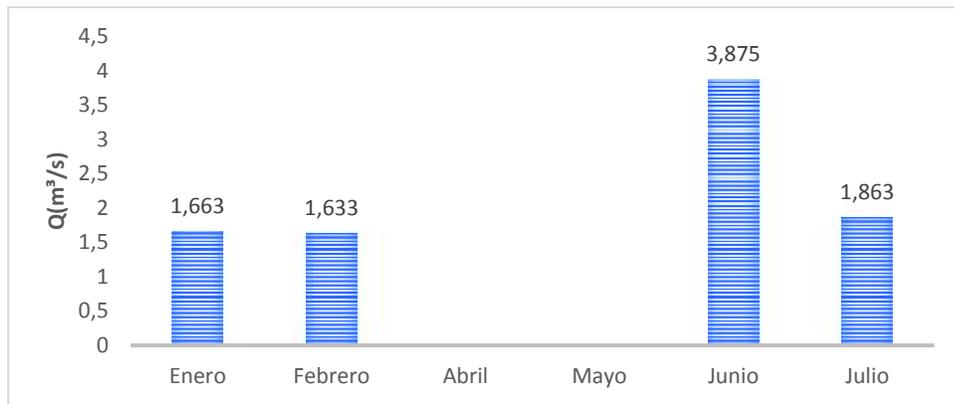
**Figura 46.** Área medida

En la figura 46 se muestra el área obtenida por el ADCP, se observa que en los cuatro meses de medidas el área no tiene gran variación, para julio se tiene la mayor área medida esto debido al aporte de rocas de las canteras aguas arriba del punto de muestreo, además la variación puede estar dada ya que no se mantuvo una dirección uniforme en el movimiento del hydroboard esto para los cuatro meses.

En la tabla 11 se muestra el caudal obtenido en cada medida durante los meses de muestreo y en la figura 47 sus gráficas.

**Tabla 11.** Caudal promedio

Caudal(m <sup>3</sup> /s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	1,821	1,534	1,667	1,656	1,553	1,607	1,866	1,601	1,663
Febrero	1,616	1,546	1,648	1,569	1,740	1,719	1,631	1,598	1,663
Abril									
Mayo									
Junio	3,191	3,823	3,425	4,179	3,547	3,967	3,930	4,937	3,875
Julio	2,024	1,412	2,125	1,543	1,910	1,907	2,295	1,685	1,863



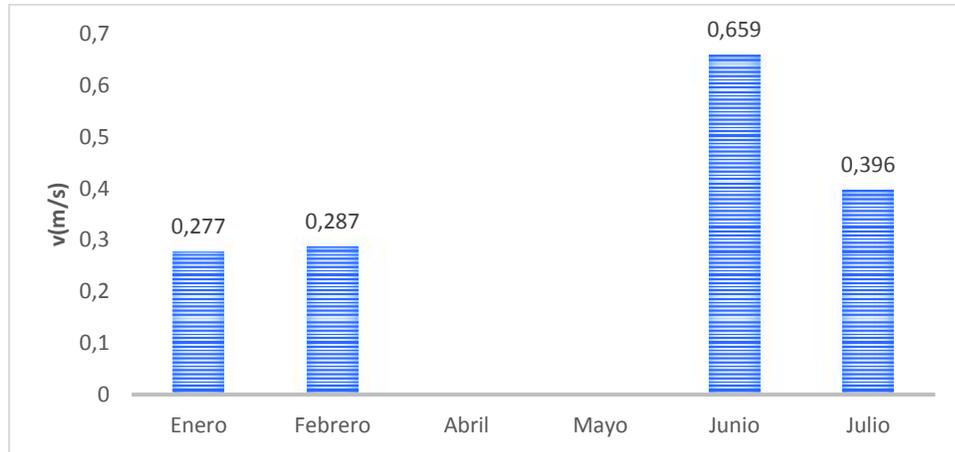
**Figura 47.** Caudal promedio

Se aprecia como varió el caudal de menos a más en los meses de enero a junio, un motivo de este cambio es el temporal específicamente para el mes de junio mientras que para los meses de abril y mayo lamentablemente no se tomaron datos debido al mal tiempo ya que fueron meses de lluvia. Para el mes de julio nuevamente bajó el caudal y como se mira en la gráfica es parecido a los meses de enero y febrero.

En la tabla 12 se aprecian las medidas de la velocidad de las corrientes y en la figura 48 se representan sus gráficas.

**Tabla 12.** Velocidad promedio

Velocidad Corrientes(m/s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,303	0,256	0,258	0,285	0,262	0,251	0,344	0,257	0,277
Febrero	0,262	0,325	0,270	0,279	0,294	0,309	0,301	0,256	0,287
Abril									
Mayo									
Junio	0,695	0,598	0,682	0,722	0,558	0,658	0,692	0,664	0,659
Julio	0,409	0,361	0,424	0,376	0,401	0,432	0,378	0,387	0,396

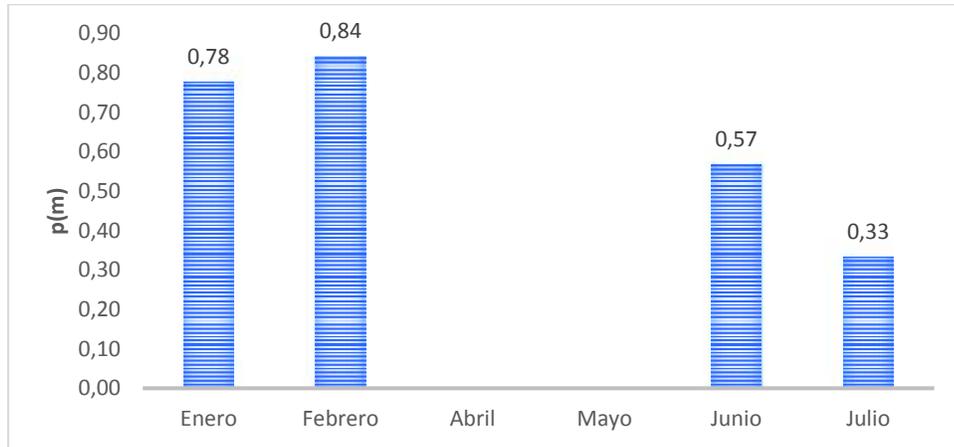


**Figura 48.** Velocidad promedio en los 6 meses

Se observa que para los meses de enero y febrero la velocidad se mantuvo casi constante por lo que no varió demasiado, pero para el mes de junio la velocidad aumentó debido a las lluvias. Para julio el temporal se calmó por lo que la velocidad nuevamente disminuyó. En comparación a enero y febrero en julio la velocidad es parecida tiene poca diferencia ya que fueron meses de ausencia de lluvias. Para los meses de abril y mayo lamentablemente no se pudo tomar medidas debido al mal tiempo. A continuación se muestra la tabla 13 en donde se presentan los valores de la profundidad promedio de la sección transversal del río y la figura 49 donde se miran sus gráficas.

**Tabla 13.** Profundidad sección trasversal promedio

Profundidad Sección Transversal Promedio (m)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	1,02	0,70	0,96	0,32	0,89	0,32	1,05	0,95	0,78
Febrero	1,14	1,19	0,27	1,18	0,27	1,20	1,19	0,29	0,84
Abril									
Mayo									
Junio	0,71	0,41	0,70	0,46	0,74	0,35	0,70	0,46	0,57
Julio	0,39	0,36	0,26	0,45	0,25	0,31	0,27	0,37	0,33



**Figura 49.** Profundidad promedio mensual

Se observa que en los meses de verano enero y febrero la profundidad promedio del río fue mayor que para el mes de junio en donde, en las tablas anteriores el caudal aumenta y la profundidad también debería aumentar.

Una explicación para esto se da por la presencia de las canteras de Pintag aguas arriba del punto de muestreo, el río arrastró pedazos de piedras las cuales se acumularon en dicho punto y al momento de tomar datos ocasiona la disminución de la profundidad promedio, esto se lo puede comprobar en el perfil del mes de junio en donde se observa un cambio en comparación a los meses de enero y febrero. De la misma forma para el mes de julio se observa un cambio en la forma de su perfil por ende la disminución de la profundidad promedio del río.

### 3.2.2. RÍO SAN PEDRO

La Secretaría de Ambiente cuenta con dos puntos de muestreo en el río San Pedro, estos se encuentran ubicados en los sectores de:

- El Triángulo, en la bocatoma
- Vía Amaguaña

La razón para tener dos puntos de muestreo es para saber cuánto contamina el Cantón Rumiñahui al río San Pedro, debido a la topografía en el sector de Amaguaña el río sale de Quito e ingresa al Cantón Rumiñahui y en la bocatoma en El Triángulo nuevamente ingresa a Quito.

### 3.2.2.1. VÍA AMAGUAÑA

En este sector el muestreo se lo realizó sobre el puente debido a que la accesibilidad al río es dificultosa, por lo que la medida con el ADCP la realizó un solo operador, se utilizó una soga sujeta a la plataforma, por esta razón la estabilidad del hydroboard no fue buena y se cometió algunos errores. Por la forma como se tomó las medidas, esta se volvió peligrosa ya que el puente no cuenta con los soportes laterales lo que puede provocar caídas al río si no se tiene las debidas precauciones.

De la misma forma se realizaron 8 medidas cada mes durante un periodo de seis meses en donde se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en las figuras 50 a 55

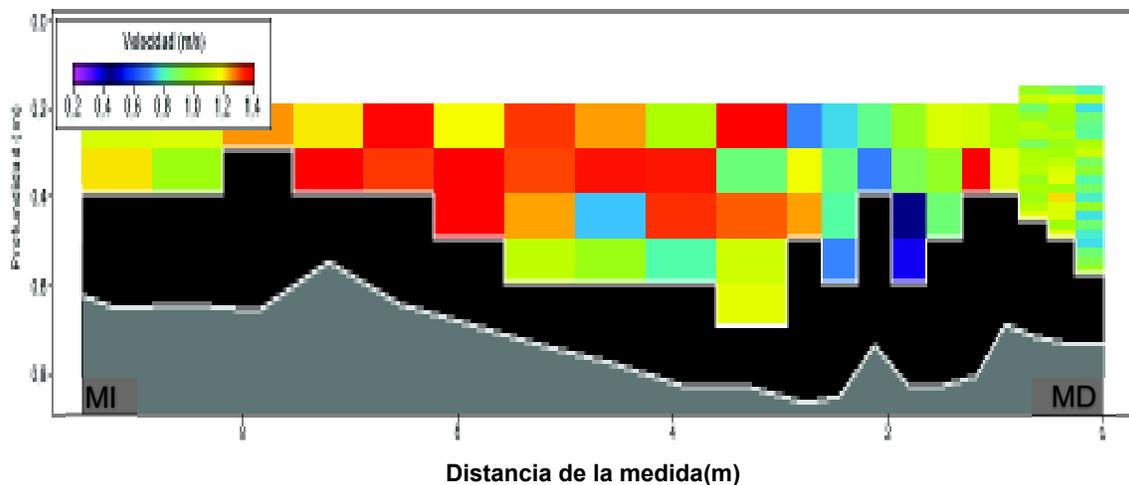


Figura 50. Perfil y Perfil de velocidad mes de enero, vía Amaguaña

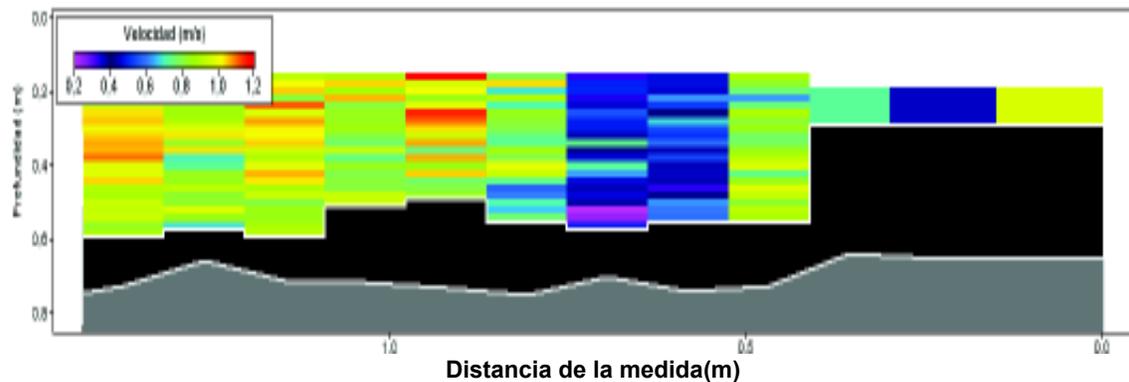


Figura 51. Perfil y perfil de velocidad mes de febrero, vía Amaguaña

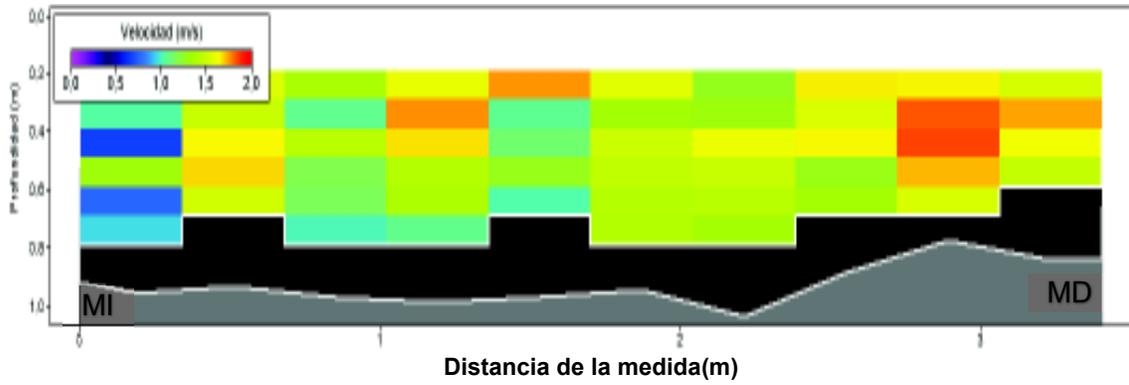


Figura 52. Perfil y Perfil de velocidad mes de abril, vía Amaguaña

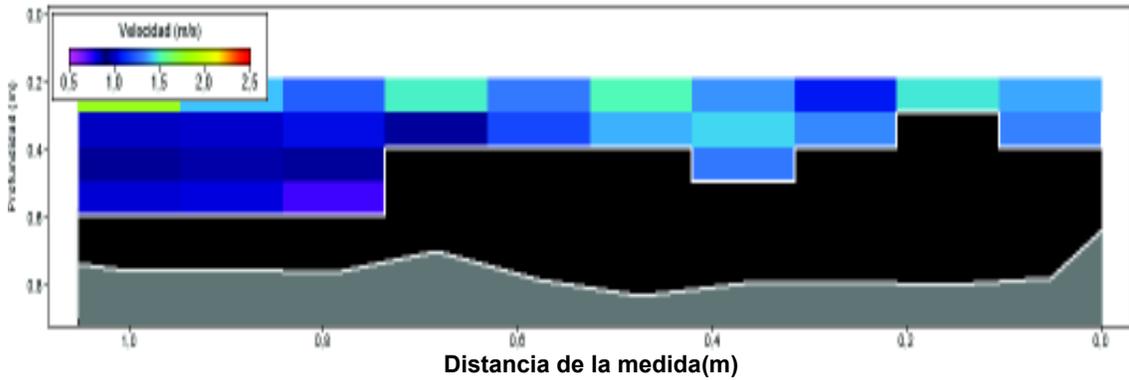


Figura 53. Perfil y Perfil de velocidad mes de mayo, vía Amaguaña

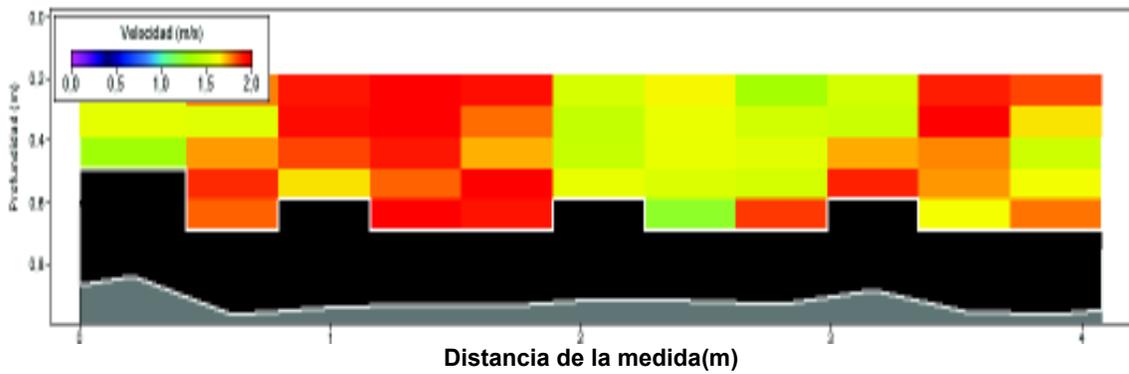


Figura 54. Perfil y Perfil de velocidad mes de junio, vía Amaguaña

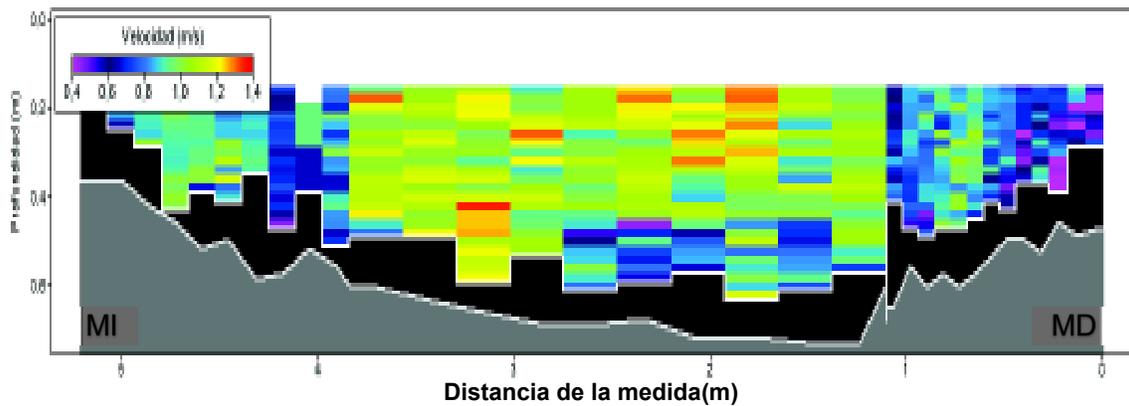
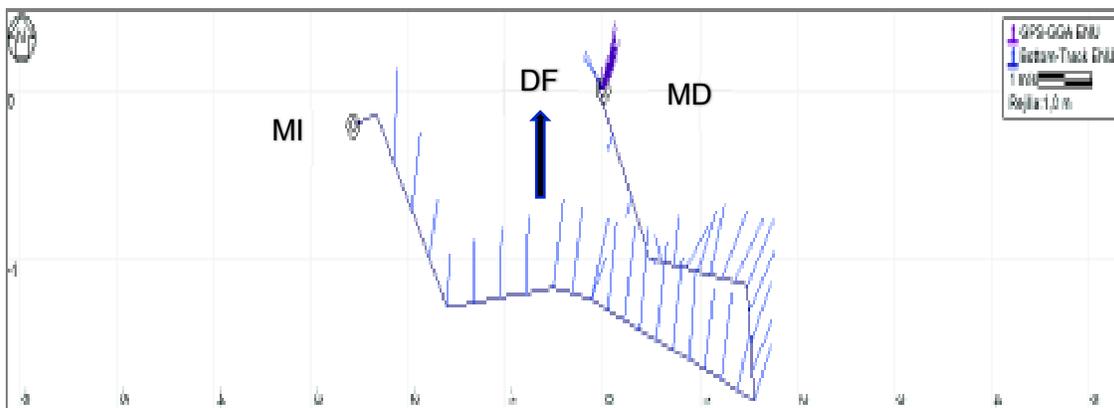


Figura 55. Perfil y Perfil de velocidad mes de julio, vía Amaguaña

Para los meses de enero, febrero y julio se aprecia que las velocidades se encuentran en un rango de 0.2 m/s (colores morados) en las orillas y 1.4 m/s (colores anaranjados) en el centro del río.

Para los meses de abril a junio en época de invierno se observa que la velocidad está en un rango aproximado de 0.2 m/s (colores morados) en las orillas hasta 2.5 m/s (colores rojos) en el centro del río. Para el mes de mayo se observa que los colores no representan lo que el equipo midió esto debido a que la toma de muestra se complicó por la fuerza de la corriente y los sólidos que el río arrastraba en ese instante. En algunos sectores del ancho del cauce se formaron saltos de agua lo que provocaba que el hydroboard se hundiera y por esta razón se cometieron demasiados errores ya que solo un operario manejó el equipo.

En lo que se refiere al perfil de la sección transversal se observa una variabilidad de mes a mes, esto debido a las condiciones de la medida, al no ser óptimas no se logró tener una velocidad y dirección constante en la trayectoria de hydroboard como se observa en la figura 56 a continuación.



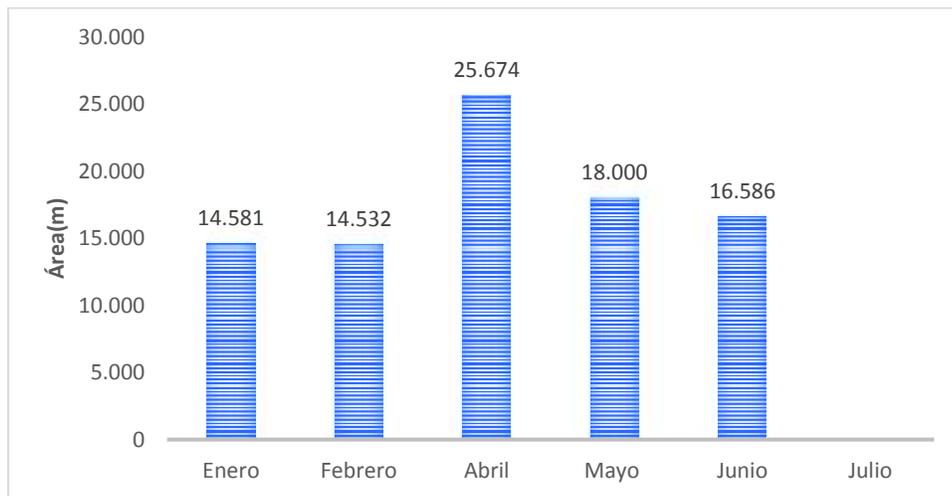
**Figura 56.** Trayectoria del hydroboard

En resumen, el ADCP midió el 55.1% de la sección transversal, el restante 44.9% fue extrapolado, la duración de la medida fue de 1:08 minutos, mientras que la longitud medida de la sección transversal fue de 7.651 m, el área promedio calculada fue de 4.445 m<sup>2</sup> y la profundidad máxima medida fue de 1.122 m.

En la tabla 14 se presentan los valores del área medida durante los seis meses y en la figura 57 sus gráficas.

**Tabla 14.** Área medida

Mes	Área (m <sup>2</sup> )
Enero	4.527
Febrero	4.324
Abril	4.344
Mayo	4.456
Junio	4.496
Julio	4.523



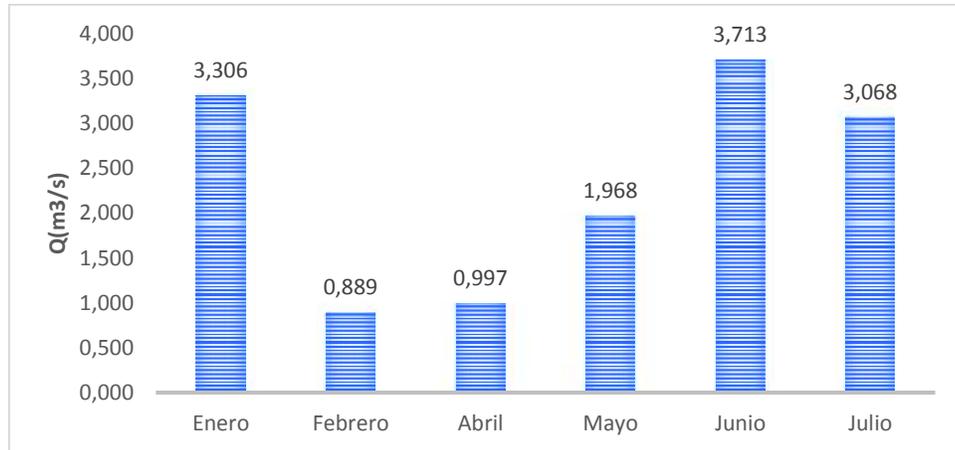
**Figura 57.** Área medida

Se observa que el área medida tiene variaciones sobre todo en los meses de febrero y abril esto debido a los errores cometidos en la medición. Como se mencionó anteriormente en este sector existieron complicaciones tanto en la condición del río y con los sólidos presentes en el agua lo que afectó en los resultados.

En la tabla 15 se muestra el resumen de los caudales durante los 6 meses y en la figura 58 sus gráficas.

**Tabla 15.** Caudal promedio mensual

Caudal(m <sup>3</sup> /s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	3,957	3,656	5,877	2,188	3,753	3,820	2,540	0,657	3,306
Febrero	0,533	1,506	0,520	0,455	0,455	2,535	0,553	0,555	0,889
Abril	0,185	0,177	0,190	0,524	0,177	0,762	1,998	3,961	0,997
Mayo	2,243	2,134	1,106	1,984	2,013	1,897	2,234	2,132	1,968
Junio	2,045	4,051	5,464	3,064	1,776	1,813	5,572	5,916	3,713
Julio	3,879	4,333	1,661	3,814	4,791	1,718	1,685	2,659	3,068



**Figura 58.** Caudal promedio mensual

Se aprecia que el caudal para los meses de verano enero y julio tienen un valor aproximado mientras que para febrero el valor de caudal es totalmente diferente. Esto debido a los errores que se cometieron al momento de la medición. Para los meses de invierno de abril a junio de la misma manera se observa valores totalmente diferentes, esto debido a la variabilidad de las condiciones que el río presentaba al momento de la medida al igual a los errores cometidos por el operario.

En la tabla 16 se aprecian los valores de la velocidad promedio de los seis meses de medidas y en la figura 59 se presentan sus gráficas.

**Tabla 16.** Velocidad promedio mensual

Velocidad Corrientes(m/s)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,805	0,518	0,197	0,238	0,593	0,308	1,021	0,650	0,541
Febrero	0,166	0,515	0,628	0,175	0,450	1,031	0,760	0,356	0,510
Abril	0,807	0,708	1,074	0,824	0,325	0,398	0,115	0,445	0,587
Mayo	0,642	0,757	0,343	0,584	0,485	0,332	0,387	0,841	0,546
Junio	0,487	0,797	1,774	0,747	1,697	0,378	0,801	1,344	1,003
Julio	0,724	0,813	0,242	0,809	0,772	0,748	0,571	0,682	0,670



**Figura 59.** Velocidad promedio mensual

Las velocidades promedio para cada mes son parecidas a excepción del mes de junio en donde la velocidad es mucho mayor, por lo expuesto anteriormente las constantes fallas y errores cometidos por el operario y las condiciones del río en el lugar al momento que se tomaron las medias sobre todo en época de invierno el río aumentó el transporte de sólidos lo que provocaba una mala medida. La tabla 17 muestra los valores de la velocidad promedio de cada mes y la figura 60 en donde se muestran sus gráficas.

**Tabla 17.** Profundidad promedio mensual

Profundidad Sección Transversal Promedio (m)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,59	0,69	0,60	0,57	0,85	0,53	0,77	0,83	0,68
Febrero	0,53	0,67	0,52	0,72	0,59	0,52	0,70	0,54	0,60
Abril	0,77	0,85	0,86	1,10	0,67	0,90	0,63	0,68	0,81
Mayo	0,55	0,76	0,51	0,70	0,67	0,72	0,62	0,93	0,68
Junio	0,71	0,94	0,77	0,76	0,80	0,95	0,91	0,81	0,83
Julio	0,58	0,61	0,50	0,54	0,46	0,38	0,52	0,35	0,49

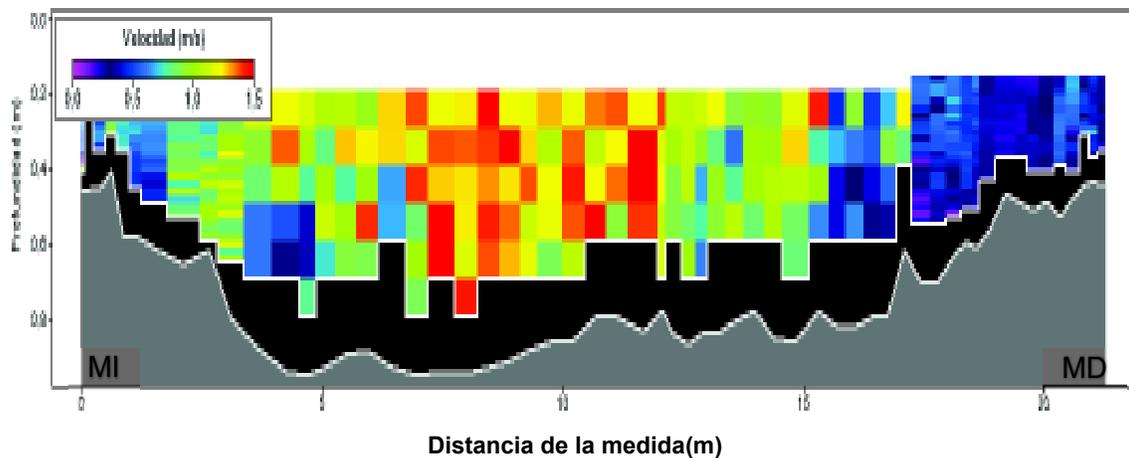


**Figura 60.** Profundidad promedio mensual

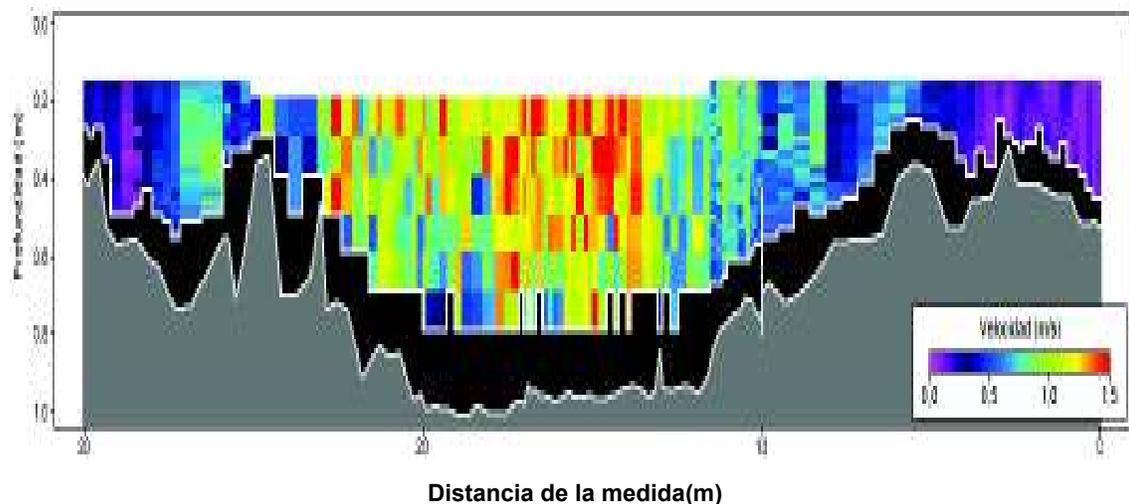
Para los meses de verano enero, febrero y julio se observa que la profundidad es casi constante ya que no tienen gran diferencia, mientras que para los meses de lluvia abril y junio la profundidad aumenta excepto en el mes de mayo en donde la profundidad bajó, lo que da a entender que las condiciones y la variabilidad del río son cambiantes para cada mes.

### 3.2.2.2. EL TRIÁNGULO, BOCATOMA

En el sector de El Triángulo, en la Bocatoma, se realizaron las medidas sobre el puente, al existir poca accesibilidad al río. Para realizar el procedimiento de medida se sujetó el hydroboard con una soga por lo que la plataforma fue manejada por un solo operario. Al igual que en los ríos anteriores se realizaron 8 medidas de donde se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en las figuras 61 a 66 a continuación:



**Figura 61.** Perfil y Perfil de velocidades mes de enero, Bocatoma



**Figura 62.** Perfil y Perfil de velocidades mes de febrero, Bocatoma

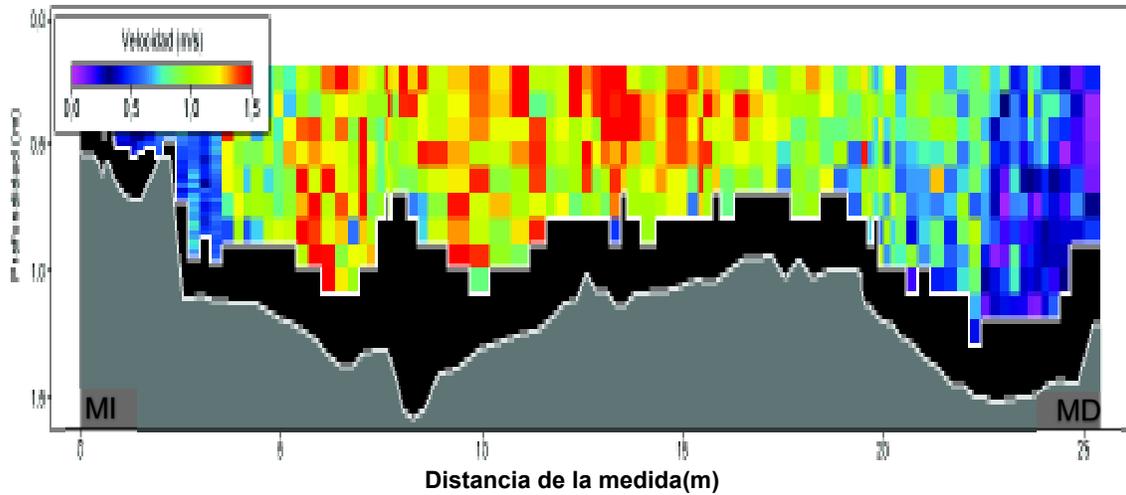


Figura 63. Perfil y Perfil de velocidades mes de abril, Bocatoma

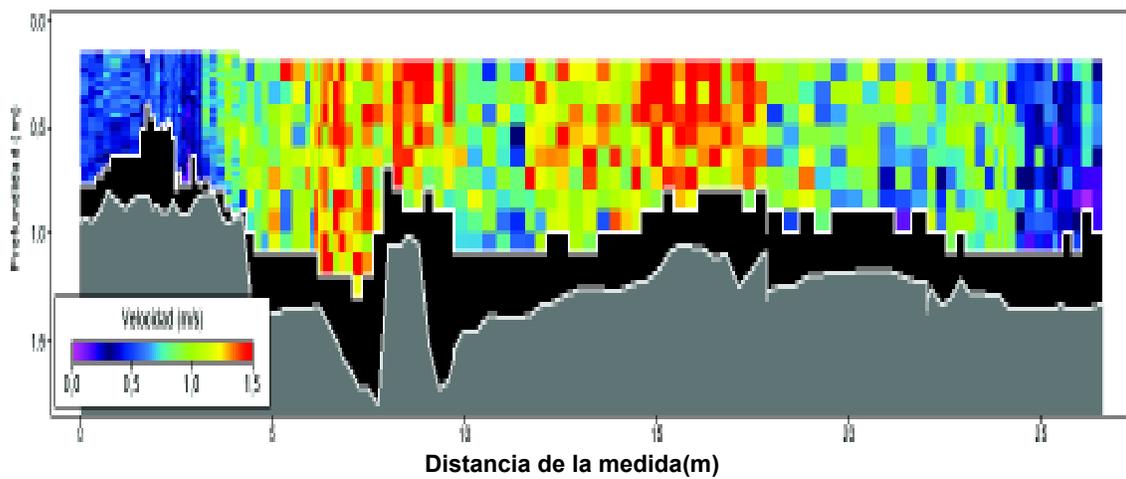


Figura 64. Perfil y Perfil de velocidades mes de mayo, Bocatoma

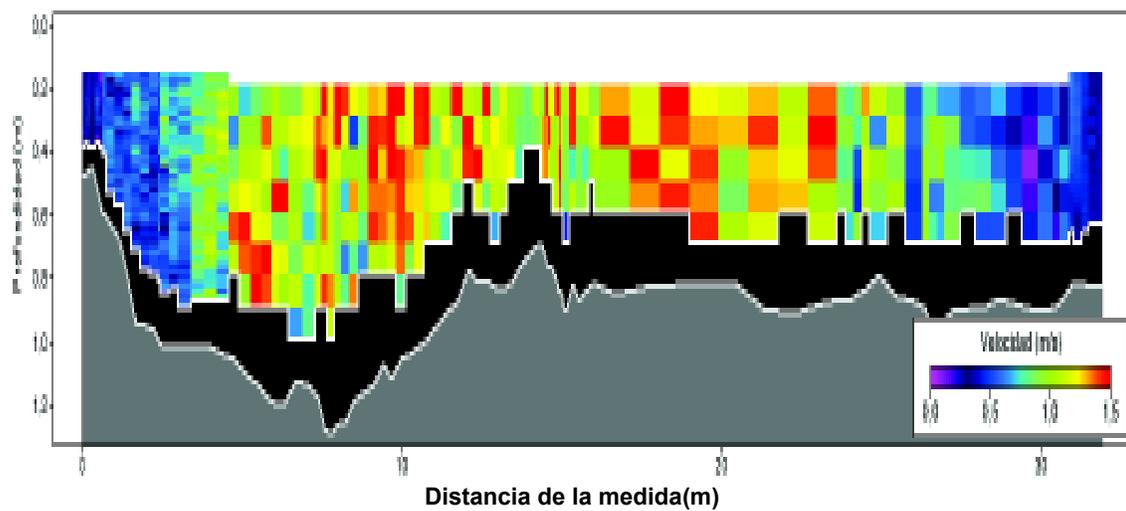
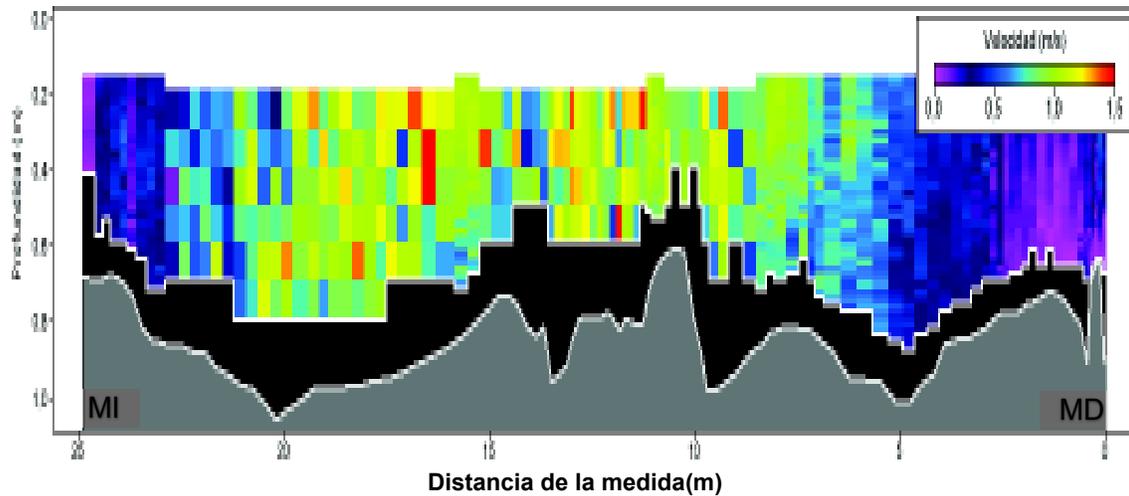


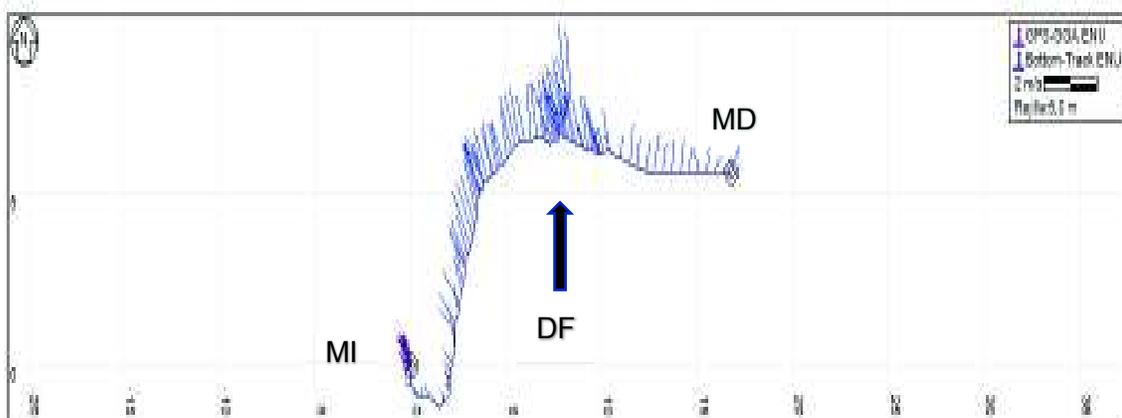
Figura 65. Perfil y perfil de velocidades mes de junio, Bocatoma



**Figura 66.** Perfil y Perfil de velocidades mes de julio, Bocatoma

El perfil de velocidades del río San Pedro en el sector de la Bocatoma muestra una similitud en su rango de velocidades, siendo estas las más bajas por las orillas en donde se observa que se tiene velocidades de 0 a 2 m/s (colores morados) y las velocidades más altas en el centro en donde se observan velocidades desde 1 a 1.5 m/s (color naranja).

En lo que se refiere a su perfil se observa algunos cambios en la forma de este, debido específicamente al sistema de sujeción del hydroboard al no poder mantener una trayectoria y velocidad constante que permita una mejor medida. Como se muestra en la figura 67 a continuación:



**Figura 67.** Trayectoria del Hydroboard, sector Bocatoma

En resumen, el ADCP midió el 56.3% de la sección transversal el 43.7% restante fue extrapolado, la duración de la medida fue de 2:50 minutos, mientras que la longitud medida de la sección transversal fue de 21.045 m. El área promedio calculada fue de 16.586 m<sup>2</sup>. Y la profundidad máxima medida fue de 1.47 m.

En la tabla 18 se visualiza el área medida de los seis meses y en la figura 68 se muestran sus gráficas.

**Tabla 18.** Área medida

Mes	Área (m <sup>2</sup> )
Enero	16.581
Febrero	16.532
Abril	16.674
Mayo	17.000
Junio	16.586
Julio	16.143



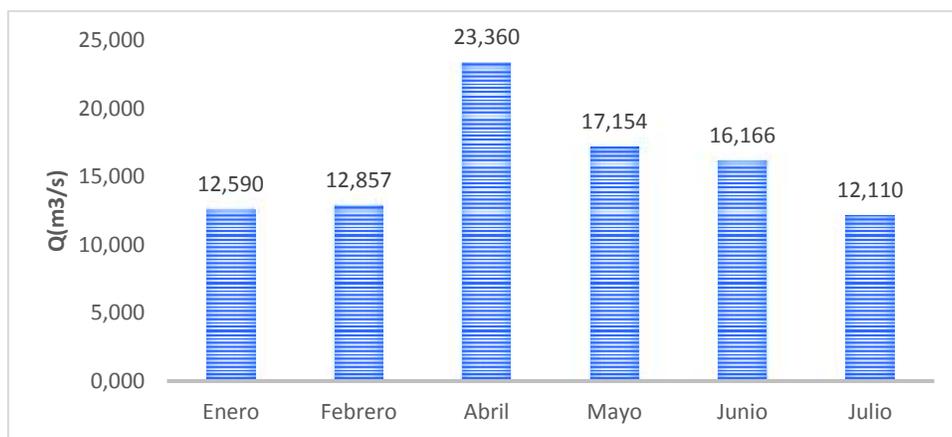
**Figura 68.** Área medida

En el sector de la Bocatoma se observa que para el mes de mayo el área medida es mayor en comparación para los demás meses debido a que por épocas invernales la velocidad y el caudal aumentaron y al ser el río más grande en comparación a los otros que se pudieron medir se tiene una gran variabilidad en sus corrientes por lo que al momento de realizar la medida esta se volvió dificultosa y se cometieron varios errores. Para los otros meses el área se mantiene constante con algunas variaciones.

En la tabla 19 se presenta el resumen del caudal medido durante los seis meses que duró el proyecto y en la figura 69 sus gráficas.

**Tabla 19.** Caudal Promedio mensual

Mes	Caudal(m <sup>3</sup> /s)								Promedio
	Medida								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	13,313	12,494	11,189	12,883	13,153	12,352	12,511	12,825	12,590
Febrero	13,911	12,026	12,255	13,226	13,599	11,517	12,338	13,981	12,857
Abril	24,242	22,997	22,326	26,353	22,983	22,868	22,265	22,847	23,360
Mayo	11,217	14,058	20,310	19,911	20,072	16,710	20,655	14,295	17,154
Junio	12,413	17,122	14,870	19,049	18,049	14,200	15,931	17,694	16,166
Julio	12,664	12,110	12,160	12,245	11,918	12,548	11,750	11,488	12,110

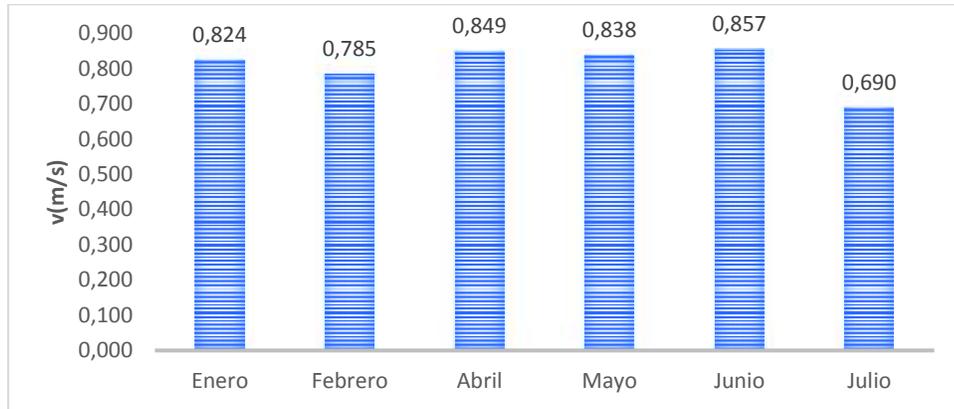


**Figura 69.** Caudal Promedio mensual

Se observa que los meses de abril a junio tienen un mayor caudal esto debido a la temporada invernal siendo el mes de abril el más caudaloso, mientras que para los meses de verano enero, febrero y julio el caudal es casi constante ya que sus valores son similares. En la tabla 20 se representa la velocidad promedio de las medidas durante el periodo de seis meses mientras que en la figura 70 se visualizan sus gráficas.

**Tabla 20.** Velocidad promedio mensual

Mes	Velocidad Corrientes(m/s)								Promedio
	Medida								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,835	0,825	0,794	0,817	0,797	0,833	0,816	0,878	0,824
Febrero	0,804	0,788	0,777	0,790	0,823	0,763	0,742	0,789	0,785
Abril	0,820	0,860	0,848	0,887	0,922	0,835	0,814	0,803	0,849
Mayo	0,676	0,553	0,884	0,820	0,949	0,896	0,996	0,926	0,838
Junio	0,883	0,942	0,858	0,848	0,725	0,812	0,962	0,827	0,857
Julio	0,714	0,637	0,717	0,726	0,650	0,703	0,697	0,672	0,690



**Figura 70.** Velocidad Promedio mensual

La velocidad promedio para el sector de la Bocatoma es parecido para todos los meses, una de las razones para este comportamiento es el ancho del río, en el punto de muestreo y aguas abajo el río se ensancha provocando una disminución de la velocidad sobre todo en las orillas mientras que en el transecto la velocidad aumenta.

En la tabla 21 se presentan los valores de la profundidad promedio de la sección transversal y en la figura 71 se observan sus gráficas.

**Tabla 21.** Profundidad Promedio mensual

Profundidad Sección Transversal Promedio (m)									
Mes	Medida								Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Enero	0,34	0,33	0,51	0,45	0,49	0,29	0,42	0,37	0,40
Febrero	0,28	0,46	0,33	0,43	0,29	0,39	0,33	0,36	0,36
Abril	1,43	1,29	1,10	1,15	1,25	1,25	1,18	1,37	1,25
Mayo	1,05	1,31	0,97	0,60	1,25	0,78	1,30	0,93	1,02
Junio	0,65	0,50	0,78	0,47	0,45	0,91	0,43	0,81	0,63
Julio	0,83	0,82	0,76	0,87	0,51	0,76	0,75	0,80	0,76



**Figura 71.** Profundidad Promedio mensual

En la profundidad promedio se observa que para el mes de abril se tiene la mayor profundidad lo que coincide con el aumento de caudal siendo abril el mes más caudaloso seguido por el mes de mayo. Para los meses de enero y febrero la profundidad es parecida siendo estos meses con menos caudal. Para el mes de junio se observa que la profundidad es menor al mes de julio, siendo junio un mes de lluvia, esto se debe específicamente a que por la fuerza de la corriente el operario no lograba mantener una dirección de movimiento constante por lo que en algunos sectores del río se perdía completamente la dirección y se medía mucho más lejos de donde se empezó.

### **3.2.3. RÍO GUAYLLABAMBA**

En el río Guayllabamba lamentablemente no se pudo tomar ninguna medida debido a que se presentaron algunos problemas entre los que podemos mencionar: La accesibilidad, problemas de conexión y velocidades fuertes de la corriente.

El punto de muestreo para este río es en el límite entre Quito y la Provincia de Imbabura en el sector de El Chontal, la razón de este punto es saber exactamente la calidad en que sale el agua de Quito, por lo que el muestreo se lo realizó desde un puente en el sector, como se muestra en la figura 72.



**Figura 72.** Hydroboard en Río Guayllabamba

La medida se la realizó mediante la sujeción de una cuerda al hydroboard, pero esta se volvió complicada ya que la altura del puente es de aproximadamente 25 metros por lo que se perdió totalmente el control de la plataforma ya que las corrientes eran demasiado

fuertes. Estas no permitieron colocar el equipo de tal forma que se fuera posible la toma de datos y muchas de las veces el equipo terminó hundiéndose, además, en gran parte del río se formaron saltos de agua e incluso pequeños remolinos lo que complico aún más el proceso de medida como se muestra en la figura 73.



**Figura 73.** Hydroboard en Río Guayllabamba

Cuando se logró colocar el hydroboard sobre el agua este saltaba demasiado lo que ocasionaba que la señal se perdiera, además, el equipo presentaba los siguientes problemas como se muestra en la figura 74:



**Figura 74.** Iconos del programa RiverSurveyorLive pc

Se visualiza los iconos Bottom Track y Profundidad de Referencia de color rojo, lo que indica un problema en los transductores los cuales pueden estar sucios u obstruidos y por mala conexión entre cables. Para salir de dudas se revisó el estado de cada parte y no se encontró el problema ya que todo estaba conectado correctamente.

Otra causa son las condiciones ambientales tales como las condiciones del cauce o malas hierbas (malezas), que pueden provocar que la profundidad del agua no sea determinada además de detecciones inválidas del fondo.

### 3.2.4. RÍO MACHÁNGARA

En este río no fue posible tomar medidas debido a que en el sector donde se quería recolectar las muestras es sobre un puente, la toma de datos era peligrosa por la constante circulación vehicular que es en doble sentido en una sola vía, no existió el espacio suficiente para maniobrar el equipo y además los soportes laterales del puente se encontraban en mal estado por los accidentes vehiculares ocurridos en el sector. El puente tiene una altura aproximada de 12 a 15 metros y en el río había rocas que imposibilitan colocar el equipo sobre el agua.

Otra opción para tomar las muestras en este río es dentro de las instalaciones de la hidroeléctrica que se encuentra en el sector de Cumbayá, pero de la misma forma es inaccesible y peligroso por las constantes crecidas del río, cabe mencionar las deplorables condiciones de la calidad del cauce y al existir compuertas hidráulicas se acumula el agua y espuma lo que causa que esta no fluya de forma normal afectando directamente a la medida con datos irreales tanto de caudal, velocidad y profundidad.

En la figura 75 se muestra el punto de muestreo dentro de las instalaciones de la hidroeléctrica.



**Figura 75.** Río Machángara instalaciones Hidroeléctrica de Cumbayá

### 3.2.5. RÍO MONJAS

Para este río el mayor problema que se presentó al momento de obtener datos fue la gran cantidad de sólidos presentes en el agua, siendo este río el más contaminado de la Red

Hídrica que la Secretaría de Ambiente muestrea según las caracterizaciones realizadas por el laboratorio de la institución.

Otro de los problemas que se presentaron en este cauce de agua es la composición del fondo del río, este contiene demasiado sólidos los cuales se mueven por la velocidad del agua otro factor importante es la altura del agua en algunos puntos del río no se tiene los 0,20 metros mínimo que el equipo necesita para trabajar.

En la figura 76 se observa el punto de muestreo del río Monjas.



**Figura 76.** Río Monjas

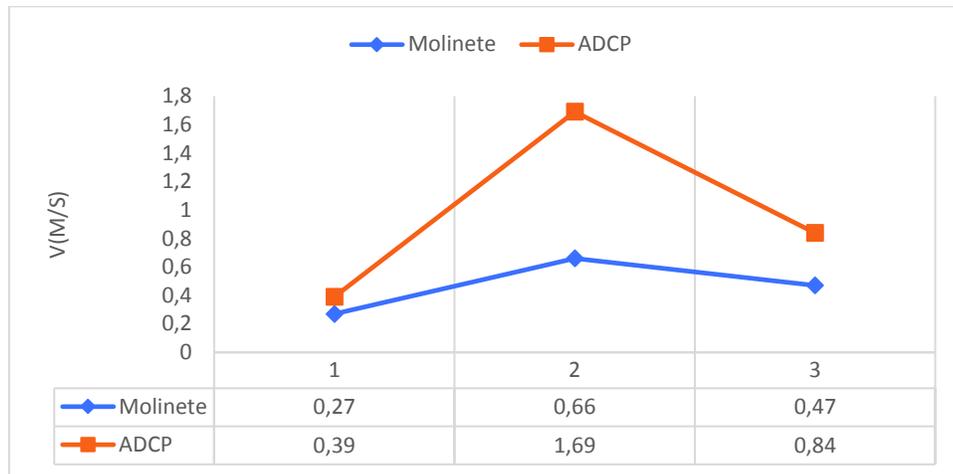
### **3.3. COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS CON EL MOLINETE Y EL ADCP**

Con el fin de saber la calidad de los datos que se obtienen con el ADCP, se procedió a la comparación de las velocidades del perfilador con el mini molinete. Por tal motivo este procedimiento se realizó dos veces, en los meses de junio y julio en el río Pita en el sector del Molinuco. Tomando en cuenta la accesibilidad de cada punto de muestreo y en otros casos al no tener datos del ADCP con que comparar.

#### **3.3.1. RÍO PITA, MOLINUCO**

##### **3.3.1.1. MES DE JUNIO**

Para el mes de junio se obtuvieron los siguientes datos tanto con el molinete como con el ADCP, así como se muestra en la figura 77 a continuación:



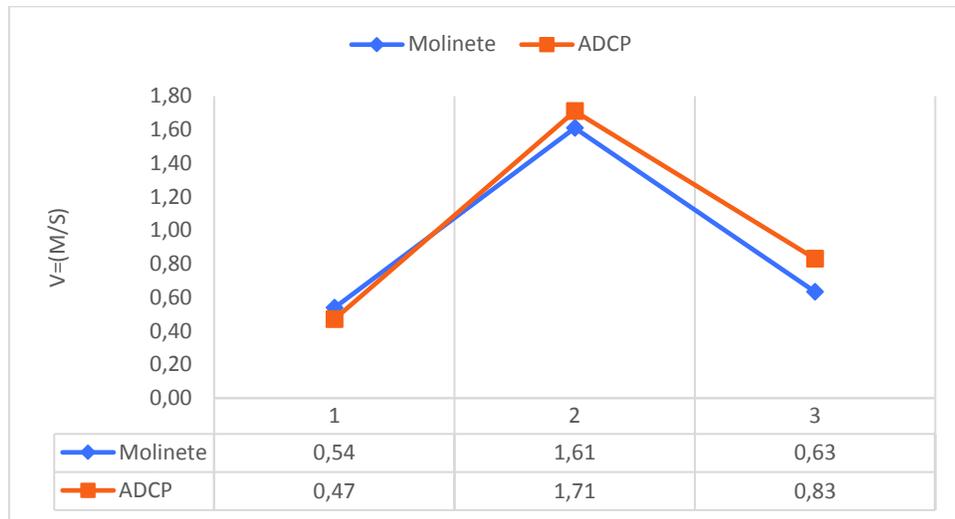
**Figura 77.** Velocidades del Molinete y ADCP, mes de junio

Para realizar la comparación de las velocidades obtenidas con el molinete y con el ADCP se dividió el río en tres partes iguales tomando la longitud total de la sección del punto de muestreo a una misma profundidad. En el ANEXO V se puede observar las distancias tomadas y la profundidad utilizada.

En la figura 77 se observa las velocidades del molinete (color azul) mientras que las velocidades del ADCP (color anaranjado) tienen una variación para los tres puntos de medida, en los tres casos la velocidad del ADCP es mayor a las velocidades obtenidas con el molinete. Estos errores se deben primero a la falta de experiencia del uso del molinete en campo como fue la primera vez se cometieron errores en el manejo del equipo, las condiciones ambientales, en el momento de utilizar el molinete llovía en el sector lo que provocó complicaciones al tomar las medidas sobre todo cuando el operario se acercó al centro del río la corriente era más fuerte por lo que tanto el operario como el molinete no podían mantenerse estables al instante de tomar los datos. Otra de las razones fue la elección del punto de medida, por las rocas existentes en el fondo del río no se obtuvo un buen posicionamiento del molinete además que no se pudo seguir un camino recto y se perdió la línea de medida que al principio se tuvo prevista seguir.

### 3.2.1.2. MES DE JULIO

Para el mes de julio se obtuvieron los siguientes resultados representados en la figura 78 a continuación:



**Figura 78.** Velocidades del Molinete y ADCP, mes de julio

En la figura 78 se observa las velocidades del molinete (color azul) y las velocidades del ADCP (color anaranjado), se aprecia que para el primer punto la velocidad del molinete es mayor a la del aforador mientras que para los puntos segundo y tercero la velocidad del perfilador es mayor. Al considerar que las velocidades más bajas de las corrientes de un río se encuentran en las orillas y las velocidades más altas en el centro se puede decir que los datos obtenidos con los equipos son correctos ya que el error existente entre ambos no es tan grande, siempre teniendo en cuenta que para el molinete es un proceso de medida manual y pueden existir factores que afecten a la medida.

### 3.4. REGISTRO DE DATOS Y CONTROL DE CALIDAD

#### 3.4.1. REGISTRO DE DATOS

Una de las ventajas que ofrece el ADCP es que no se necesita copiar nada de las medidas que se realizan en campo ya que toda la información se guarda en la memoria interna del equipo y está disponible siempre que el usuario la necesite o a su vez la puede imprimir ya que el equipo tiene la opción de mostrar un resumen de cada medida. Por lo que no es necesario realizar ningún formato para registra los resultados. En la figura 79 se muestra la ventana del resumen de la medida

# Resumen de Medida de Caudal

Fecha de medida: martes, 27 de junio de 2017

Información de la Estación				Información de la Medida													
Estación	S.A.P			Equipo	perfilador 1												
Estación N°	1			Plataforma	Hydroboard												
Localización	Rio San Pedro			Medida N°	5												
Información de Sistema		Configuración del Sistema			Unidades												
Tipo de sistema	RS-55	Profund Transductor (m)	0,09		Distancia	m											
Numero de serie	4199	Salinidad (ppt)	0,0		Velocidad	m/s											
Versión de Firmware	3.00	Declin. magnetica (grados)	-3,4		Area	m2											
Versión de Software	3.6.0.3384				Caudal	m3/s											
					Temperatura	grados C											
Ajustes del Cálculo de caudal				Resultados del Cálculo de Caudal													
Ref. del Track	Bottom-Track	Metodo de cálculo del margen izquierdo	Margen pendiente		Ancho	21,068											
Ref. de profundidad	Haz Vertical	Metodo de cálculo del margen derecho	Margen pendiente		Area	17,332											
Sistema coordinadas	ENU	Ajuste al modelo superior	Ajuste potencia		Velocidad promedio	0,658											
		Ajuste al modelo de fondo	Ajuste potencia		Q Total	14,870											
					Profundidad máxima medida	1,340											
					Velocidad máxima medida	1,934											
Resultados de la Medida																	
#	Tiempo		Distancia				Velocidad promedio		Caudal						Medida		
	Inicio	Terminación	Track	DTM	Anchura	Area	Buena	Agua	Iguiente	Directa	Por la orilla	Medio	Fondo	Total		CTotal	
1.01	18:38:31	18:57:57	14,2	28,55	18,07	21,868	17,332	0,160	0,658	0,07	0,20	3,18	8,28	3,24	14,870	-	98,1
		<b>Promedio</b>	14,2	28,55	18,07	21,868	17,332	0,160	0,658	0,07	0,20	3,18	8,28	3,24	14,870	0,080	98,1
		<b>Desviación Estándar</b>	0,0	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,0
		<b>COV</b>	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tiempo total: 0:02:57																	
Numero de Tramo: J=3017927703631.rv																	

Figura 79. Resumen de la medida de caudal

## 3.4.2. CONTROL DE CALIDAD

Para realizar este procedimiento se tomó como referencia el caudal obtenido en cada mes, se determinó un rango de trabajo tomando el valor más alto y el más bajo de caudal durante los seis meses de medidas, además, se obtuvo una desviación estándar que será la mayor en este periodo de tiempo y su respectivo coeficiente de variación.

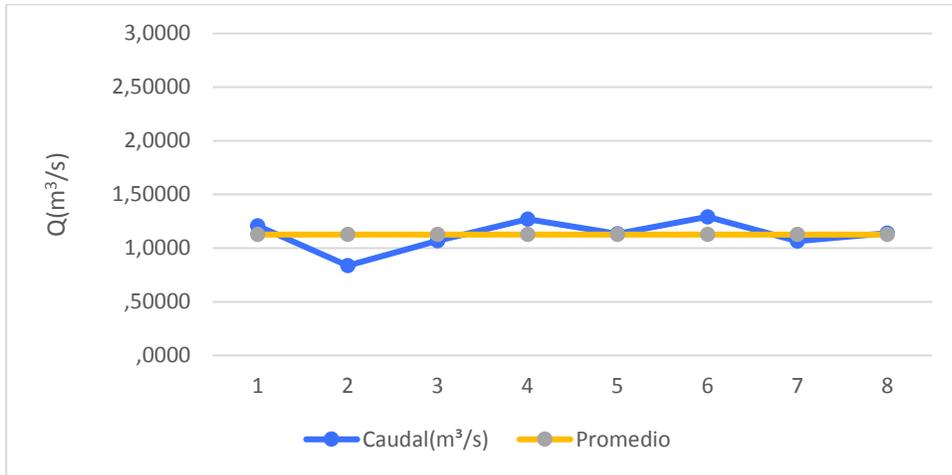
### 3.4.2.1. RÍO PITA – MOLINUCO

Para el sector de El Molinuco se obtuvieron los siguientes caudales como se muestra en la tabla 22.

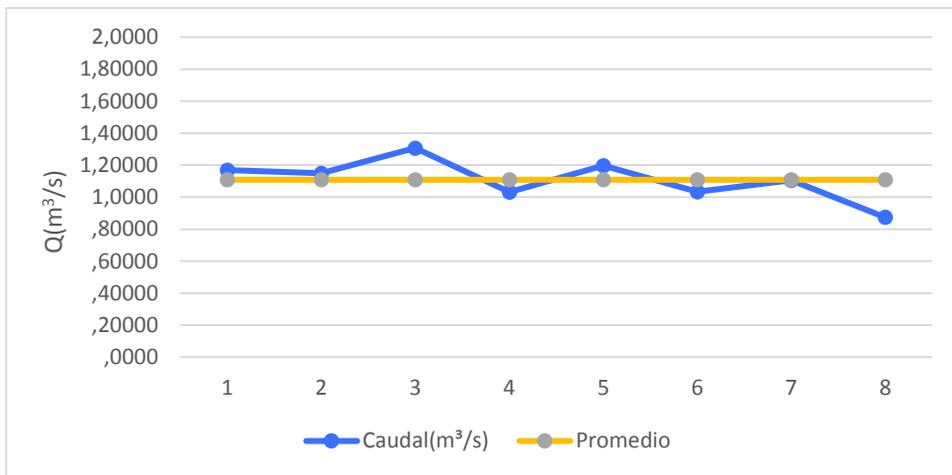
**Tabla 22.** Resumen caudal, río Pita, sector El Molinuco

	Caudal(m <sup>3</sup> /s)	Desviación Estandar	COV	Promedio
Enero	1,209	0,14	0,13	1,126
	0,837			1,126
	1,067			1,126
	1,270			1,126
	1,132			1,126
	1,292			1,126
	1,064			1,126
	1,139			1,126
Febrero	1,169	0,13	0,12	1,109
	1,150			1,109
	1,307			1,109
	1,032			1,109
	1,197			1,109
	1,033			1,109
	1,106			1,109
	0,874			1,109
Abril	3,074	1,05	0,27	3,871
	5,673			3,871
	4,133			3,871
	3,897			3,871
	3,934			3,871
	4,857			3,871
	2,645			3,871
	2,757			3,871
Mayo	3,515	0,45	0,11	3,961
	3,919			3,961
	4,237			3,961
	3,862			3,961
	4,521			3,961
	4,604			3,961
	3,579			3,961
	3,448			3,961
Junio	5,502	1,09	0,30	3,689
	3,654			3,689
	2,918			3,689
	2,530			3,689
	3,670			3,689
	2,838			3,689
	5,154			3,689
	3,243			3,689
Julio	2,633	0,44	0,17	2,628
	3,554			2,628
	2,843			2,628
	2,561			2,628
	2,591			2,628
	2,429			2,628
	2,067			2,628
	2,347			2,628

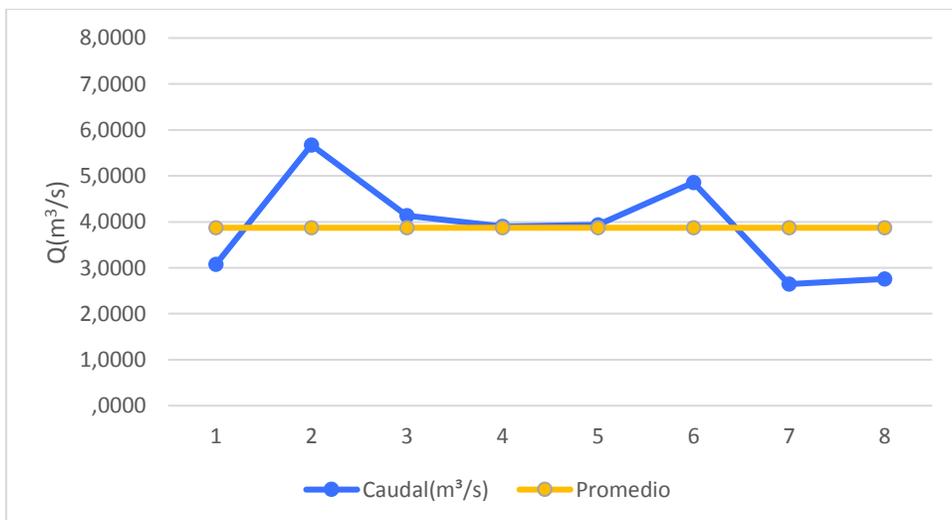
Se muestran las figuras 80 a la 85 en donde se representan los gráficos de los caudales con su media aritmética correspondiente de los seis meses de medidas.



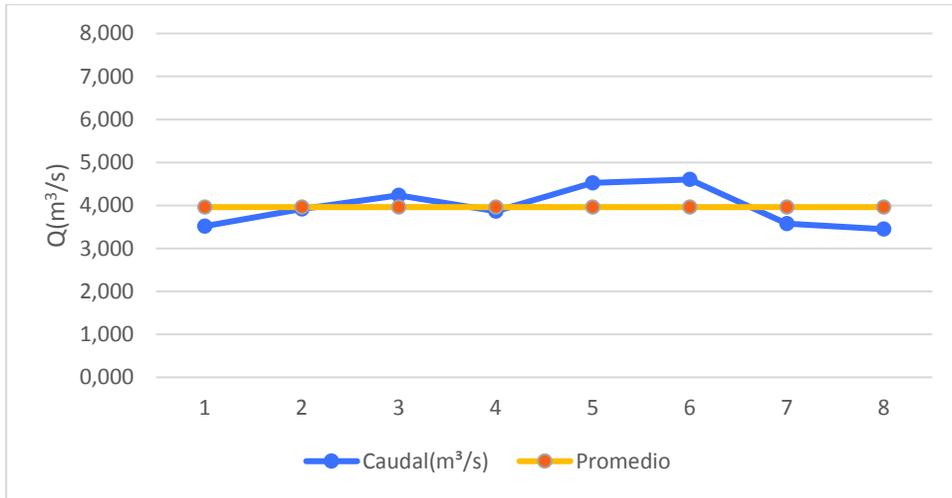
**Figura 80.** Caudal y media aritmética, enero, Molinuco.



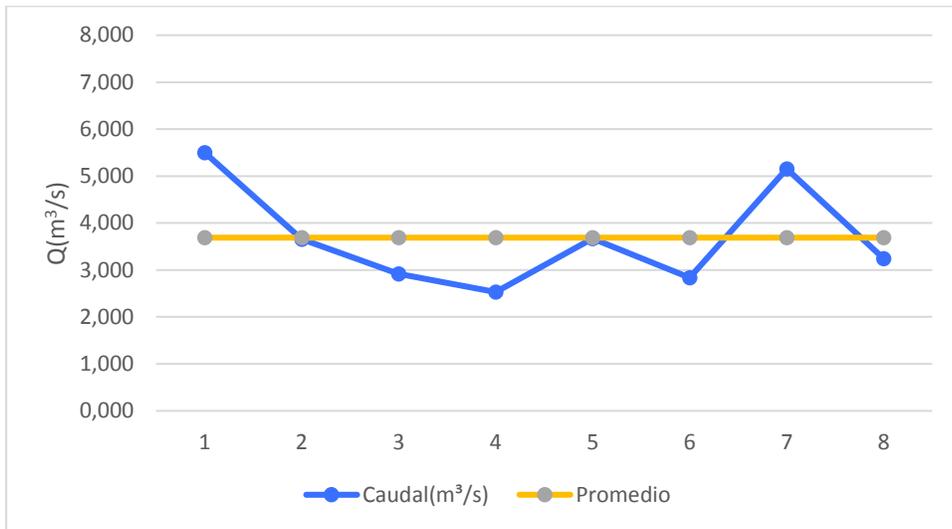
**Figura 81.** Caudal y media aritmética, febrero, Molinuco.



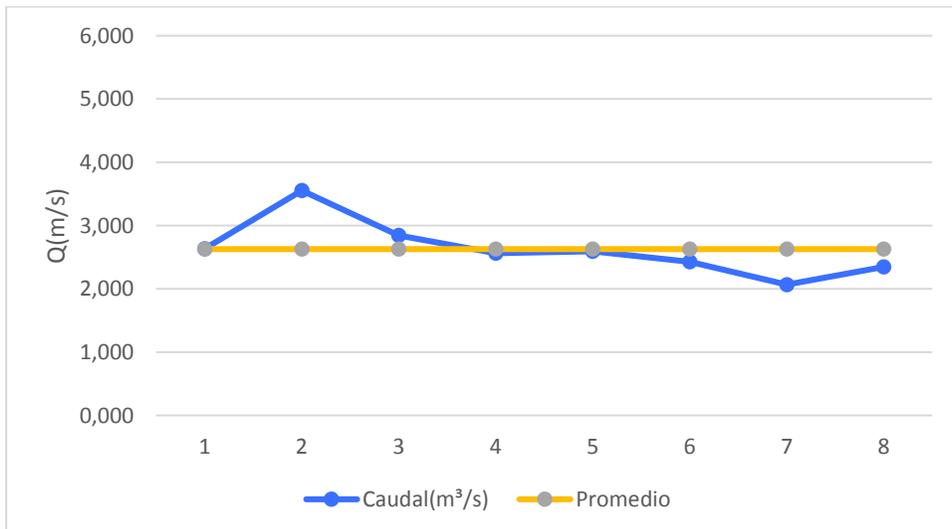
**Figura 82.** Caudal y media aritmética, abril, Molinuco.



**Figura 83.** Caudal y media aritmética, mayo, Molinuco.



**Figura 84.** Caudal y media aritmética, junio, Molinuco.



**Figura 85.** Caudal y media aritmética, julio, Molinuco.

Para el río Pita se obtuvo un rango de trabajo de 1.126 m<sup>3</sup>/s como caudal más bajo y de 3.961 m<sup>3</sup>/s como caudal más alto, la desviación estándar para este rango fue de 1.09 y su coeficiente de variación de 0.30. Se observa que algunas medidas se alejan demasiado de su media lo que provoca que la desviación estándar aumente.

Si en algún caso existan valores que no se encuentren dentro del rango de trabajo determinado o valores muy dispersos de la media aritmética, deberán ser desechados o repetidos como en el caso de las figuras 82, 84, 85 las cuales si se les quita los valores atípicos baja la desviación estándar y mejora la calidad de la medida.

Para el caso de las figuras 78 y 80 claramente se observa que tienen varios valores dispersos los cuales afectan directamente a la medición debido a la variabilidad de las condiciones del río por lo que la medida debe ser repetida.

### 3.4.2.2. RÍO PITA – SANTA TERESA

Para el sector de Santa Teresa se registraron los siguientes resultados, como se muestra en la tabla 23.

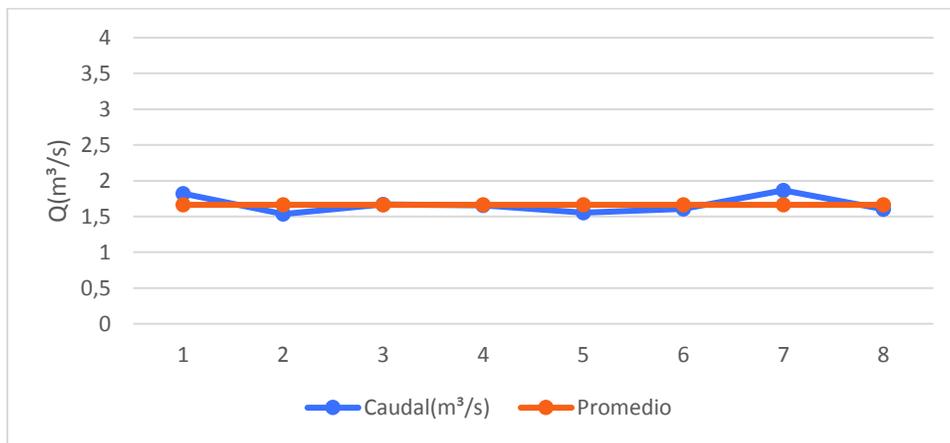
**Tabla 23.** Resumen caudal, río Pita, sector Santa Teresa

	Caudal(m <sup>3</sup> /s)	Desviacio Estandar	COV	Promedio
Enero	1,821	0,12	0,07	1,663
	1,534			1,663
	1,667			1,663
	1,656			1,663
	1,553			1,663
	1,607			1,663
	1,866			1,663
	1,601			1,663
Febrero	1,616	0,07	0,04	1,633
	1,546			1,633
	1,648			1,633
	1,569			1,633
	1,740			1,633
	1,719			1,633
	1,631			1,633
1,598	1,633			
Abril				
Mayo				

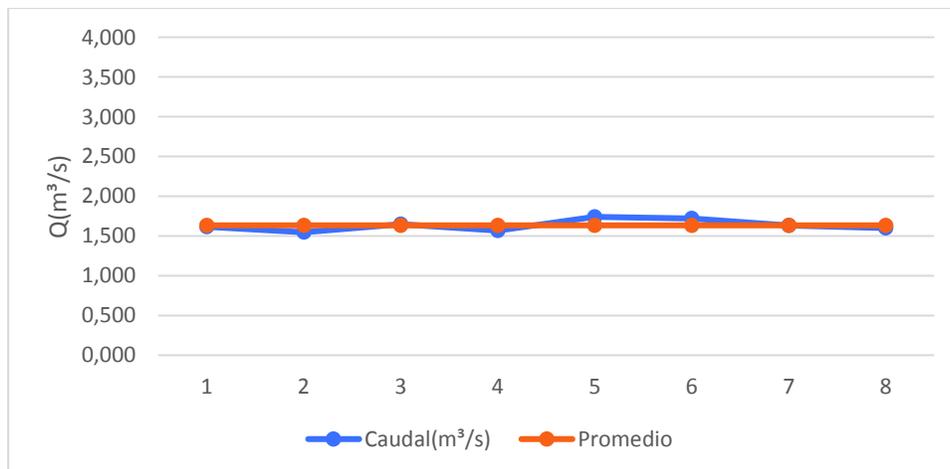
**Tabla 19** Continuación

Junio	3,191	0,54	0,14	3,875
	3,823			3,875
	3,425			3,875
	4,179			3,875
	3,547			3,875
	3,967			3,875
	3,930			3,875
	4,937			3,875
Julio	2,024	0,30	0,16	1,863
	1,412			1,863
	2,125			1,863
	1,543			1,863
	1,910			1,863
	1,907			1,863
	2,295			1,863
	1,685			1,863

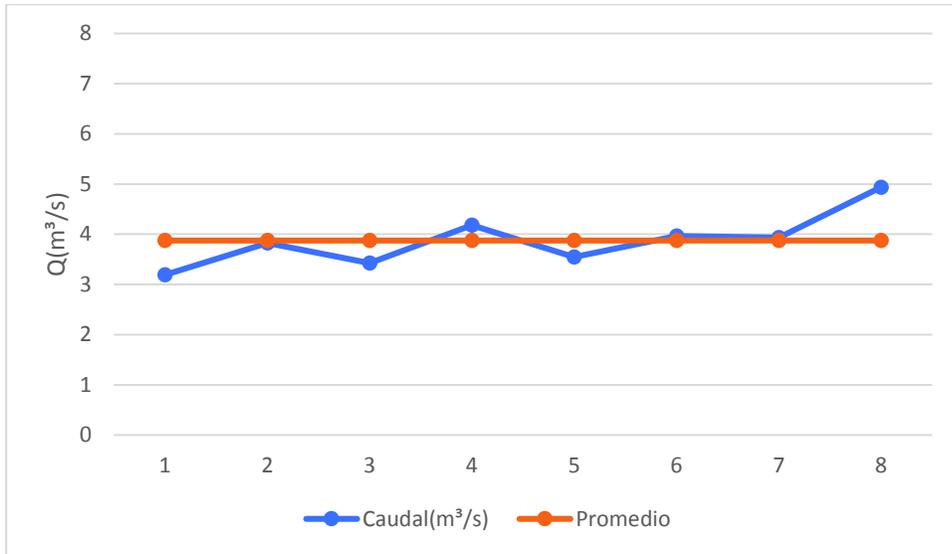
Se muestran las figuras 86 hasta la 89 en donde se representan los gráficos de los caudales y su media aritmética en el periodo de seis meses.



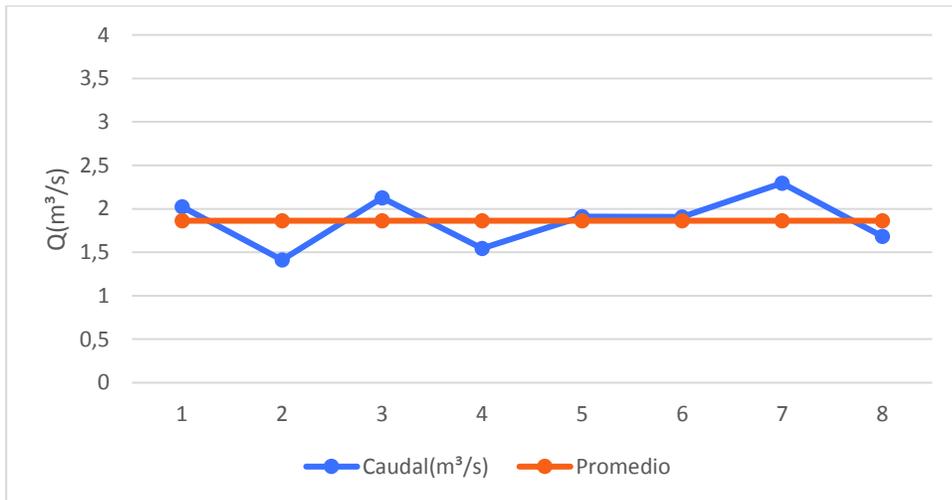
**Figura 86.** Caudal y media aritmética, enero, Santa Teresa.



**Figura 87.** Caudal y media aritmética, febrero, Santa Teresa.



**Figura 88.** Caudal y media aritmética, junio, Santa Teresa.



**Figura 89.** Caudal y media aritmética, julio, Santa Teresa.

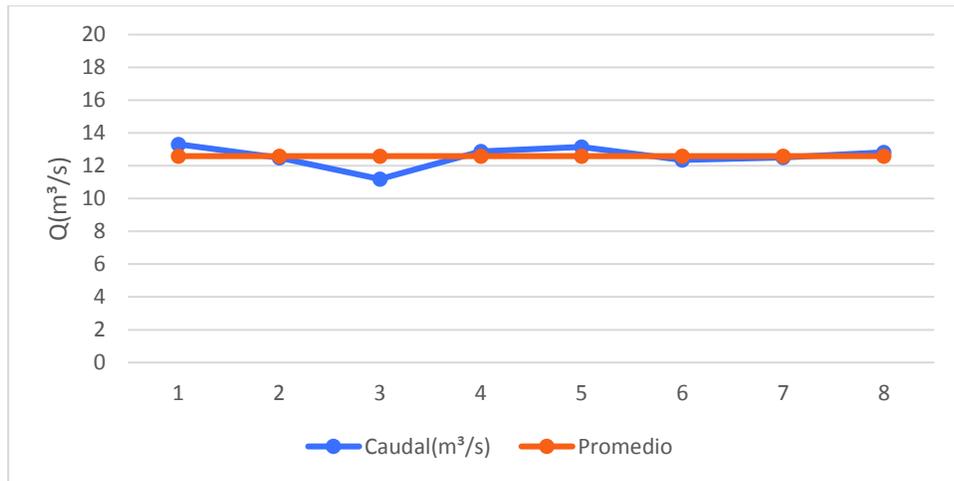
Para el sector del barrio Santa Teresa se determinó un rango de trabajo de 1.633 m<sup>3</sup>/s como valor más bajo y 3.875 m<sup>3</sup>/s como valor más alto, la desviación estándar para el rango de trabajo es de 0.54 y su coeficiente de variación es de 0.14. De la misma forma se observan valores que se alejan de su media lo que provoca que la desviación estándar aumente como es el caso de las figuras 88 y 89 en donde se observan valores atípicos a la media aritmética, en gran parte estos valores se deben a la variabilidad de las condiciones del cauce de agua y a esto sumado los errores cometidos por el operario al momento de tomar de manejar el ADCP.

### 3.4.2.3. RÍO SAN PEDRO – BOCATOMA

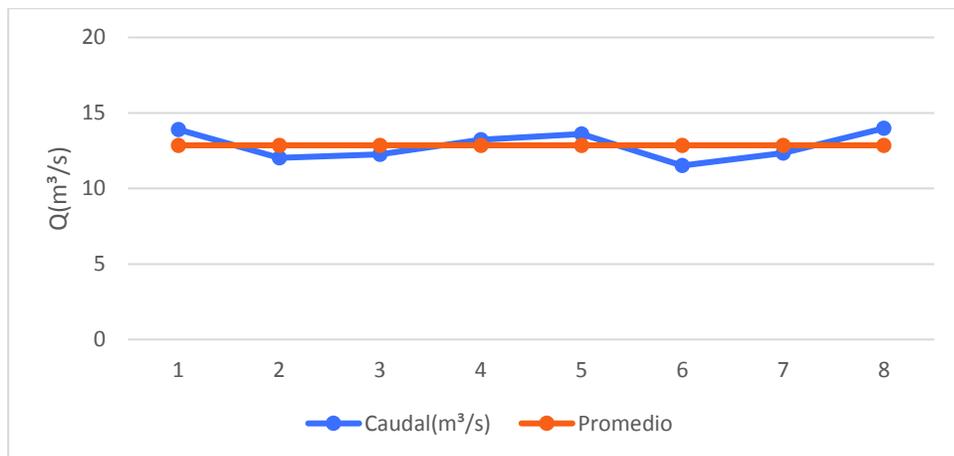
**Tabla 24.** Resumen caudal, río San Pedro, sector Bocatoma

	Caudal(m <sup>3</sup> /s)	Desviación Estandar	COV	Promedio
Enero	13,313	0,66	0,05	12,590
	12,494			12,590
	11,189			12,590
	12,883			12,590
	13,153			12,590
	12,352			12,590
	12,511			12,590
	12,825			12,590
Febrero	13,911	0,94	0,07	12,857
	12,026			12,857
	12,255			12,857
	13,226			12,857
	13,599			12,857
	11,517			12,857
	12,338			12,857
	13,981			12,857
Abril	24,242	1,35	0,06	23,360
	22,997			23,360
	22,326			23,360
	26,353			23,360
	22,983			23,360
	22,868			23,360
	22,265			23,360
	22,847			23,360
Mayo	11,217	3,62	0,21	17,154
	14,058			17,154
	20,310			17,154
	19,911			17,154
	20,072			17,154
	16,710			17,154
	20,655			17,154
	14,295			17,154
Junio	12,413	2,23	0,14	16,166
	17,122			16,166
	14,870			16,166
	19,049			16,166
	18,049			16,166
	14,200			16,166
	15,931			16,166
	17,694			16,166
Julio	12,664	0,39	0,03	12,110
	12,110			12,110
	12,160			12,110
	12,245			12,110
	11,918			12,110
	12,548			12,110
	11,750			12,110
	11,488			12,110

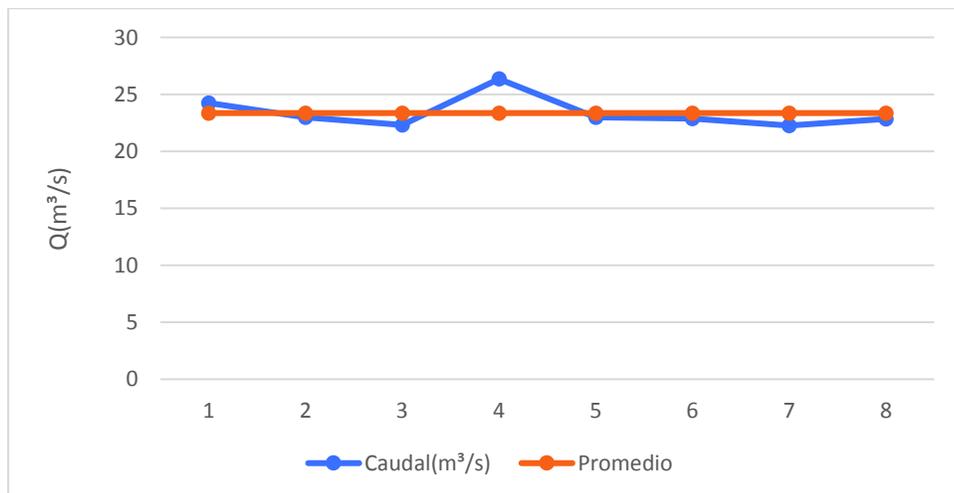
Se presentan las figuras 90 hasta la 95 en donde se observa el gráfico de caudal y su media aritmética del periodo de seis meses de medida.



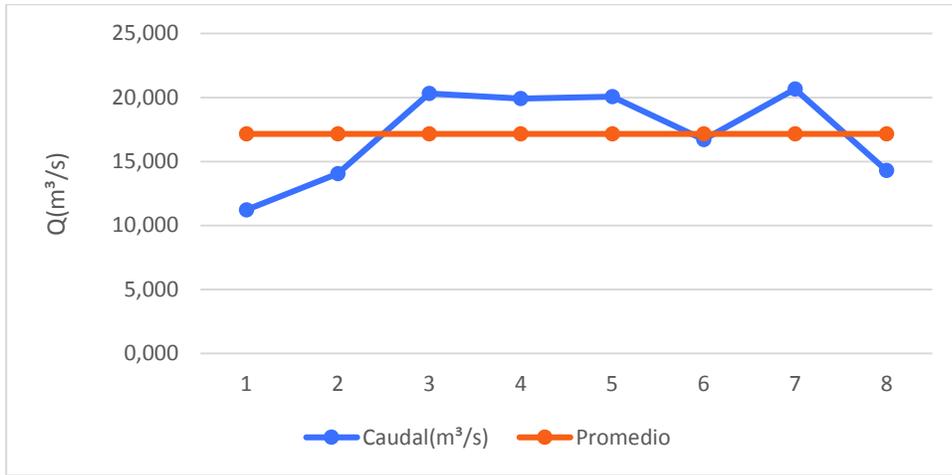
**Figura 90.** Caudal y media aritmética, enero, Bocatoma



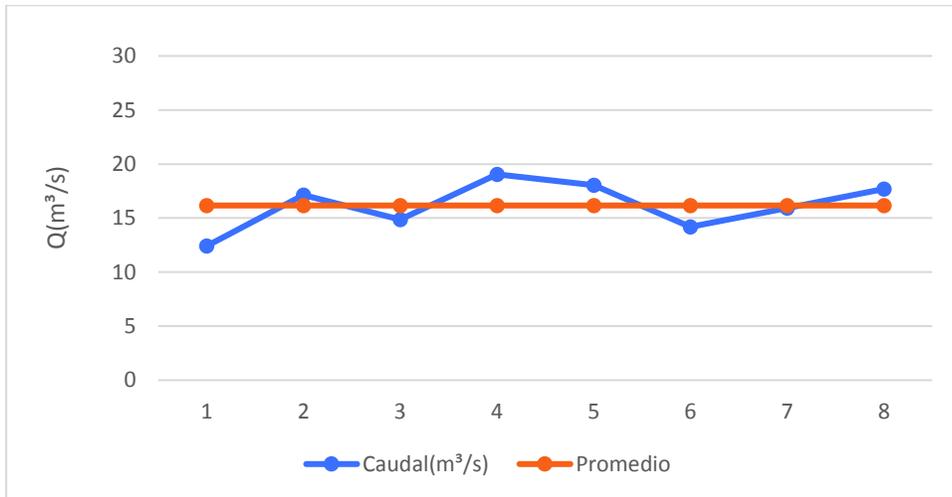
**Figura 91.** Caudal y media aritmética, febrero, Bocatoma



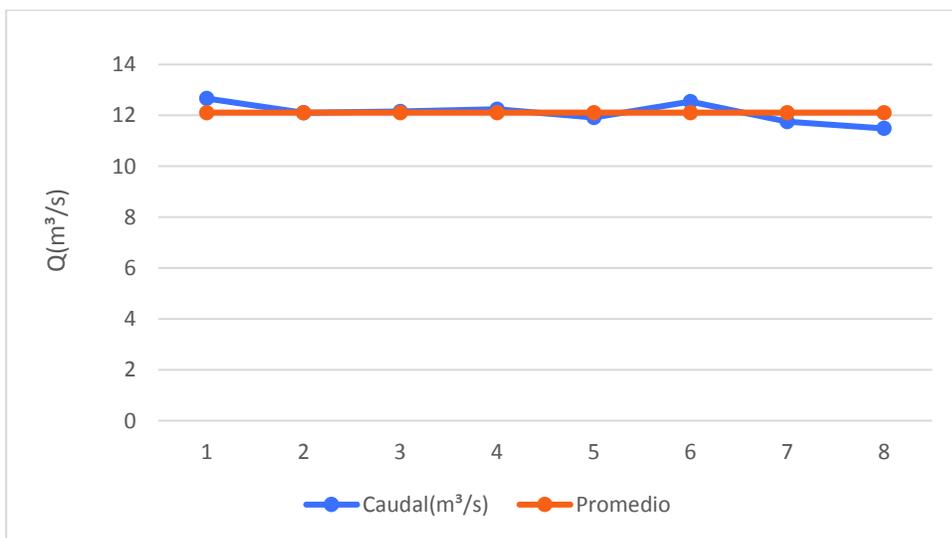
**Figura 92.** Caudal y media aritmética, abril, Bocatoma



**Figura 93.** Caudal y media aritmética, mayo, Bocatoma



**Figura 94.** Caudal y media aritmética, junio, Bocatoma



**Figura 95.** Caudal y media aritmética, julio, Bocatoma

Para el río San Pedro en el sector de la Bocatoma se obtuvo como rango de trabajo durante los seis meses de medidas, 12.110 m<sup>3</sup>/s como valor más bajo y 23.360 m<sup>3</sup>/s como valor más alto la desviación estándar para este rango es de 3.62 y su coeficiente de variación es de 0.21. Para los meses de mayo y junio se encuentra la mayor desviación.

Los valores más alejados de la media aritmética pueden ser desechados con el fin de mejorar la calidad de medida como es el caso de la figura 86 la cual tiene un valor atípico a su media. Para el caso de las figuras 93 y 94 se observa que varios valores se alejan de su media aritmética lo que afecta directamente a la calidad de la medida y al ser varias la medida debe ser repetida.

#### 3.4.2.4. RÍO SAN PEDRO – VÍA AMAGUAÑA

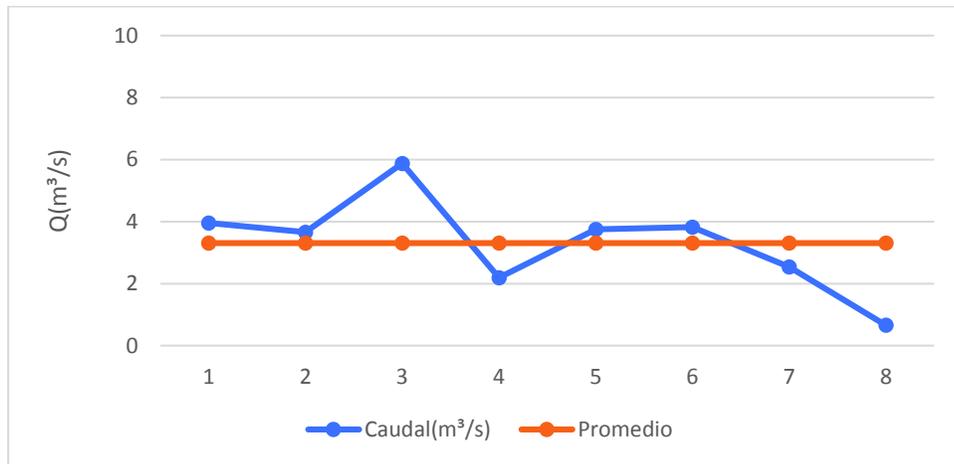
**Tabla 25.** Resumen caudal, río San Pedro, sector vía Amaguaña

	Caudal(m <sup>3</sup> /s)	Desviación Estandar	COV	Promedio
Enero	3,957	1,5	0,5	3,306
	3,656			3,306
	5,877			3,306
	2,188			3,306
	3,753			3,306
	3,820			3,306
	2,540			3,306
	0,657			3,306
Febrero	0,533	0,8	0,8	0,889
	1,506			0,889
	0,520			0,889
	0,455			0,889
	0,455			0,889
	2,535			0,889
	0,553			0,889
	0,555			0,889
Abril	0,185	1,3	1,4	0,997
	0,177			0,997
	0,190			0,997
	0,524			0,997
	0,177			0,997
	0,762			0,997
	1,998			0,997
	3,961			0,997
Mayo	2,243	0,4	0,2	1,968
	2,134			1,968
	1,106			1,968
	1,984			1,968
	2,013			1,968
	1,897			1,968
	2,234			1,968
	2,132			1,968

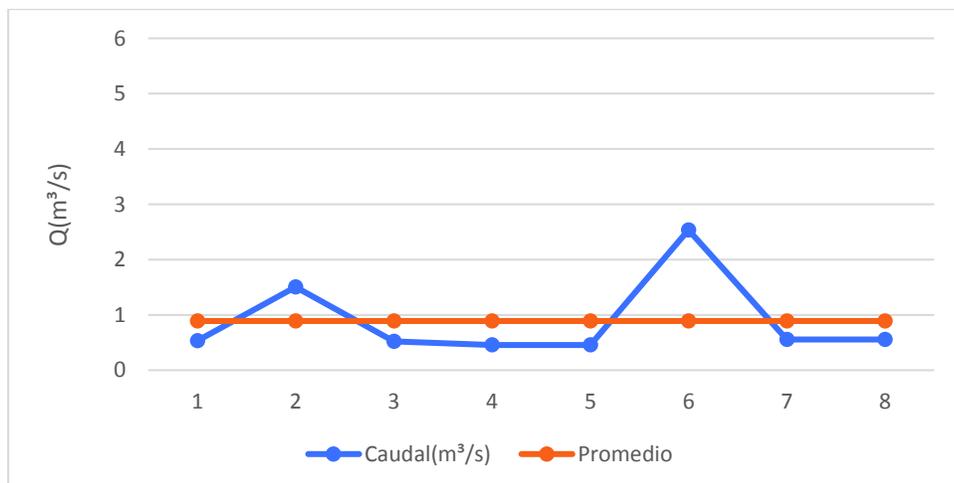
**Tabla 21.** Continuación

Junio	2,045			3,713
	4,051			3,713
	5,464			3,713
	3,064	1,8	0,5	3,713
	1,776			3,713
	1,813			3,713
	5,572			3,713
	5,916			3,713
	Julio	3,879		
4,333				3,068
1,661				3,068
3,814		1,3	0,4	3,068
4,791				3,068
1,718				3,068
1,685				3,068
2,659				3,068

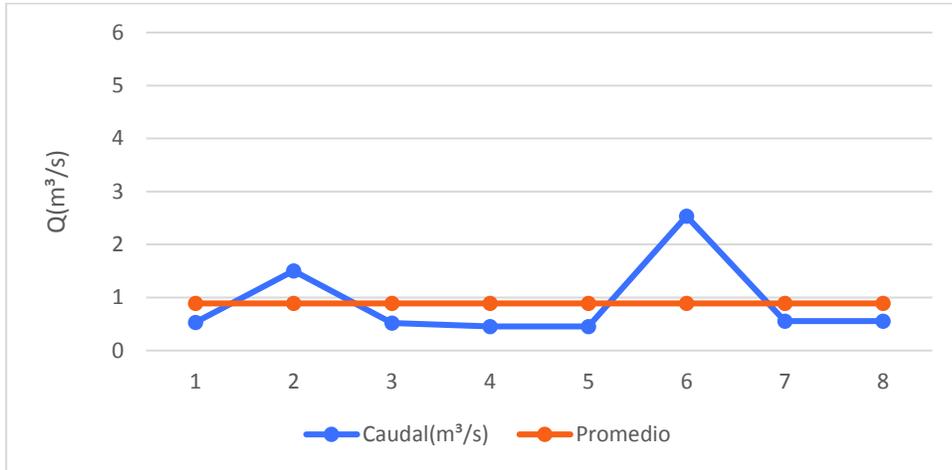
A continuación se presentan los caudales y su media aritmética correspondiente a los seis meses de medida desde la figura 96 a hasta la 101.



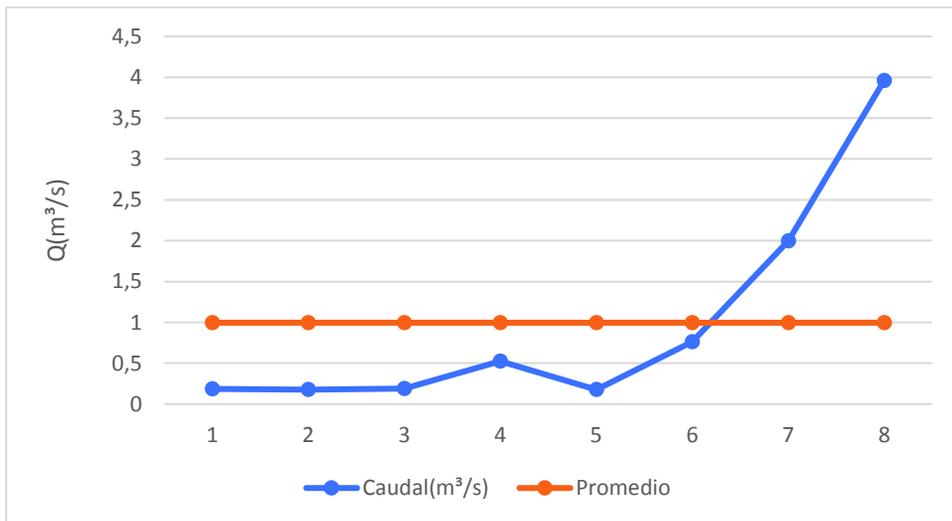
**Figura 96.** Caudal y media aritmética, enero, vía Amaguaña



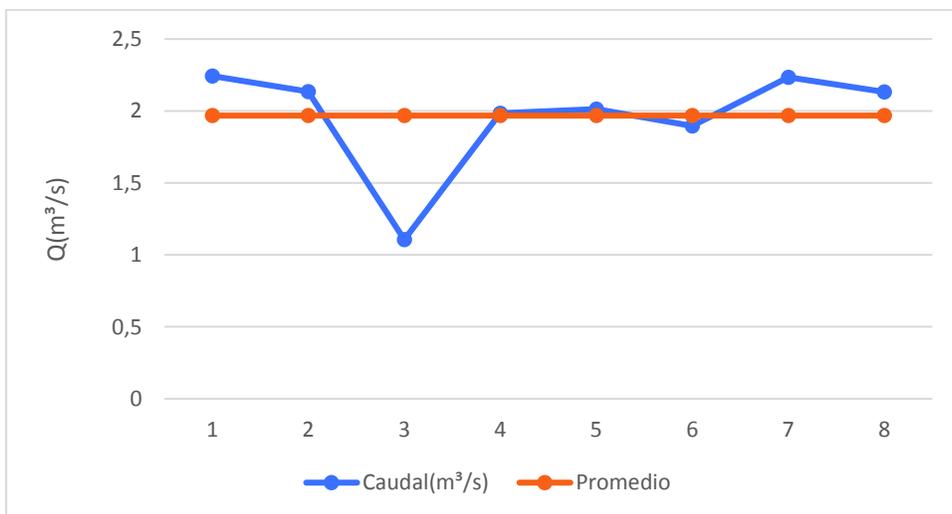
**Figura 97.** Caudal y media aritmética, febrero, vía Amaguaña



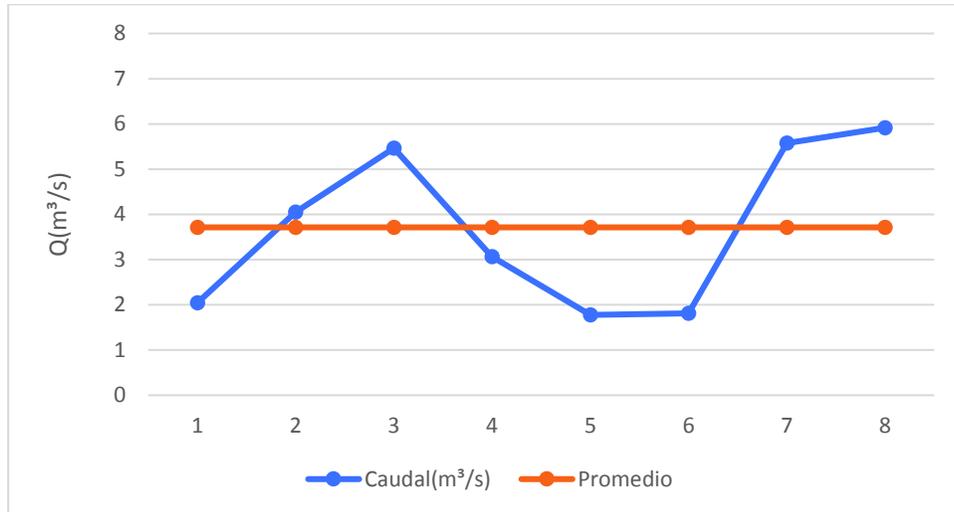
**Figura 98.** Caudal y media aritmética, abril, vía Amaguaña



**Figura 99.** Caudal y media aritmética, mayo, vía Amaguaña



**Figura 100.** Caudal y media aritmética, junio, vía Amaguaña



**Figura 101.** Caudal y media aritmética, julio, vía Amaguaña

Para el sector de Amaguaña se determinó un rango de trabajo de  $0.889 \text{ m}^3/\text{s}$  como valor más bajo y  $3.713 \text{ m}^3/\text{s}$  como valor más alto, la desviación estándar para este rango es de 1.8 y el coeficiente de variación es de 0.5. Como se observan en las figuras 96 a la 101 la mayoría de las medidas se alejan de su media aritmética esto debido a la gran variabilidad de las condiciones del cauce que se presentan en este sector sumado a los errores cometidos al manejar el ADCP ya que la ser las corrientes fuertes se formaban saltos de agua lo que provocó que el equipo se hunda y en muchos casos se perdió la señal bluetooth teniendo como consecuencia valores de caudal muy alejados de su media aritmética.

El cálculo de la desviación estándar se la realizó agrupando los valores de caudal obtenidos con el ADCP y se realizó en Excel. Mientras que los valores del coeficiente de variación se lo obtuvo dividiendo la media de los valores del caudal y la desviación estándar.

### **3.5. PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO Y DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

El procedimiento específico y de funcionamiento del equipo se realizó una vez terminadas las medidas en los ríos, estos formatos se los realizó de acuerdo a lo hecho en campo, este procedimiento se presentará en el anexo 1. Procedimiento Específico y de funcionamiento del equipo.

# CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## 4.1. CONCLUSIONES

- Se concluye que para el correcto funcionamiento del equipo una de las características principales que se debe realizar es la calibración de la brújula ya que así se compensa el magnetismo del lugar, por esta razón es de vital importancia realizar este procedimiento cada vez que se ocupe el ADCP en campo.
- Al momento de realizar la toma de datos, se concluye que la velocidad con la que se hace cruzar la sección transversal de un río al hydroboard, debe ser menor a la velocidad que se encuentra el agua en ese momento lo que garantiza una mejor medida y mejores resultados.
- Trabajar en ríos con altas cantidades de sólidos en el agua hacen que el ADCP no pueda funcionar correctamente debido a que el haz de luz no puede traspasar por ellos, además, al trabajar en aguas muy contaminadas puede dañar los transductores.
- En los meses de lluvia la toma de datos se vuelve más complicada porque tanto las velocidades de las corrientes como el caudal aumentan lo que provoca que se arrastre más sólidos causando una baja en la eficiencia del equipo.
- Se concluye que la sección transversal de un río se encuentra perpendicular al eje longitudinal de este y que las márgenes inicial y final se determinarán mirando el río aguas abajo.
- Al no existir un precedente que indique un error permitido al momento de utilizar un molinete y un ADCP se concluye que el error que se encuentra entre los dos equipos es aceptable, tomando en cuenta los errores cometidos al momento de utilizar cada uno de los equipos, sobre todo en el mes de julio que existieron inconvenientes con el uso del molinete.
- Debido a que las medidas de velocidad tomadas con el ADCP y el molinete no se las realiza simultáneamente, siempre estará presente un error debido a las condiciones cambiantes del cauce de agua, además, de las condiciones del fondo del cauce que tiene rocas y se mueven por lo que no se tiene un punto fijo para apoyar el molinete.
- El perfil de la sección transversal de cada río se mantiene constantes durante las 8 medidas, mientras que el perfil de velocidades cambia en cada una de estas, sobre

todo en la mitad del cauce en donde la velocidad es mucho más alta y sobre todo más variable por tal motivo esto nos indica la variabilidad de las condiciones de un cauce de agua son muy cambiantes.

- El río con mayor variabilidad en caudal es el río San Pedro en el sector de Amaguaña, como se observa en las gráficas de ese sector la mayoría de sus medidas se alejan de su media aritmética lo que causa que la desviación estándar aumente y así baje la calidad de la medida.
- El procedimiento específico y de funcionamiento del equipo se los realizó en base a los lineamientos establecidos en el laboratorio específicamente en el procedimiento general de elaboración de documentos, además, se lo realizó en base a lo realizado en campo durante los seis meses que duró el proyecto y fue aprobado por los analistas y coordinador general del laboratorio.
- Los valores que se encuentren más alejadas de su media causan que la desviación estándar crezca, esto debido a errores cometidos al momento de realizar la medida como por ejemplo la sujeción del hydroboard y al no seguir una dirección constante como se muestran en las figuras en los resultados.
- Se concluye que la longitud transversal de un río no es inconveniente al momento de trabajar con el ADCP S5 siempre y cuando en el punto de muestreo se cumplan con los rangos establecidos tanto de profundidad del calado como de las velocidades de las corrientes.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ El cuidado y mantenimiento de los transductores es importante, se recomienda realizar la limpieza de ellos cada cierto tiempo sobre todo cuando se lo utilice en ríos con altas concentraciones de contaminación, utilizando agua con jabón y un cepillo de plástico. De la misma manera dar el respectivo mantenimiento a los cables sobre todo a los pines evitando que se llenen de tierra y mantener las baterías cargadas siempre.
- ✓ Al momento de manipular el equipo se debe hacerlo con mucho cuidado sobre todo el ADCP y el PCM que son las partes más sensibles evitando hacerlos caer o golpearlos fuertemente y nunca hacer fuerza en exceso para no estropearlos internamente.

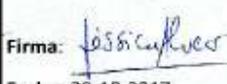
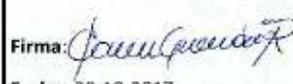
- ✓ Es recomendable realizar las medidas entre dos personas sobre todo en meses de lluvia cuando la corriente de los ríos es más fuerte, esto con el fin de salvaguardar el estado del equipo y sobre todo por seguridad personal.
- ✓ En lo que respecta al estudio se recomienda extenderlo a un año ya que por lo anteriormente visto no es posible saber con exactitud como varían los caudales y las velocidades de los ríos el resto del año, además, se tendría un rango de trabajo mucho más grande y más exacto.
- ✓ Se recomienda realizar el proceso de calibración de la brújula lo más cerca posible al punto de muestreo y lejos de cualquier objeto electrónico y de estructuras metálicas que puedan interferir con el campo magnético de la brújula interna del ADCP.
- ✓ Una vez realizada las medidas es recomendable descargar todos los datos de la memoria interna del ADCP y formatearla para evitar que la memoria se llene de datos fantasma.
- ✓ Se recomienda que antes de utilizar el equipo este sea calibrado con ayuda de las estaciones hidrológicas que se encuentran en los ríos de esta manera se tendría una idea más clara de los datos obtenidos con el ADCP.
- ✓ Para mejorar la calidad de medida es recomendable, en los ríos que sea posible, establecer un sistema de sujeción en las márgenes y a lo largo de la sección transversal para que el equipo siga una dirección constante. Mientras que para ríos más grandes se implemente un bote de manera que se pueda utilizar el ADCP.

# BIBLIOGRAFÍA

1. A. Rodriguez, T. Molina, P. Perez, B. Acosta. (2012). Concepto de distribuciones de velocidades. Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico. Mexico: Sanfandila.
2. F. Cruz. (2015). Viabilidad de implementar el modelamiento numérico para la determinar la dinamica fluvial del río Amazonas en las cercanias de la ciudad de Iquitos. Iquitos, Perú: Escuela Superior de Guerra Naval.
3. G. Rodriguez, J. Velásquez. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. Perú: SENAMHI.
4. H. Farias, J. Brea, C. García. (2011). Caracterización Experimental del Flujo para Estimar Parámetros Hidráulicos de Diseño de Pasarelas sobre el Río Uruguay en los Saltos de Moconá, Misiones. Hidráulica Fluvial: Proceso de Erosión y Sedimentación, Obras de Control y Gestión de Ríos. Saltos de Moconá, Misiones, Argentina.
5. H. Herrero, G. Girardi, C. García. (2015). Campaña de Aforo en Río Quinto y Canal Devoto. Cordoba, Argentina: Universidad Nacional de Cordoba.
6. L. Gutierrez. (2012). Teoría de la Medición de Caudales y Volúmenes de Agua e Instrumental Necesario Disponible en el Mercaso. Medida y Evaluacion de la Extracción de Agua Subteranea. ITGE.
7. M. Díaz, C. García, H. Herrero, M. Romagnoli, A. Cassavella. (2015). Revista Iberoamericana del Agua. Estimación del Coeficiente Longitudinal en Ríos de la Región Central de Argentina Utilizando un ADCP. Argentina: RIBAGUA.
8. O. Rojas. (2006). Manual Básico para Medir Caudales. Quito, Ecuador: FONAG.
9. Organización Metereológica Mundial. (2011). Guías de Prácticas Hidrológicas.
10. Osorio, J. (2010). Metodologías y Técnicas Basadas en Sistemas de Video para la Medición de Variables Hidrodinámicas. Medellín , Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
11. R. Pérez. (2014). Hidrometría y Aforo de Corrientes Naturales. Manual de Prácticas de Laboratorio de Hidráulica. Medellín, Colombia.
12. SensorVital. (Octubre de 2014). [www.sensorvital.com](http://www.sensorvital.com). Obtenido de [https://drive.google.com/file/d/0B3Mlyueic8ARVIB2QVEyeXVWN1E/view?usp=drive\\_web](https://drive.google.com/file/d/0B3Mlyueic8ARVIB2QVEyeXVWN1E/view?usp=drive_web)
13. Sontek. (2009). RiverSurveyorLive Manual. San Diego, California, USA.

# ANEXOS

## Anexo I. Procedimiento específico y de funcionamiento del equipo

<h1>SECRETARÍA DE AMBIENTE</h1> <h2>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO IAM – Q</h2> <h3>PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO DE ENSAYO PEE/IAM -Q/39</h3> <p><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con el Perfilador de Corrientes Acústico Doppler</b></p> <p>Edición: 01 Fecha de Emisión: 30-10-2017</p> <p style="text-align: right;"><b>COPIA NO CONTROLADA</b></p>		
ASIGNADA A: Responsable de Laboratorio, RLAB		FECHA: 30-10-2017
<b>Elaborado por:</b> <b>Nombre:</b> Danilo Cruz/Ing. Rody Estrella <b>Cargo:</b> Técnico de apoyo/Técnico de laboratorio <b>Firma:</b>  <b>Fecha:</b> 21-09-2017	<b>Revisado por:</b> <b>Nombre:</b> Lcda. Jéssica Alvear <b>Cargo:</b> Responsable de Calidad <b>Firma:</b>  <b>Fecha:</b> 30-10-2017	<b>Aprobado/ Autorizado por:</b> <b>Nombre:</b> Ing. Karen Guerrón <b>Cargo:</b> Responsable del Laboratorio <b>Firma:</b>  <b>Fecha:</b> 30-10-2017

Hoja N° 1 de 2



Secretaría de  
Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

**IAM - Q**

**PEE/IAM -Q/11**

**Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP**

Edición: 01

**HISTÓRICO DE MODIFICACIONES**

EDICIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN



Secretaría de  
Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

**PEE/IAM -Q/11**

**Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP**

Edición: 01

## ÍNDICE

1. OBJETO
2. ALCANCE
3. REFERENCIAS
4. GENERAL
  - 4.1. Principio del Método
  - 4.2. Definiciones
5. DESCRIPCIÓN
  - 5.1. Equipos y materiales
  - 5.2. Patrones de Referencia, Protocolos EPA, Materiales de Referencia y Reactivos
  - 5.3. Preparación
  - 5.4. Realización
  - 5.5. Tratamiento de los resultados
  - 5.6. Medidas de seguridad
  - 5.7. Control de Calidad
  - 5.8. Criterios de Aceptación o Rechazo
6. ANEXOS

 <p>SECRETARÍA DE AMBIENTE</p> <p>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p>IAM - Q</p>	<p><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p>Edición: 01</p>
---	--

### 1. OBJETO

Establecer el procedimiento específico para la determinación de Caudal, velocidad de corrientes y perfil de la sección transversal tanto de ríos como de canales.

### 2. ALCANCE

El alcance del presente procedimiento es el siguiente:

➤ **Descripción de los tipos de muestras a las que se aplica**

Aguas de fuentes naturales y canales.

➤ **Parámetros a determinar:**

Caudal, velocidad de corriente, perfil hidrológico.

➤ **Intervalos de trabajo**

Profundidades de 0,2 a 5 metros

➤ **Interferencias conocidas:**

- a. Condiciones meteorológicas
- b. Sólidos presentes en el agua
- c. Profundidad

### 3. REFERENCIAS

Como referencias básicas para la elaboración de este procedimiento se han tomado los criterios establecidos en los siguientes documentos:

- Procedimiento General: **Elaboración de Documentos**, PG/IAM - Q/01.
- Manual del Sistema Riversurveyor s5/m9 Sontek/ysi. DE-490
- L. Gutierrez. (2012). Teoría de la Medición de Caudales y Volúmenes de Agua e Instrumental Necesario Disponible en el Mercado. Medida y Evaluación de la Extracción de Agua Subterránea. ITGE. DE - 508



Secretaría de  
Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

#### 4. GENERAL

##### 4.1. Principio del Método

El Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ACDP) transmite sonidos a una frecuencia fija lo que le permite escuchar los ecos que retornan por los reflectores en el agua. Estos reflectores son pequeñas partículas microscópicas de sedimentos o plancton presentes naturalmente en el agua, que se mueven a una velocidad igual que la misma, y que reflejan el sonido hacia el ADCP. Cuando el sonido enviado por el ADCP llega a los reflectores, se encuentra desplazado a una mayor frecuencia debido al efecto Doppler; este desplazamiento frecuencial es proporcional a la velocidad relativa entre el ADCP y los reflectores, o sea, entre el ADCP y el agua.

Parte de este sonido desplazado frecuencialmente es reflejado nuevamente hacia el ADCP donde se recibe desplazado una segunda vez. Este desplazamiento es el que utiliza el aparato para el cálculo de las velocidades. Con el ADCP se puede obtener la forma de la sección, las velocidades en 3D y definir el caudal.

##### 4.3. DEFINICIONES

- **Caudal:** El caudal también conocido como gasto o descarga, es el volumen de agua que circula por una sección transversal de un río en un tiempo determinado. Se lo calcula utilizando la ecuación de continuidad de la siguiente manera.

$$Q = v \cdot A \quad (1) \text{ Ecuación de continuidad}$$

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

A = Área (m<sup>2</sup>)

- **Medición de caudales:** Conocido como aforo de caudales, es el conjunto de operaciones que se realizan con el fin de encontrar un caudal determinado ya sea de

 <p>SECRETARÍA DE Ambiente</p> <p>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p>IAM - Q</p>	<p><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p>Edición: 01</p>
---	--

ríos o canales. Para realizar estas operaciones se pueden utilizar varios métodos y diferentes medidores de caudal.

- **Perfil de velocidades:** Las velocidades de las corrientes de agua en cauces naturales son variables, dependiendo del lugar en que se las mida, se aproximará a cero en las orillas y en el fondo del río, mientras que en el transecto bajo la superficie del agua se encontrará el mayor valor de velocidad. Para determinar las velocidades de las corrientes de los ríos es muy importante tomar en cuenta la forma de la sección transversal, debido a que la naturaleza y características geométricas del contorno definen básicamente la curva de distribución de velocidades, así como la rugosidad del fondo del cauce y el régimen del escurrimiento.
- **Perfil Hidrológico:** El perfil hidrológico se lo puede determinar dependiendo del trabajo que se quiera realizar. Este puede ser obtenido mediante el perfil longitudinal o la sección transversal de un curso de agua natural.
- **Perfil Longitudinal:** Perfil longitudinal es la línea que une las partes elevadas (umbrales) con las partes más bajas entre dos umbrales (hoyas) del fondo de un río, desde el inicio de este hasta su desembocadura a nivel del mar. A lo largo del perfil longitudinal se puede observar los cambios de pendiente, cascadas, rápidos y fosas entre otras características físicas del río.
- **Sección Transversal:** La sección transversal de un río es la línea perpendicular al eje de un flujo de agua. En esta se pueden realizar varios cálculos siendo el más importante la determinación del caudal del flujo, así como las velocidades de sus corrientes. La sección transversal es muy útil para la determinación de los modelos de flujo fluvial.
- **Efecto Doppler:** El llamado efecto Doppler provoca el cambio de frecuencia entre la señal emitida y recibida, según la velocidad relativa de la misma en relación al objeto que la señal golpea. Es decir, el ADCP mide la velocidad de los sólidos en suspensión en el agua y asigna la misma velocidad al flujo.
- **Aforador Acústico Doppler:** Estos instrumentos de medición de caudal se basan en el principio físico conocido como desplazamiento Doppler. Los ADCP's pueden montarse

 <p style="text-align: center;">SECRETARÍA DE AMBIENTE</p> <p style="text-align: center;"><b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>IAM - Q</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PEE/IAM –Q/11</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p style="text-align: center;">Edición: 01</p>
---	--

sobre una embarcación en movimiento por lo que miden la velocidad y la altura del agua simultáneamente además de la dirección de la embarcación.

- **Transductores:** Los transductores son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Los transductores son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente, estas magnitudes, como por ejemplo temperatura, presión, humedad del aire, presión sonora, caudal, o luz, se convierten en una señal normalizada.
- **Transecto (lineal):** es el corte o plano en el que representa un área del espacio que se toma de muestra y sobre el cual se dará camino al equipo para que realice los muestreos consecutivos y puntuales.

## 5. DESCRIPCIÓN

### 5.1. Equipos y materiales:

- Perfilador de Corrientes Acústico Doppler S5 (ADCP)
- Fuente de poder portátil (PCM)
- Cable de 10 metros para comunicación directo a la computadora
- Baterías recargables (2)
- Cargador de baterías
- Adaptador USB-serie para PC (2)
- Cable de comunicación ADP, PCM (1 m)
- Cable de alimentación de corriente
- Teléfono celular y su cargador
- Computador con software RiverSurveyorLive
- CD de software RiverSurveyorLive
- Antena Bluetooth Parani 2000
- Plataforma Hydroboard
- Protector de teléfono para agua

### 5.2. Patrones de Referencia, Protocolos EPA, Materiales de Referencia y Reactivos

N/A

 <p style="text-align: center;">INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p style="text-align: center;"><b>IAM - Q</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p style="text-align: center;">Edición: 01</p>
--	--

### 5.3. Preparación

#### 5.3.1. Condiciones Ambientales

- Tomar en cuenta que en tiempo de lluvias tanto el caudal como la velocidad de las corrientes aumenta lo que puede provocar un mayor número de sólidos en el agua.
- La accesibilidad a los ríos es más dificultosa por el aumento de caudal.
- Las malas condiciones ambientales hacen que la señal bluetooth se debilite, ocasionando disminución en el alcance de este.
- Al ser el equipo herméticamente cerrado, no tiene inconveniente de trabajar en épocas de lluvias.
- Referente a la temperatura, el equipo incorpora un sensor de temperatura que trabaja en un rango de -10°C hasta 70°C.

#### 5.3.2. Almacenamiento de datos

Los datos se almacenarán en la computadora a la que se conecte el equipo, el programa RiverSurveyor Live se encargará de crear una carpeta en el apartado PC-Documentos-Sontek Data files.



Si se utiliza el teléfono móvil los datos se guardarán en la tarjeta micro SD, de la misma forma el programa RiverSurveyorLive para móvil creará una carpeta con el nombre Sontek Data



Secretaría de  
Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

Files. Cabe mencionar que, para leer los datos en la tarjeta de memoria, esta debe ser conectada al computador.



### 5.3.3. Verificación

La verificación del equipo se realiza en el apartado "Prueba del sistema" la cual se explicará más adelante.

## 5.4. Realización

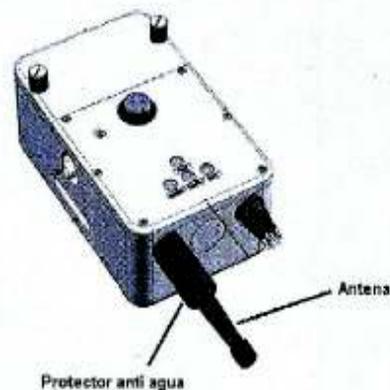
### 5.4.1. Utilización

- Colocar las baterías recargables en el PCM, retirar la tapa de protección contra el agua, colocar las baterías, tapar y ajustar lo necesario para que el agua no pueda entrar en la cavidad. La recarga de las baterías se debería recargar como máximo cada 3 monitoreos completos.



 <p>SECRETARÍA DE Ambiente</p> <p>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p>IAM - Q</p>	<p>PEE/IAM -Q/11</p> <p>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</p> <p>Edición: 01</p>
---	--

- Colocar la antena (puerto macho) en el PCM (Puerto hembra), empujar sin realizar demasiada fuerza hasta que los pines queden cubiertos y ajustar con los protectores anti agua.



- Colocar el PCM y el ADCP en las ranuras correspondientes en el hydroboard y asegurarlo con las correas y el carenado incluidos en la plataforma. Ver 5.4.6.1.



- Conectar el PCM (puerto macho) con el ADP (puerto hembra) con el cable de comunicación de 1 metro, empujar hasta que los pines queden cubiertos, utilizando la fuerza necesaria, luego ajustar los protectores anti agua.



Secretaría de  
Ambiente

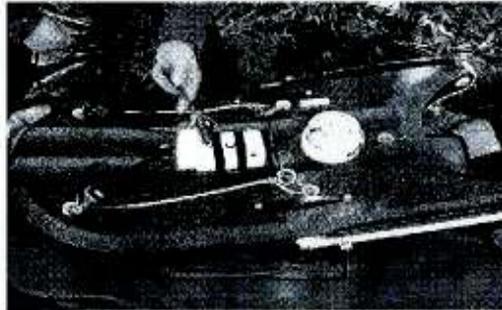
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01



- Una vez realizada la conexión, prender el PCM presionando el botón de encendido y apagado.



Realizar la conexión bluetooth mediante teléfono móvil o una computadora como se describe a continuación.

#### 5.4.1.1. Conexión mediante teléfono móvil

Prender el teléfono móvil, activar la conexión bluetooth, ingresar en el programa RiverSurveyorLive Móvil, el teléfono se conecta automáticamente y si no lo hace pulsar la tecla "CONNECT".

 <p>SECRETARÍA DE Ambiente</p> <p>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p>IAM - Q</p>	<p>PEE/IAM -Q/11</p> <p>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</p> <p>Edición: 01</p>
---	--

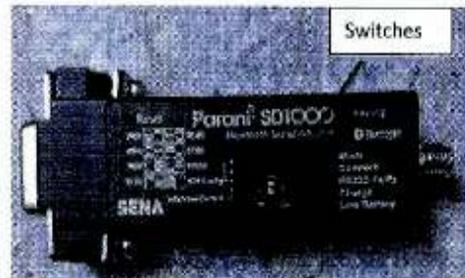


Connecting to system...



#### 5.4.1.2. Conexión mediante computadora

Para realizar esta conexión se necesita la antena bluetooth Parani SD1000 con un adaptador USB. La antena debe estar configurada en una velocidad de frecuencia superior a las 57.6 k, en frecuencias inferiores la antena no se puede conectar. Para configurar la frecuencia en la cavidad del equipo Bluetooth se encuentran pequeños Switches los cuales pueden ser manipulados. Cuidadosamente deben ser colocados en la posición como se indica en la imagen a continuación.



Baud rate	2400	4800	9600	19.2K	38.4K	57.6K	115.2K	SW Config

- Colocar la antena en el conector con rosca, conectar el alimentador de energía y utilizar el adaptador USB (puerto macho) y conectarlo al bluetooth. Finalmente conectar ambos cables a los puertos USB de la computadora.



Secretaría de Ambiente

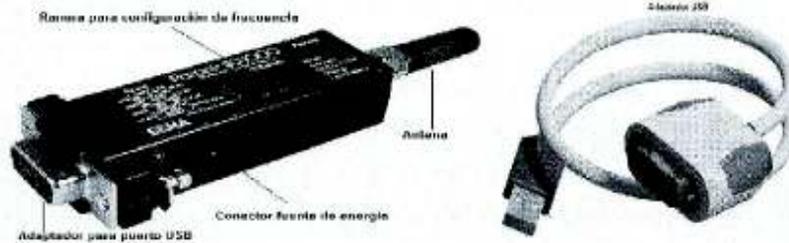
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

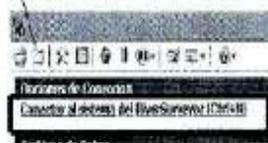


- Activar el programa RiverSurveyorLive PC ubicado en el escritorio del computador.

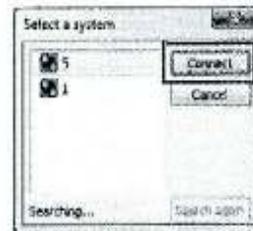
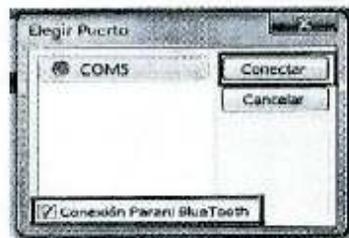


- Conectar el equipo con el programa, para esto existen tres opciones. La primera es presionar el icono en forma de ventana ubicada en la parte superior izquierda de la pantalla, la otra opción es presionando "Conectarse al sistema" y la tercera opción es presionando las teclas Ctrl+N.

Icono para conectarse al programa



- Seleccionar el puerto COM correspondiente y la conexión mediante antena bluetooth, por último, conectarse con el equipo.



 <p style="text-align: center;">INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p style="text-align: center;"><b>IAM - Q</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p style="text-align: center;">Edición: 01</p>
--	--

En el supuesto caso que aparezcan más puertos COM en la ventana de conexión, tener en cuenta el puerto COM que está utilizando la antena ya que esta no se conectará. Si es el caso proceder a cerrar los otros puertos.

La conexión que se elija dependerá del operario y de las condiciones de trabajo. Una vez en el programa tanto en la computadora como en el teléfono móvil el procedimiento a seguir será el mismo ya que en ambos casos se debe llenar los mismos parámetros que se explican a continuación.

#### 5.4.2. Hora

Este parámetro se lo puede introducir de forma manual o tomar la opción "Usar hora PC", ésta actualiza la hora automáticamente presionando la pestaña "Fijar la Hora".



#### 5.4.3. Prueba del sistema/Análisis del sistema

Esta es una prueba que el equipo realiza para comprobar su funcionamiento, las conexiones de los cables y el estado de la batería. Es importante realizar esta prueba del sistema para saber si existe algún desperfecto y poder tomar alguna medida de precaución antes de la toma de datos.

 SECRETARÍA DE <b>AMBIENTE</b>	<b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y          MONITOREO</b>	<b>PEE/IAM –Q/11</b>
	<b>IAM - Q</b>	<b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente          y Obtención del Perfil de una sección          Transversal de un río con ADCP</b> Edición: 01

**Inicio Sesión**      Hora de ADCP = 03/14/2016 16:22:03  
 Hora de PC = 03/14/2016 16:20:22

---

**ESTACIÓN MUESTRO**      Hora de Test en Cámara = 17/09/2013 11:30:27  
 Archivo de cámara: Apobaca

---

No aparece para el ítem de software del software

**Cambiar Información de la Estación**

En caso que la prueba sea aprobada presionar la pestaña cerrar

**Análisis del sistema**

Análisis de sistema: Aprobado

Usar el último test del software

Al contrario, si la prueba es reprobada comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos del equipo como se muestra en el anexo.

#### 5.4.4. Información del emplazamiento/Información de la estación

Este apartado nos permite colocar la información del sitio de muestreo y de la estación con la que se está trabajando como se muestra en la figura de a continuación:

**Información de la estación**

Estacion(50Caracteres)	S. A. P.
Estacion NP(20Caracteres)	1
Localización(50Caracteres)	Laboratorio
Equipo(30Caracteres)	Profilador
Plataforma(30Caracteres)	Hydroguard
Medida (30Caracteres)	1
Comentarios(100Caracteres)	Pruebas

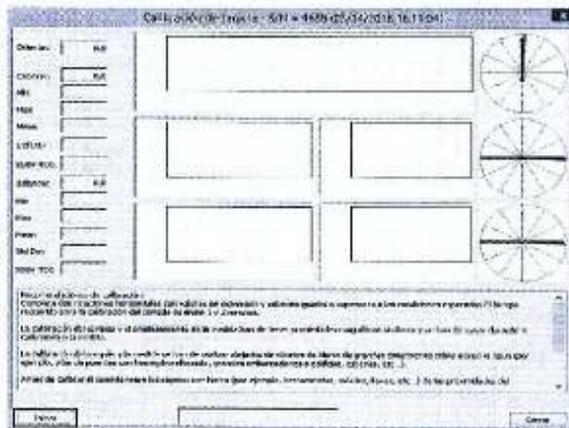
Los datos mostrados son editables y pueden ser llenados de acuerdo a criterio del analista de modo que se identifica el sitio de muestreo.

 <p style="text-align: center;">SECRETARÍA DE AMBIENTE</p> <p style="text-align: center;"><b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>IAM - Q</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p style="text-align: center;">Edición: 01</p>
---	--

#### 5.4.5. Calibración de la brújula

Para continuar se procede a calibrar la brújula, para esto se debe tomar el equipo ya armado y en lo posible lo más cerca al punto de muestreo, evitando tener cerca algún aparato electrónico o estructuras metálicas que puedan interferir con el magnetismo de la brújula incluida en el ADCP. Proceder de la siguiente manera:

- Iniciar la calibración en la computadora y presionar la pestaña Inicio.



- El operador debe empezar a girar en su propio eje con el equipo tratando de simular el movimiento del agua, variando el ángulo de balanceo y el ángulo cabeceo tanto como sea posible, completar dos círculos completos en un tiempo mínimo de un minuto y máximo de dos minutos. Esto se lo debe realizar en dirección a la corriente. Si se lo realiza con el teléfono celular, tomar el tiempo ya que este no se cronometra en el sistema.



Secretaría de Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO

IAM - Q

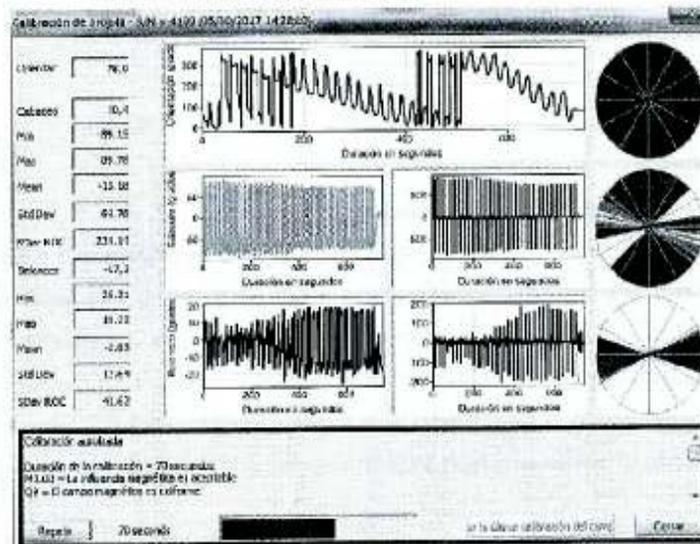
PEE/IAM - Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP

Edición: 01



- Una vez cumplido el tiempo y las dos vueltas se detiene el programa, inmediatamente se desplegará una ventana donde nos indicará el resultado de la calibración. Si el proceso fue correcto será aprobado y puede seguir con los demás incisos presionando en la pestaña cerrar.



- Si por algún motivo la calibración fue reprobada se debe repetir el procedimiento ya que este proceso se lo realiza con el fin de compensar los campos magnéticos del lugar, como se muestra en la gráfica de a continuación:



Secretaría de  
Ambiente

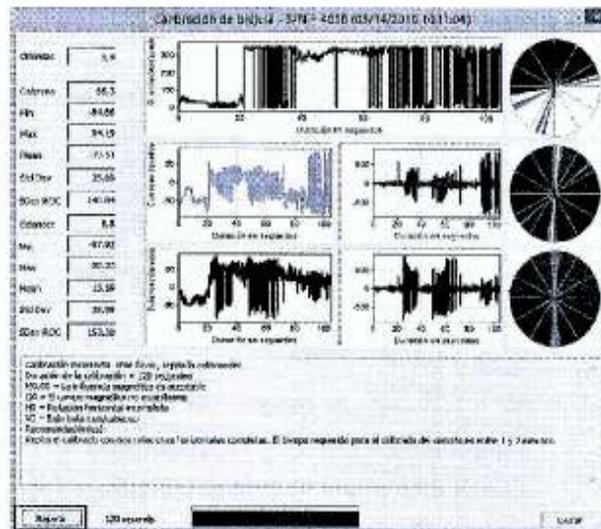
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

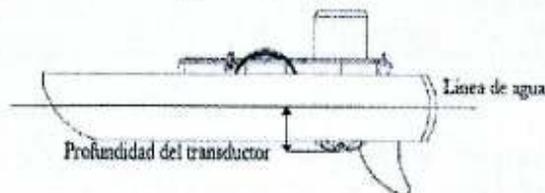


#### 5.4.6. Ajustes del Sistema

Se introduce los datos de Profundidad del Transductor, la salinidad y la declinación magnética.

##### 5.4.6.1. Profundidad del Transductor

Es el calado del haz de luz del transductor que está sumergido debajo la superficie del agua. Este calado depende exclusivamente del usuario. Una vez colocado el equipo en el agua, se determinará la distancia entre la línea de agua y el transductor. Con una regla medir la distancia del ADP que sobresale del hydroboard y sumar a la distancia medida desde la línea de agua de la plataforma hasta la superficie inferior de ésta. Como se muestra en la figura a continuación:





Secretaría de  
Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

Para mayor facilidad se puede tomar como referencia la línea que ha sido pintada en el ADP a 0.09 m de profundidad.

#### 5.4.6.2. Salinidad

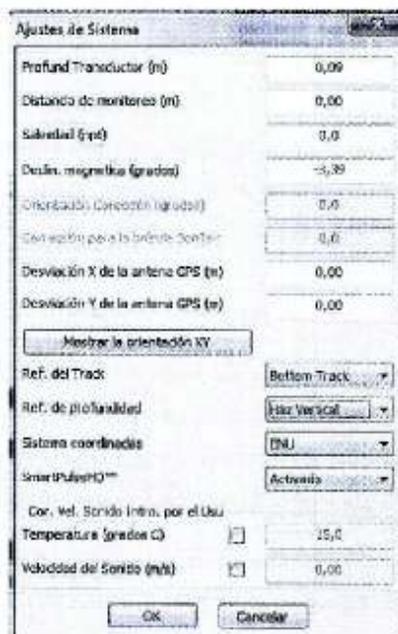
Sus unidades son en partes por billón (ppb), y va a depender de las condiciones locales del agua. Como referencia se tiene un rango que va desde 0 (ppb) para agua dulce y 34,5 (ppb) para agua de mar.

#### 5.4.6.3. Declinación Magnética

Para determinar la declinación magnética de cada punto de muestreo, tomar las coordenadas geográficas obtenidas *in situ* con el GPS, introducir las en la página web <http://www.magnetic-declination.com> y obtener los datos de cada punto. Cabe mencionar que la declinación magnética varía según el punto de muestreo.

Mencionar que las demás opciones que se muestran en este apartado dependerán del tipo de conexión que se utilice, para este caso las opciones que vienen por defecto serán las utilizadas, tal como se muestra en la figura a continuación.

 SECRETARÍA DE Ambiente	<b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</b>	<b>PEE/IAM –Q/11</b>
	<b>IAM - Q</b>	<b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b> Edición: 01



El sistema señala con un visto verde todos los procedimientos que ya han sido llevados a cabo y con una equis roja lo que aún no se ejecuta.

#### 5.4.7. Medición

El método utilizado para la toma de datos va a ser el mismo para los ríos en los que se puede utilizar el equipo. Los ríos serán divididos en tres partes que son: Margen inicial, margen final y el transecto. Teniendo en cuenta estos parámetros se describirá el método a continuación:

- Colocar el Hydroboard en el cauce de agua de tal forma que la proa de la plataforma se sitúe en contra al flujo de la corriente de agua tal como se observa en la figura a continuación:



Secretaría de  
Ambiente

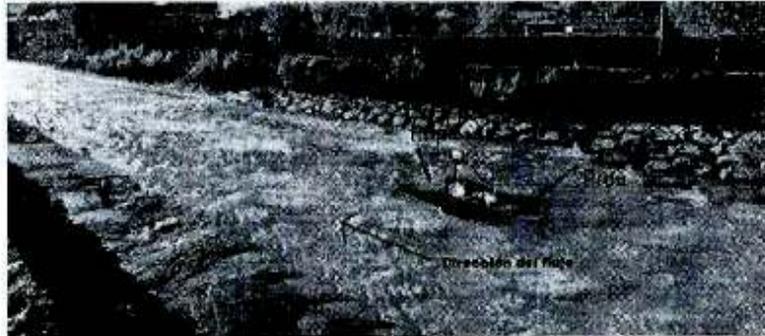
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

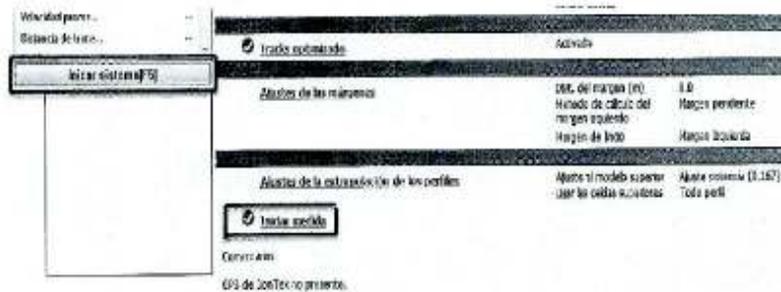
PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01

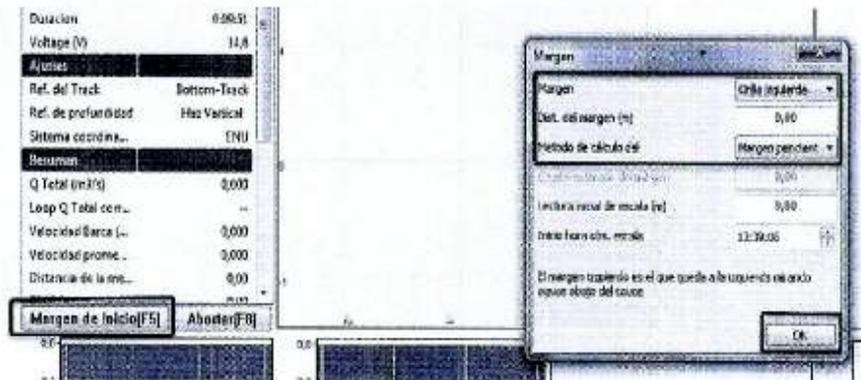


- Una vez el equipo en el agua, iniciar la medida presionando el botón de iniciar medida, la tecla F5 o iniciar sistema.



- Aparecerá la ventana margen inicial. Presionar la pestaña margen inicial o la tecla F5, inmediatamente aparecerá una ventana emergente (margen), colocar los datos del punto de partida los cuales son margen, distancia del margen y método del cálculo del margen. El margen inicial será tomado como izquierda o derecha dependiendo en donde se encuentre el equipo mirando aguas abajo. Presionar OK tal como se muestra en la figura.

 <p>SECRETARÍA DE Ambiente</p>	<b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</b>	<b>PEE/IAM –Q/11</b>
	<b>IAM - Q</b>	<b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b>
		Edición: 01



The screenshot shows the software interface with a list of parameters on the left and a 'Margen' dialog box on the right. The parameters list includes:

- Duración: 0:28:31
- Voltage (V): 14,8
- Ajustes:
  - Ref. del Track: Bottom-Track
  - Ref. de profundidad: Haz Vertical
  - Sistema coordina...: ENU
- Resumen:
  - Q Total (m³/s): 0,00
  - Loop Q Total con...: ..
  - Velocidad Barco (...): 0,00
  - Velocidad promie...: 0,00
  - Distancia de la em...: 0,00

The 'Margen' dialog box has the following settings:

- Margen: Orilla izquierda
- Dist. del margen (m): 0,00
- Método de cálculo del...: Margen percent
- Velocidad mínima (m/s): 0,00
- Velocidad máxima (m/s): 0,00
- Time from obs. error: 11:39:05

Buttons for 'Margen de inicio [F5]' and 'Abortar [F8]' are visible at the bottom of the parameter list.

- Iniciado el proceso, en la orilla inicial se debe tomar por lo menos diez muestras o pings, observar el lado izquierdo de la pantalla ahí se notará el apartado "muestras". Contar 10 pings como mínimo. Siempre tomando en cuenta que el hydroboard debe estar lo más estático como sea posible.

Sistema	
Proceso	Barco móvil
Paso	Margen de inicio (...)
Muestra	1.359
Hora	14:01:44
Duración	0:22:39
Voltage (V)	14,5
Ajustes	
Ref. del Track	Bottom-Track
Ref. de profundidad	Haz Vertical
Sistema coordina...	ENU

- Realizadas las 10 muestras inmediatamente presionar la pestaña Empezar a Mover o la tecla F5.



Secretaría de  
Ambiente

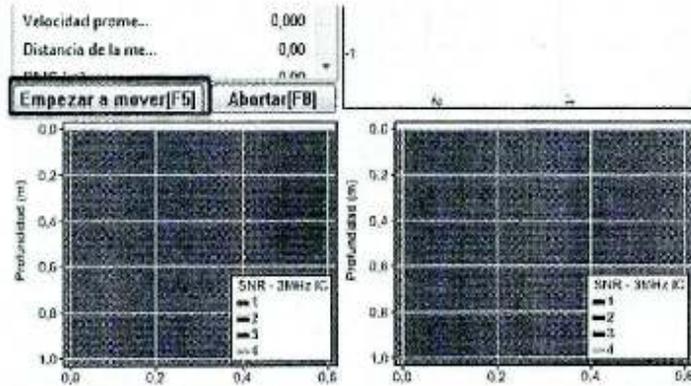
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

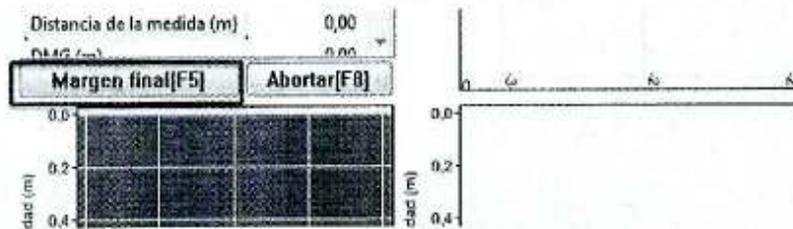
PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01



- Aparece la ventana transecto, aquí mover el hydroboard tratando de mantener una dirección y velocidad constante durante todo el ancho del río. Llevar la plataforma hasta la orilla o margen final.
- Una vez terminado el transecto, presionar la pestaña margen final o F5.

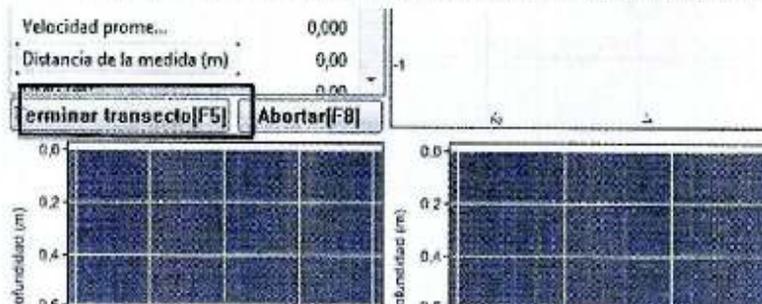


- Aparecerá una ventana emergente (margen) en donde se debe colocar los datos del margen final, introducir los datos y presionar Ok.

 SECRETARÍA DE Ambiente	INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO	<b>PEE/IAM -Q/11</b> <b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b> Edición: 01
	<b>IAM - Q</b>	

Margen	
Margen	Orilla derecha
Dist. del margen (m)	1
Metodo de cálculo del	Margen pendiente
Caudal estimado del margen	0,00
Lectura final de escala (m)	0,00
Final hora obs. escala	15:06:56
El margen izquierdo es el que queda a la izquierda mirando aguas abajo del cauce	
OK	

- Nuevamente contar 10 muestras igual como se hizo en el margen inicial. Teniendo en cuenta que se debe mantener lo más estático posible el Hydroboard. Una vez transcurridas las 10 muestras presionar la tecla F5 o la pestaña terminar transecto.



- Se abrirá una ventana de recopilación de datos en donde se podrá iniciar una nueva medida debido a que el equipo sigue funcionando. Presionar en la pestaña "Margen Inicial" o la tecla F5 o si se desea terminar la medida presionar la pestaña "Abortar" o la tecla F8 en donde aparecerá una ventana de confirmación que quiere terminar la medida.



Secretaría de  
Ambiente

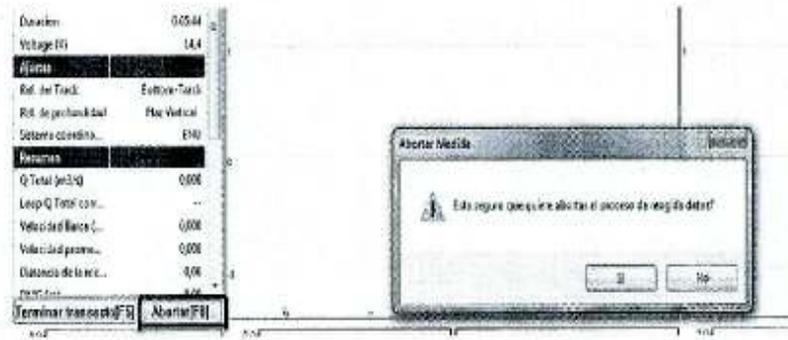
INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y  
MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente  
y Obtención del Perfil de una sección  
Transversal de un río con ADCP

Edición: 01



- Cabe mencionar que en cada río se tomarán 8 medidas, 4 de ida y 4 de vuelta por lo que es importante mencionar que se puede iniciar nuevamente desde el margen final siguiendo los pasos descritos anteriormente.

#### 5.4.8. Descarga de Resultados

Si por algún motivo el ADCP no guarda automáticamente los resultados en la computadora, se debe realizar la descarga de estos de forma manual siguiendo los siguientes pasos:

- Conectar el ADCP a la computadora de forma directa
- Ingresar en el programa
- Dirigirse a la pestaña Sistema
- Presionar descargar todos los archivos, o puede seleccionar los archivos que necesite y descargarlos.
- Verificar que todos los archivos se encuentren guardados en la carpeta Sontek Data en el apartado documentos.



- Regresar al software y dar clic en "Formatear memoria interna". Dar clic en Sí. Este proceso se realiza para la eliminación de datos fantasmas que llenen la memoria del ADP SS.



## 5.5. Tratamiento de resultados

### 5.5.1. Cálculos

Los cálculos para la obtención del caudal y velocidad de corriente el equipo los realiza de manera interna, tomando en cuenta lo dicho anteriormente, la sección transversal de un río se dividirá en tres partes que son: margen inicial, transecto y margen final, además, el transecto se divide en estimación superior, área medida y estimación de fondo.

La suma de todas estas áreas da como resultado el caudal total. Cabe mencionar que solo el área medida, es medida por el ADCP, las otras áreas mencionadas son extrapoladas.

Las velocidades de las áreas extrapoladas se calculan utilizando un método conocido como Extrapolación de velocidad de perfilado. Conocida las velocidades el caudal del transecto se calcula a partir del calado, distancia recorrida y velocidad media del agua.



Secretaría de Ambiente

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO

IAM - Q

PEE/IAM -Q/11

Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP

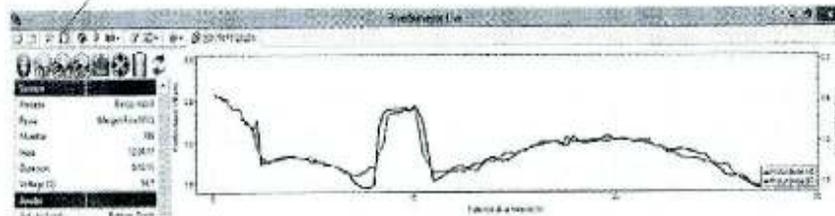
Edición: 01

Para el margen inicial y final el caudal se calcula a partir de una medida de extrapolación de velocidad de perfilado que se desarrolla manteniendo una posición fija del Hydroboard, por eso la importancia de mantenerlo lo más estático posible. Las velocidades se combinarán y formarán una velocidad media utilizando la combinación del calado y velocidad media del perfilado.

Por este motivo el operador no debe realizar ningún cálculo ya que el equipo se encarga de realizarlo.

Para visualizar el resumen de la medida se debe presionar la pestaña "resumen de la medida" ubicada en la parte superior izquierda del programa, así como se muestra en la figura a continuación.

Resumen de medida



Aparecerá una ventana en donde se visualizarán el resumen de cada medida y si se quiere obtener una copia se deberá presionar la pestaña "Resumen de medida de Caudal" en donde se visualizará un resumen más detallado de las medias.

 <p style="text-align: center;"> <b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</b>   <b>IAM - Q</b> </p>	<p style="text-align: center;"> <b>PEE/IAM -Q/11</b>  <b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b>  Edición: 01 </p>
--	--

#### 5.5.Z. Cálculo de la incertidumbre

N/A

#### 5.6. Medidas de seguridad

- Manejar todos los elementos y accesorios del sistema con mucho cuidado y delicadeza, para evitar daños tanto en su estructura como en su funcionamiento.
- Bajo ninguna circunstancia o razón deje caer el equipo, especialmente el ADP S5, el PCM.
- En el momento de realizar el ensamblaje, no realizar una fuerza mayor en las conexiones que pueda dañarlas.
- Cuando esté realizando las mediciones no mojar el computador portátil y se utiliza el teléfono protegerlo con la funda que viene incluida, este no cuenta con un sistema resistente al agua.
- Al instante de insertar las porta-baterías al PCM, cerrar bien las tapas de manera que no entre agua al compartimiento y pueda generar daños irreversibles.
- No debe manejar el equipo sin la supervisión de alguien que tenga conocimientos del uso del RiverSurveyor.
- Verificar que el equipo este asegurado a las líneas de vida de este, antes de meterlo al río.
- Realizar periódicamente limpieza a los elementos del equipo, así prolongara la vida útil de este.
- Cuando se realicen medidas sobre puentes, tomar las medidas necesarias antes de tomar las medias sobre todo en los puentes que no tienen los soportes laterales ya que podrían ocasionar caídas.
- Tomar las medidas necesarias antes de cruzar un río y si el caudal y la velocidad son demasiado fuertes no hacerlo.

#### 5.7. Control de Calidad

Para realizar el control de calidad de las medidas se deberán basar el rango obtenido en el periodo de seis meses de enero a julio los cuales se detallarán a continuación.

 SECRETARÍA DE AMBIENTE	INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO	<b>PEE/IAM - Q/11</b> <b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente          y Obtención del Perfil de una sección          Transversal de un río con ADCP</b> Edición: 01
	<b>IAM - Q</b>	

Río	Sector	Rango de Trabajo(m <sup>3</sup> /s)	Desviación Estándar	CV
Pita	Molinuco	1.109 – 3.961	1.09	0,30
	Santa Teresa	1.633 – 3.875	0.54	0.14
San Pedro	Bocatoma	12.110 – 23.360	3.62	0.21
	Vía Amaguaña	0.889 – 3.713	1.8	0.5

#### 5.8. Criterios de aceptación o rechazo

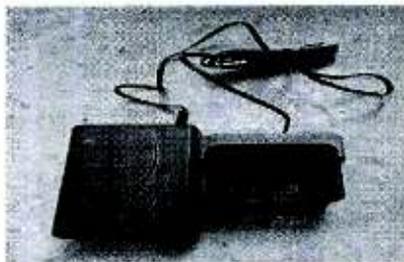
Se tomarán las medidas de caudal cada mes realizadas en cada uno de los puntos y se promediarán. Se obtendrá la desviación estándar y el coeficiente de variación y determinará un rango de trabajo, este se comparará con los valores expuestos en el inciso anterior. Si los valores se encuentran dentro de los rangos la medida será aceptada caso contrario se buscará los datos más alejados de la media y se los desechará o repetirá con el fin de mejorar la calidad de medida.

#### 6. Anexos

A continuación, se muestra una lista de mensajes de error que pueden aparecer:

- Voltaje de la batería del sistema < 12 voltios
- La brújula del sistema no funciona.
- La tarjeta SD (de memoria) del sistema no funciona.
- El sensor de temperatura no funciona.

Para prevenir estos problemas, antes de salir al campo se debe cargar las baterías con el cargador incluido en el equipo.

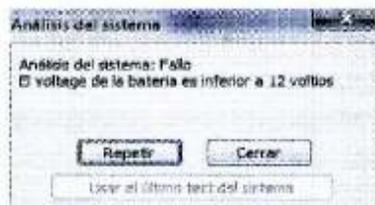


 <p>SECRETARÍA DE Ambiente</p> <p>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO</p> <p>IAM - Q</p>	<p><b>PEE/IAM -Q/11</b></p> <p><b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente y Obtención del Perfil de una sección Transversal de un río con ADCP</b></p> <p>Edición: 01</p>
---	--

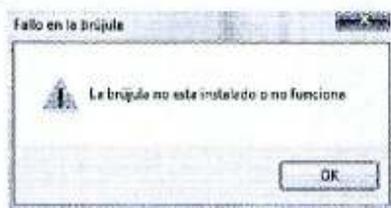
Revisar que memoria interna del ADCP tenga el espacio suficiente para guardar datos de no ser así, borrar las medidas existentes en el perfilador. En el inciso "Descarga de Resultados" se explicará cómo proceder para borrar la memoria interna del equipo.

Si es el caso del sensor de temperatura comunicar al RLAB sobre el problema.

Al momento de realizar las medidas el equipo sufrió un desperfecto, el cual no permitió seguir tomando datos. Cuando se realizaba el Análisis del sistema apareció una ventana con el siguiente mensaje:



Lo que causaba que la brújula del ADCP no sea reconocida y presentaba una ventana con el siguiente mensaje:



Se revisó el estado de las baterías, pero estas estaban cargadas, por lo que se procedió a resetear el equipo. Para realizar este procedimiento ingresar en el programa Utilities ubicada en el escritorio de la computadora (DELL).

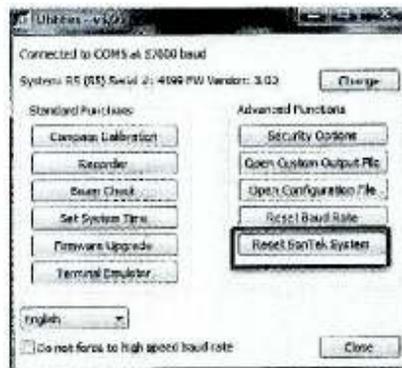


 SECRETARÍA DE AMBIENTE	<b>INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS Y          MONITOREO</b>	<b>PEE/IAM –Q/11</b>
	<b>IAM - Q</b>	<b>Medición de Caudal, Velocidad de Corriente          y Obtención del Perfil de una sección          Transversal de un río con ADCP</b>
		Edición: 01

Ya en el programa se conectó el equipo de la misma forma como se conecta al programa RiverSurveyorLive PC. Seleccionar el puerto COM y la conexión vía antena bluetooth.

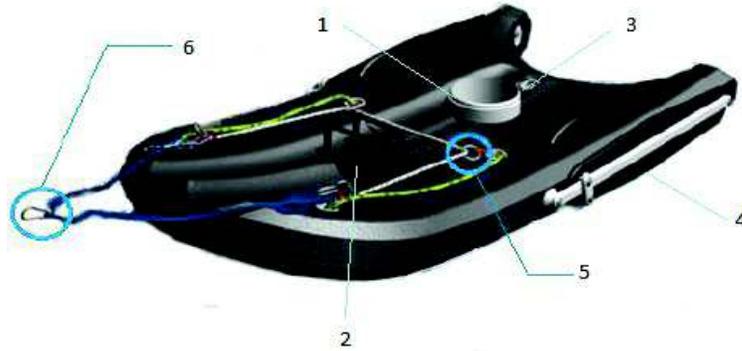


Aparecera una ventana en donde se observan varias opciones, dirigirse a la opción Reset SonTek System.



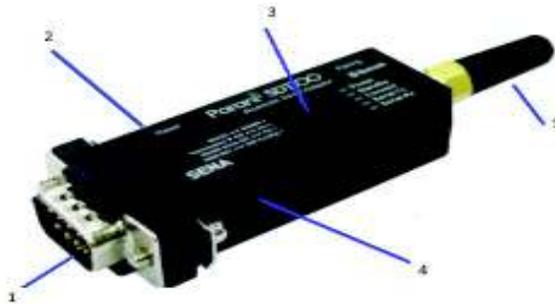
Inmediatamente aparecerá una ventana emergente de confirmación, dar clic en sí. Cabe señalar que antes de realizar este procedimiento se debe descargar todas las medidas recogidas anteriormente ya que se borrarán.

## Anexo II. Identificación del Hydroboard



- 1.- Compartimiento para ADP
- 2.- Compartimiento para PCM
- 3.- Carenado
- 4.- Aletas de estabilidad
- 5.- Anillo de seguridad
- 6.- Arnés

## Anexo III. Identificación Antena Bluetooth Parani SD1000



- 1.- Conector macho de 8 pines
- 2.- Botón de reseteo
- 3.- Swith para cambio de velocidad de frecuencia
- 4.- Conector para cargar la batería del Bluetooth
- 5.- Antena

Anexo IV. Anexo Fotográfico

Río Pita, Molinuco, medidas sobre el río



Río Pita, Santa Teresa



Lugar en donde se encontraba el puente en el sector Santa Teresa



Río San Pedro Bocatoma



Río San Pedro, vía Amaguaña





Río Machángara, hidroeléctrica de en el sector de Tumbaco



Río Monjas



Río Guayllabamba



Toma de datos con el molinete



Anexo V. Cálculos

Determinación de velocidad con molinete, junio

	Distancia (m)			Tiempo(s)
	2,25	4,5	6,75	
Número de vueltas (rev)	77	248	95	40
	76	250	92	40
	75	249	90	40
Promedio	76	249	92,33	

Primer punto

$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{76}{40} = 1,9 \left( \frac{\text{rev}}{s} \right)$$

$$V = K * n + \Delta$$

$$V = 0,25(m) * 1,9 \left( \frac{\text{rev}}{s} \right) + 0,056 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$V_1 = 0,538 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Segundo punto

$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{249}{40} = 6,225 \left( \frac{\text{rev}}{s} \right)$$

$$V = K * n + \Delta$$

$$V = 0,25(m) * 6,225 \left( \frac{\text{rev}}{s} \right) + 0,056 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$V_2 = 1,61 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Tercer Punto

$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{92,33}{40} = 2,308 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right)$$

$$V = K * n + \Delta$$

$$V = 0,25(m) * 2,308 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right) + 0,056 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_3 = 0,633 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Determinación de velocidad con molinete, julio

	Distancia (m)			Tiempo(s)
	2,70	5,40	8,10	
Número de vueltas(rev)	32,00	96	63	40
	37,00	94	65	40
	34,00	100	69	40
Promedio	34,33	96,67	65,67	

Primer punto

$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{34,33}{40} = 0,858 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right)$$

$$V = K * n + \Delta$$

$$V = 0,25(m) * 0,858 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right) + 0,056 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_1 = 0,27 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Segundo Punto

$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{96,67}{40} = 2,417 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right)$$

$$V = K * n + \Delta$$

$$V = 0,25(m) * 2,417 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right) + 0,056 \left(\frac{m}{s}\right)$$

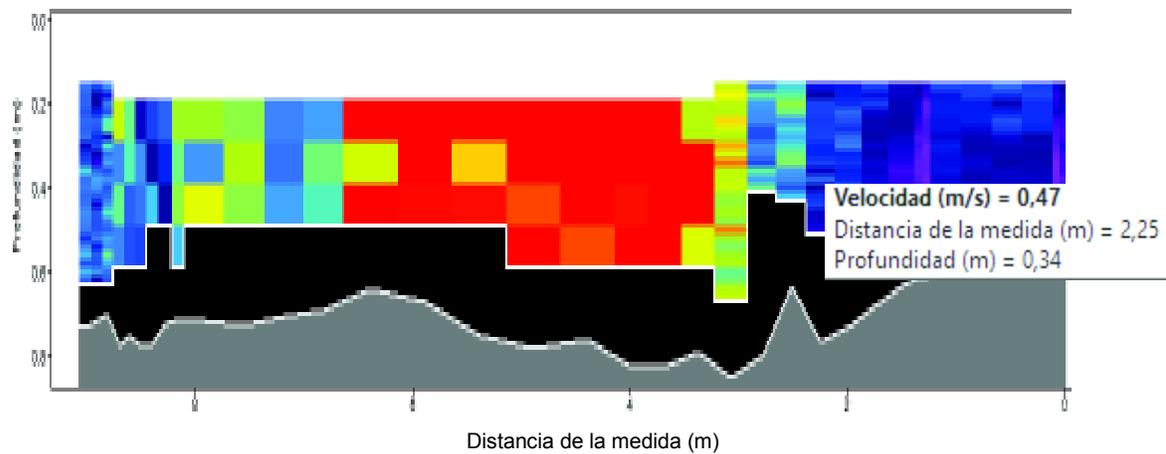
$$V_2 = 0,66 \left(\frac{m}{s}\right)$$

### Tercer Punto

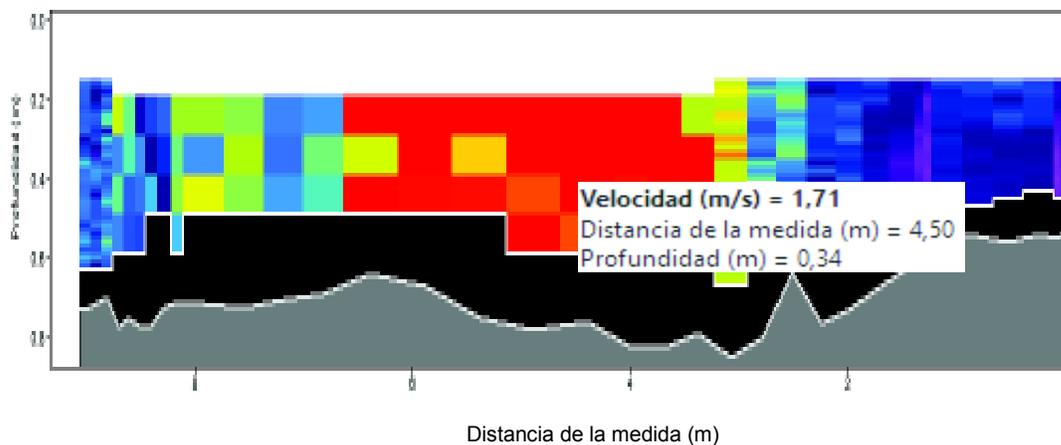
$$n = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{65,66}{40} = 1,642 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right)$$
$$V = K * n + \Delta$$
$$V = 0,25(m) * 1,642 \left(\frac{\text{rev}}{s}\right) + 0,056 \left(\frac{m}{s}\right)$$
$$V_3 = 0,47 \left(\frac{m}{s}\right)$$

### Anexo VI. Velocidades obtenidas con el ADCP, junio y julio

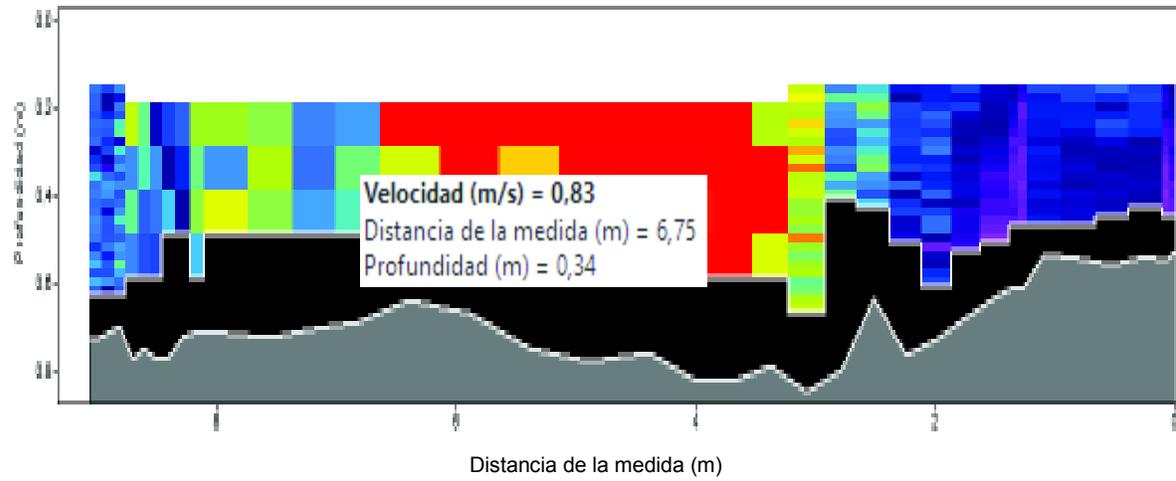
#### Primer punto



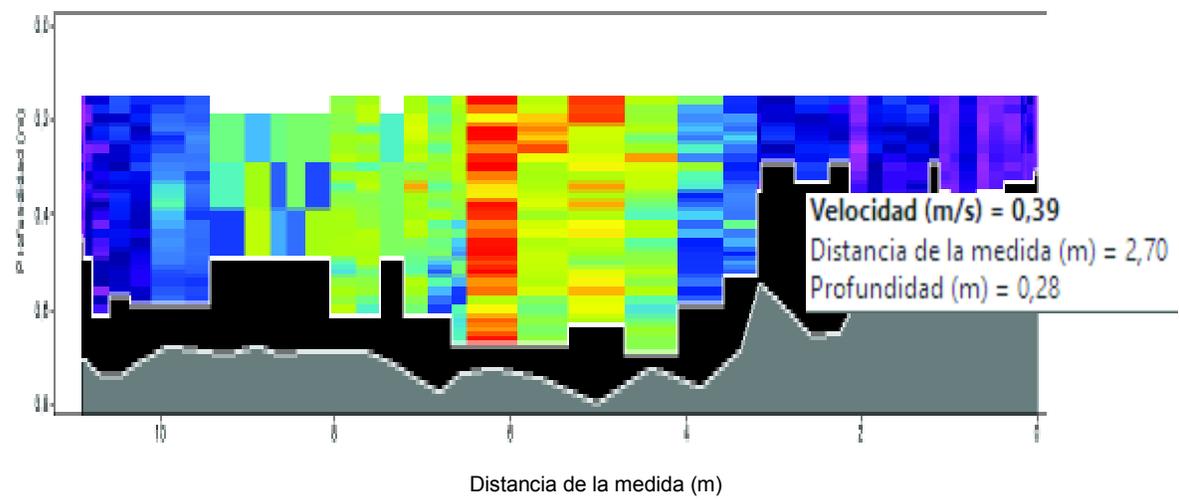
#### Segundo Punto



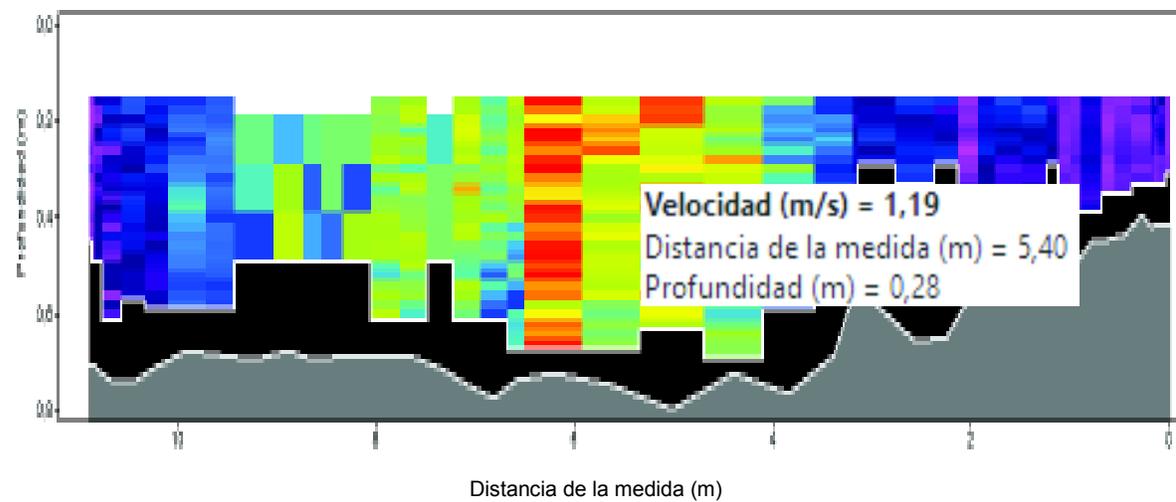
### Tercer Punto



### Primer Punto



### Segundo Punto



### Tercer Punto

