



UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**“ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA
SUBTERRANEA EN EL RÍO CUMBE”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCION
DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

GONZALO ANDRES GUZMAN ORDOÑEZ

TANIA MARICELA VERA PELAEZ

DIRECTOR:

ING. ESTEBAN ALONSO PACHECO TOBAR

TUTOR:

ING. PABLO ISMAEL GUZMAN CÁRDENAS

Cuenca – Ecuador

2013



RESUMEN

El presente proyecto de tesis estudia el intercambio de agua superficial y agua subterránea en el río Cumbe, a través de la medición de caudales en un tramo sin entradas o salidas de flujo. Los métodos para el cálculo de caudales en nueve secciones de aforo determinadas a lo largo del curso del río se realizan de tres maneras, mediante aforos con instrumentos medidores de flujo Molinete, Flowtracker y sensor de nivel. El molinete obtiene el caudal por aplicación de fórmulas en términos de la velocidad media de flujo y sección transversal, el Flowtracker tiene un sistema que calcula directamente el caudal. El sensor de nivel en la sección de control, obtiene el caudal por aplicación de fórmulas o por el análisis de series de datos de nivel de agua. Los valores de caudales se comparan de manera espacial y temporal. De acuerdo a la variabilidad entre caudales el río presenta las dos condiciones de intercambio, gana caudal en algunas secciones y pierde en otros. El tramo de estudio presenta dos valores de coeficiente de rugosidad, el primero de 0.021 que corresponde a las primeras siete secciones y 0.033 para las dos últimas debido a que presentaban diferencias en la composición y presencia de vegetación.

PALABRAS CLAVES:

Río cumbe, intercambio de agua, Flowtracker, molinete, coeficiente de rugosidad.



ABSTRACT

This thesis studies the exchange of surface water and groundwater in the river Cumbe through flow measurement in a stretch without inflow and outflow. The methods for calculating flow into nine sections of measurements determined along the river course are made in three ways, through measuring instruments of flow: molinete, Flowtracker and level sensor. The Molinete obtains the flow by applying formulas in terms of the average flow velocity and cross-section. The Flowtracker has a system that directly calculates the flow. The level sensor in the control section, obtains the flow by applying formulas or series analysis of water level data. Flow values are compared in spatial and temporal way. According to the variability between flows, the river presents the two conditions of exchange, wins flow in some sections and loses it in others. The studied stretch presents two values of a roughness coefficient, the first of 0.021 that corresponds to the first seven sections and 0.033 for the last two, due to the differences presented in the composition and presence of vegetation.

Key words:

River Cumbe, exchange of water, Flowtracker, Molinete, roughness coefficient



CONTENIDO

D RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
CONTENIDO.....	4
DEDICATORIA.....	13
AGRADECIMIENTOS	13
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.1 JUSTIFICACIÓN	17
1.2 ALCANCE	18
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1.4 HIPOTESIS:	18
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO.....	19
2.1 FLUJO EN CANALES NATURALES.....	19
2.2 ECUACIONES DE FLUJO	21
2.2.1. Influencia de la sección transversal en la velocidad del flujo	21
2.2.2. Medición de velocidad y determinación de caudal en canales naturales	22
2.2.3. Análisis de la resistencia al flujo o coeficiente de rugosidad del canal.....	23
2.3 RELACIÓN NIVEL VERSUS DESCARGA.....	28
2.4 VARIACIÓN DE FLUJO A LO LARGO DE UN CAUCE NATURAL	30
2.4.1 Interacción entre el agua subterránea y el agua superficial.....	30
2.5 ZONA HIPORREICA	32
2.6 FLUJO EN LA ZONA HIPORREICA	33
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y METODOS	34
3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
3.2 CLIMA	36
3.3 IDENTIFICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	36
3.5.1. Tramo de Estudio del Río Cumbe.....	36
3.5.2. Secciones de Aforo.....	36



3.4	INSTRUMENTACIÓN	46
3.8.1.	Flowtracker (SonTek).....	46
3.8.2.	Molinete	47
3.8.3.	Sensores de Nivel.....	47
3.5	AFOROS	48
3.5.1	Aforo con Flowtracker	49
3.5.2	Aforo con Molinete	49
3.5.3	Determinación de Caudales mediante la medición de nivel.....	51
3.6	COMPARACION DE METODOS DE MEDICION DE VELOCIDAD (CAUDAL), MOLINETE Y FLOWTRACKER	53
3.7	ESTUDIO DE RUGOSIDAD DEL CAUCE NATURAL RÍO CUMBE	53
3.7.1	Granulometría.....	53
3.8	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA.....	56
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		58
4.1	CAUDALES EN LAS SECCIONES DE AFORO	58
4.1	VALIDACIÓN DE MÉTODOS.....	60
4.2	ESTIMACION DE CAUDALES SE LA SECCIÓN DE CONTROL.....	62
4.3	COMPARACIÓN CON LOS CAUDALES DE LOS VALORES PROCESADOS.....	63
4.3.1	Análisis Temporal	63
4.3.2	Análisis Espacial.....	66
4.4	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....	70
4.4.1	Granulometría.....	70
4.5	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	73
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....		75
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXOS		80
ANEXO 1. RESUMEN DE LOS CAUDALES DE LA CAMPAÑA DE AFOROS ..		80
ANEXO 2. ANALISIS GRANULOMETRICO		96



INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Flujo Uniforme permanente..... 20

Figura 2. 2. Flujo uniforme no permanente. 20

Figura 2. 3. Flujo rápidamente variado..... 20

Figura 2. 4. Flujo gradualmente variado..... 20

Figura 2. 5. Flujo variado adaptado de (Ven Te Chow, 1994)..... 20

Figura 2. 6. Curvas de velocidad en diferentes secciones transversales (Ven Te Chow, 1994)..... 21

Figura 2. 7. Gráfico de la relación nivel-caudal (descarga) (Hudson, 1997). ... 29

Figura 2. 8. Hidrograma obtenido a partir de la curva de descarga (Carvajal, 2000)..... 30

Figura 2. 9. Esquema de una corriente que gana flujo (Ramírez et al., 1997). 31

Figura 2. 10. Esquema de una corriente que pierde flujo (Ramírez et al., 1997).
..... 31

Figura 2. 11. Modelo descriptivo de la zona hiporréica (Williams, 1993). 33

Figura 3. 1. Ubicación de la microcuenca de estudio..... 34

Figura 3. 2. Mapa de Pendientes de la cuenca del Río Cumbe. 35

Figura 3. 3. Zona de estudio y secciones de aforo..... 37

Figura 3. 5. Flowtracker..... 46

Figura 3. 6. Partes del Flowtracker. 46

Figura 3. 7. Molinete 47

Figura 3. 7. Sensor de Nivel, WL16U-015-025..... 48

Figura 3. 8. Línea de referencia 49

Figura 3. 9. Aforo con Molinete 50

Figura 3. 10. Sección de control..... 51

Figura 3. 11. Prueba de canal de Laboratorio-Molinete y Flowtracker. 53

Figura 3. 12. Secciones de Aforo. 54

Figura 3. 13. Serie de tamices- árido grueso y árido fino..... 54

Figura 3. 14. Clasificación del suelo a partir de la Curva Granulométrica (Das, 2008)..... 55



INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Clasificación del Suelo a partir del método de la SUCS (Das, 2001).	56
Tabla 3. 2. Permeabilidad Relativa en Función del Suelo (Barbecho and Calle, 2012).	57
Tabla 3. 4. Valores estimado de Conductividad por varios autores (Barbecho and Calle, 2012).	57
Tabla 4. 1. Caudales máximos, mínimos y promedios de los aforos.	58
Tabla 4. 2. Obtención de Caudal corregido.....	61
Tabla 4. 3. Valores de los diámetros efectivos de cada muestra	71
Tabla 4. 4. Coeficiente de uniformidad y curvatura.	71
Tabla 4. 5. Coeficientes de rugosidad.....	72
Tabla 4. 6. Valores de los factores de la ecuación de Cowan.....	73
Tabla 4. 8. Rango de Valores de Conductividad Hidráulica (Barbecho and Calle, 2012).	74

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Caudales Aforados en la Secciones uno, dos y tres.....	58
Gráfico 4. 2. Caudales Aforados en la Sección 4 y 5.....	59
Gráfico 4. 3. Caudales Aforados en la Sección 6 y 7.	59
Gráfico 4. 4. Caudales Aforados en la Sección 8 y 9.	59
Gráfico 4. 5. Ensayos y caudales realizados en el canal de laboratorio.	60
Gráfico 4. 6. Relación de caudales, prueba en canal de Laboratorio.....	60
Gráfico 4. 7. Correlación entre el las alturas de la sección de control y el caudal aforado.....	61
Gráfico 4. 8. Hidrograma de Caudales de la Sección de Control y datos de lluvia.	62
Gráfico 4. 9. Caudales medidos en la sección 1 y 2, durante el tiempo de aforos.	63
Gráfico 4. 10. Caudales de aforo de la sección 2 y 3.....	64
Gráfico 4. 11. Caudales de aforo sección de control y sección siete.	65
Gráfico 4. 12. Secciones de Aforo ocho y nueve.	65
Gráfico 4. 13. Caudales aforados en la sección 1 y caudales de la sección de control.	66
Gráfico 4. 14. Caudales aforados en la sección 2 y caudales de la sección de control.	67
Gráfico 4. 15. Caudales aforados en la sección 3 y caudales de la sección de control.	68
Gráfico 4. 16. Caudales aforados en la sección 5 y caudales de la sección de control.	68



Gráfico 4. 17. Caudales aforados en la sección 7 y caudales de la sección de control. 69

Gráfico 4. 18. Caudales aforados en la sección 8 y caudales de la sección de control. 69

Gráfico 4. 19. Caudales aforados en la sección 9 y caudales de la sección de control. 70

Gráfico 4. 20. Curvas Granulométricas 70

Gráfico 4. 21. Perfil longitudinal entre las secciones de aforo uno a siete. 72

Gráfico 4. 22. Perfil de las secciones de aforo ocho y nueve..... 73



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, TANIA MARICELA VERA PELAEZ, autor de la tesis "ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RÍO CUMBE", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, Octubre del 2013

Tania Maricela Vera Peláez

1400731269

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, GONZALO ANDRÉS GUZMÁN ORDOÑEZ, autor de la tesis "ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RÍO CUMBE", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre del 2013

Gonzalo Andrés Guzmán Ordoñez

0105179667

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, GONZALO ANDRÉS GUZMÁN ORDOÑEZ, autor de la tesis "ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RÍO CUMBE", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, Octubre del 2013

Gonzalo Andrés Guzmán Ordoñez

0105179667

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, TANIA MARICELA VERA PELAEZ, autor de la tesis "ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RÍO CUMBE", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre del 2013

Tania Maricela Vera Peláez

1400731269

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, abuelos y amigos, en especial a mi madre, abuelos y Franklin quienes con su presencia, amor y apoyo incondicional, ayudaron a cumplir una meta más en mi vida.

Tania Vera

A mi madre por estar ahí incondicionalmente en todos los momentos y situaciones que atravesé en la vida Universitaria y hasta el día de hoy me sigue apoyando. A mi padre por estar ahí brindándome la palabra exacta y el consejo preciso para tomar las decisiones. A mis hermanos, los cuales han estado ahí para escucharme y que con sus ocurrencias hemos pasado momentos que son difíciles a olvidar. A toda mi familia que directa o indirectamente me ha apoyado en todo momento y a mis amigos con los que he pasado estos años, y hemos compartido momentos de alegría más de una vez.

Gonzalo Guzmán



AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios por haber llenado de sabiduría nuestras vidas y mostrarnos el camino correcto.

Y a todos lo que hicieron posible la realización de la presente tesis de grado: Al Ingeniero Pablo Guzmán tutor de la tesis por su apoyo incondicional al desarrollo de este trabajo con sus amplios conocimientos.

Al personal del PROMAS quienes estuvieron dispuestos a prestar ayuda en todo momento, en especial al Ingeniero Oscar Morales por sus comentarios, sugerencias y tiempo brindado, siendo estas de gran aporte y utilidad.

Al Ingeniero Esteban Pacheco, director de la tesis quien respaldó el trabajo y nos brindó una mano en todo momento.

Tania y Gonzalo



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El agua es esencial para la supervivencia de todas las formas de vida; llegándose a considerar como un recurso invaluable para el ser humano.

El ciclo del agua o también llamado ciclo hidrológico es el que controla el clima en el planeta y este se encarga de destilar agua, es un sistema circulatorio de agua en toda la biósfera. Se denomina ciclo hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Cotler, H. et al., 2006).

El agua se encuentra almacenada en océanos, lagos, ríos, aguas subterráneas, casquetes polares, y la atmósfera. La distribución del agua sobre la superficie terrestre es muy variable. Según Shiklomanov (1999), existe alrededor de 1,386 millones de kilómetros cúbicos de agua que representa el 97.5%, alrededor de 1,351 millones de kilómetros cúbicos corresponden a agua salada acumulada en los océanos y solamente el 2.5% por ciento es agua dulce, alrededor de 34.650 millones de kilómetros cúbicos. El 68.7% de esta pequeña porción se encuentra en forma de hielo en la Antártida, en el Ártico y en las montañas nevadas del mundo, aproximadamente 23.800 millones de kilómetros cúbicos. Un 29.9% se encuentra en un manto acuífero en forma de agua subterránea, unos 10.360 millones de kilómetros cúbicos. Únicamente un 0.26% (490 kilómetros cúbicos) del total de agua dulce existente se encuentra en cuerpos superficiales como ríos, lagos, presas de almacenamiento.

Los ríos juegan un rol de extrema importancia entre los componentes del ciclo hidrológico no solo por el volumen de agua dulce que conducen y por su ramificación sobre la superficie terrestre, sino también por su alta dinámica de renovación, lo que los vuelve los recursos acuáticos renovables más importantes del ciclo hidrológico (Toledo, 2006).



Según Toledo (2006), existen tres clases de flujos que caracterizan el movimiento del agua al llegar a la superficie terrestre: superficial, subsuperficial y subterráneo. El flujo superficial se da cuando la capacidad de infiltración del suelo es excedida por la cantidad de agua que llega a la superficie. En el flujo subsuperficial, el agua fluye a través del suelo y es confinada cerca de la superficie, es el flujo aprovechado por las plantas y se produce tanto en condiciones saturadas como no saturadas; el flujo subterráneo se desarrolla normalmente en condiciones de saturación del suelo. El régimen de las aguas superficiales y subsuperficiales está determinado por la precipitación, la evapotranspiración, el relieve, el suelo, el sustrato geológico y los patrones de cobertura vegetal y usos del suelo. Las proporciones relativas de los flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos determinan la configuración hidrológica de una cuenca.

Hidrológicamente, los flujos de aguas superficiales y aguas subterráneas se encuentran estrechamente interconectados. Los ecosistemas de aguas subterráneas dependen de las transferencias energéticas de las aguas superficiales en forma de materia orgánica disuelta y viceversa.

El agua subterránea cumple una parte esencial en el ciclo hidrológico por su contribución a los caudales de los ríos, manantiales, lagos, humedales y estuarios, tiene un papel importante en muchos procesos geológicos, además es un solvente activo por lo que el flujo subterráneo actúa como un vehículo en el transporte de nutrientes y contaminantes (Custodio, 2000; Younger, 2009).

La descarga de agua subterránea a los ríos o flujo base, proporciona el caudal que usualmente mantiene en períodos secos un flujo permanente en los ríos. El aporte de agua subterránea depende de las fluctuaciones del nivel del agua subterránea (nivel freático). Para que el agua subterránea descargue en el río, la altura del nivel freático del río debe ser mayor que la altura de la superficie del agua del río. El intercambio de flujo puede variar a lo largo de un río, existiendo algunos tramos en los que gane caudal y otros tramos de río que pierda parte de su caudal (Herraiz, 2009). El intercambio entre el flujo



subterráneo y el flujo superficial (río) se genera en la zona hiporréica, zona importante por los procesos hidrológicos y químicos.

Bencala (2000), indicó que la zona hiporréica, es parte de la continuidad hidrológica entre ríos y varios componentes del agua del subsuelo en una cuenca. La fluctuación en la zona hiporréica influye fuertemente en la composición de nutrientes y contaminación, tanto en el río como en el acuífero (Triska et al., 1989). El interés de investigación implica la necesidad de determinar el intercambio bidireccional de agua, entre el río y el agua subterránea en el río Cumbe ubicado en la microcuenca del mismo nombre que forma parte de la subcuenca del río Tarqui.

En la microcuenca del Río Cumbe, la Universidad de Cuenca a través del “Programa VLIR-IUC¹”, ha implementado una serie de acciones para investigar el funcionamiento hidrológico de la microcuenca de la cual se considera a las aguas subterráneas como un componente importante. Así, se ha llevado a cabo acciones de monitoreo en: lluvia, clima, caudales, niveles piezométricos, temperatura de agua, calidad de agua, etc.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La investigación propuesta se enfoca en el estudio del intercambio de agua superficial y agua subterránea en el Río Cumbe. Es importante saber la influencia que presenta este intercambio de flujos en el río, siendo que el intercambio puede ser del río al flujo subterráneo o viceversa, la importancia radica a más de los procesos eco-sistémicos de la zona hiporréica en el impacto que puede tener en la calidad del agua subterránea o acuíferos principalmente porque el Río Cumbe es el receptor de todas las aguas servidas del pueblo del mismo nombre, pero también es considerable la posibilidad de depuración del río durante este intercambio.

El saber el tipo de intercambio de flujo que está ocurriendo nos permitiría cuantificar el probable volumen de intercambio.

¹ Programa VLIR-IUC, Programa de Cooperación Institucional Universitario (IUC); Consejo de Universidades Flamencas (VLIR)



1.2 ALCANCE

El presente proyecto de tesis es un estudio explorativo del intercambio de agua superficial y agua subterránea en el río Cumbe, a través de la medición de caudales en una zona sin entradas o salidas de flujo. En este estudio nos permitirá cuantificar aproximadamente el volumen de intercambio, en la mencionada zona.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar la existencia del intercambio de agua superficial y agua subterránea en el río Cumbe, a través de la medición de caudales en puntos previamente determinados a lo largo del curso del río, incluyendo una sección de control, lo cual permitiría comparar los caudales de manera temporal y espacial con las otras secciones.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar y cuantificar las zonas de intercambio y flujo de ganancia o pérdida en el cauce del Río Cumbe, mediante la medición de caudales en secciones sucesivas
2. Caracterizar las secciones, mediante la determinación del coeficiente de rugosidad.
3. Identificar la conveniencia de diferentes métodos de medición de caudales (Flowtracker, medidor de flujo-molinete).

1.4 HIPOTESIS:

Es posible determinar el intercambio del agua superficial con el agua subterránea en un determinado tramo en el río Cumbe, el cual no presenta incremento o disminución de flujo debido a aporte o extracción externa, utilizando equipos de aforo.



CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1 FLUJO EN CANALES NATURALES

Se denomina canal natural a todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra como: arroyuelos, arroyos, ríos, estuarios de mareas, entre otros. Las corrientes subterráneas que circulan con una superficie libre también son consideradas como flujo en canales abiertos, con formas irregulares las corrientes naturales.

El flujo de agua en un canal abierto se caracteriza por la superficie libre sometida a la presión atmosférica. Las condiciones del flujo en canales abiertos, están sometidas a cambio debido a la variación espacial y temporal de la superficie libre.

Existen muchos criterios para clasificar el flujo en canales abiertos. Si se toma como criterio el cambio de la profundidad de flujo respecto al tiempo, el flujo se clasifica en permanente y no permanente. El flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no varía con el tiempo; El flujo es no permanente si la profundidad varía con el tiempo. Si se toma como criterio el cambio de la profundidad de flujo respecto al espacio, el flujo se clasifica en uniforme y variado; este tipo de flujo puede ser permanente y no permanente según cambie la profundidad con respecto al tiempo. Existe una subdivisión del flujo variado según la velocidad de cambio de la profundidad de flujo con respecto a la distancia en la que este cambio se produce, si el cambio de profundidad se da de manera abrupta a una distancia relativamente corta el flujo es rápidamente variado, ejemplos de este flujo son fenómenos locales tales como resaltos y caídas hidráulicas y si la distancia es larga este es gradualmente variado (Streeter and Wylie, 2000; Ven Te Chow, 1994).

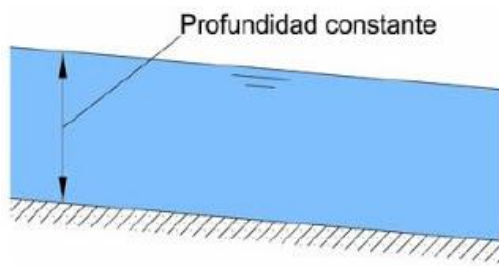


Figura 2. 1. Flujo Uniforme permanente.

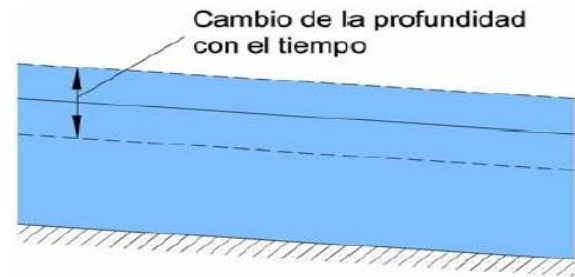


Figura 2. 2. Flujo uniforme no permanente.

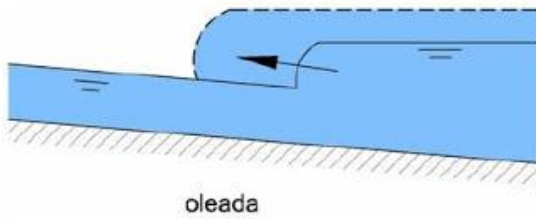


Figura 2. 3. Flujo rápidamente variado.



Figura 2. 4. Flujo gradualmente variado.

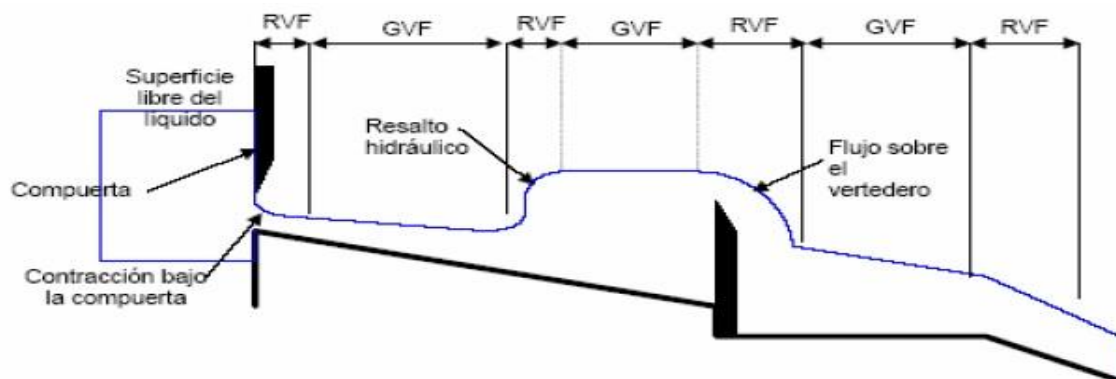


Figura 2. 5. Flujo variado adaptado de (Ven Te Chow, 1994).

Por otro lado, el estado o comportamiento del flujo está gobernado por la relación de los efectos de viscosidad y de gravedad con las fuerzas inerciales del flujo. La relación del efecto de viscosidad con la inercia permite clasificar al flujo en laminar, turbulento o transicional. Si las fuerzas viscosas son más grandes que las fuerzas inerciales el flujo es laminar, en este tipo de flujo las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente. Si las fuerzas viscosas son más pequeñas que las fuerzas inerciales el flujo es turbulento, entre los estados de flujo laminar y turbulento se origina el estado mixto o transicional (Ven Te Chow, 1994).

2.2 ECUACIONES DE FLUJO

La determinación del flujo en canales abiertos requiere conocer las características geométricas del canal como son la pendiente y la sección transversal, y las características intrínsecas del flujo como la velocidad con la que fluye el agua.

2.2.1. Influencia de la sección transversal en la velocidad del flujo

Las secciones de canales naturales al contrario de los artificiales son muy irregulares, caracterizada por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Debido a la presencia de una superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en el canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales ocurre generalmente debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad (Ven Te Chow, 1994). En la Figura 2.6 se ilustran algunas curvas de velocidades para canales con diferentes secciones transversales.

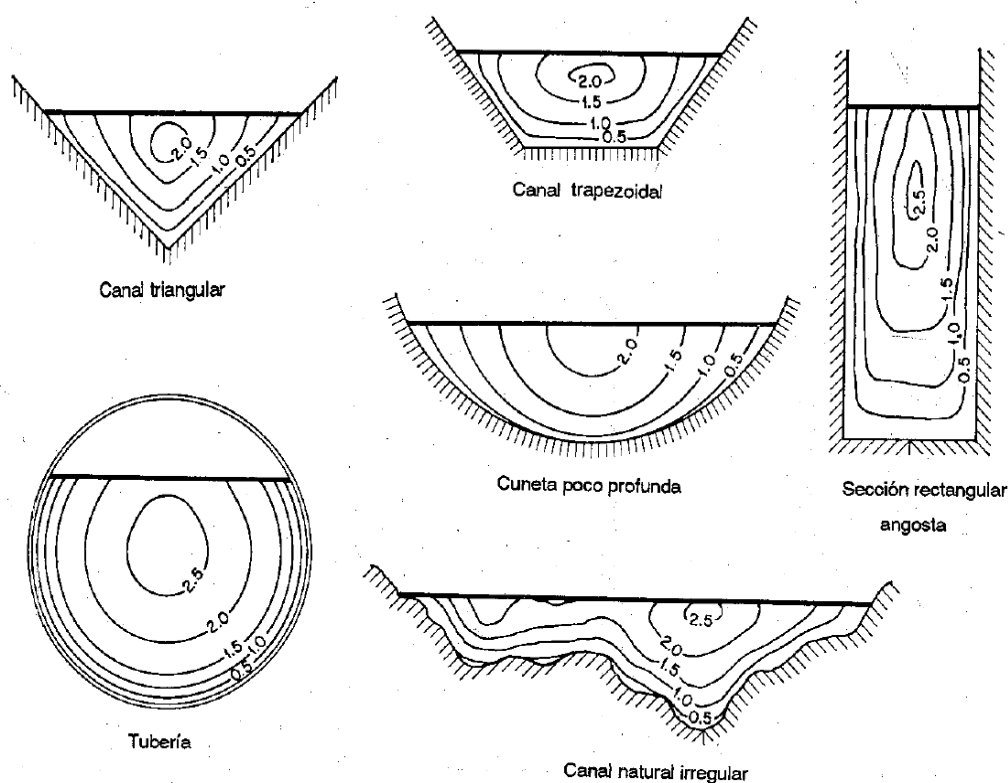


Figura 2. 6. Curvas de velocidad en diferentes secciones transversales (Ven Te Chow, 1994).



2.2.2. Medición de velocidad y determinación de caudal en canales naturales

La velocidad del agua en una sección puede ser medida con diferentes equipos como molinetes, micro molinetes, equipos computarizados modernos como el Flowtracker, trazadores líquidos o sólidos, flotadores etc.

El caudal de agua puede ser calculado en términos de la velocidad media de flujo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = vA \quad (2.1)$$

Dónde Q es el caudal de agua, v es la velocidad media de agua en la sección y A es el área de la sección transversal. Si el flujo es continuo, el caudal constante a través del tramo de canal considerado, a partir de la ecuación 2.1, se tiene la ecuación de la continuidad para flujo continuo y permanente.

$$Q = v_1A_1 = v_2A_2 = \dots \quad (2.2)$$

Para la medición de la velocidad de acuerdo con el procedimiento de aforo de corrientes, se divide la sección transversal en franjas verticales sucesivas y las velocidades medidas en las verticales se determinan midiendo la velocidad a 0.6 de la profundidad en cada vertical. La velocidad multiplicada por el área entre la vertical da el caudal y la suma de todos los caudales a través de todas las franjas es el caudal total (Ven Te Chow, 1994).

La velocidad se puede medir de varias maneras en una vertical:

- a) Velocidad media en un punto: se emplea cuando la profundidad del agua es pequeño o hay mucha vegetación.

$$V_{media} = V_{0.6} \quad (2.3)$$

- b) Velocidad media en dos puntos:

$$V_{media} = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \quad (2.4)$$

- c) Velocidad media en tres puntos:



$$V_{media} = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3} \quad (2.5)$$

Dónde:

$V_{0.2}$ = Velocidad medida a 0.2 de la profundidad, con respecto a la superficie.

$V_{0.6}$ = Velocidad medida a 0.6 de la profundidad, con respecto a la superficie.

$V_{0.8}$ = Velocidad medida a 0.8 de la profundidad, con respecto a la superficie.

En la distribución de velocidades intervienen otros factores como son la rugosidad del canal, la presencia de curvas y la forma inusual de la sección.

2.2.3. Análisis de la resistencia al flujo o coeficiente de rugosidad del canal.

La resistencia al flujo se debe a la resistencia que produce la forma y tamaño del material del cauce, bancos de arena, obstrucciones, vegetación y transporte de sedimentos. Las velocidades de flujo varían desde una máxima cerca a la superficie libre a cero en las paredes. Según Ven Te Chow, (1994) a menudo el único factor considerado para determinar n de Manning, son el tamaño de la partículas que forman la superficie de contacto con el lecho.

Las ecuaciones de flujo más comúnmente usadas y que consideran de manera explícita el concepto de un coeficiente de resistencia:

Ven Te Chow, (1994) trató al flujo uniforme con la fórmula de Chézy como:

$$v = C R S^{1/2} \quad (2.6)$$

Dónde:

V = es la velocidad media [m/s];

R = radio hidráulico [m];

S = pendiente de la línea de energía [m/m].

C = factor de resistencia al flujo.



Luego analizó la determinación del factor de resistencia al flujo, realizando comparaciones de los resultados que obtuvieron Bazin y Kutter. La fórmula de Manning, es presentada como:

$$v = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (2.7)$$

en unidades métricas. Esta fórmula se determinó según datos experimentales de Bazin.

Darcy-Weisbach:

$$v = \frac{8gRS^{1/2}}{f} \quad (2.8)$$

Donde f es el factor de fricción de Darcy-Weisbach.

No existe un método exacto para la determinación del coeficiente de rugosidad n , además el valor de n depende de muchos factores entre las cuales se encuentran según Ven Te Chow (1994):

- Rugosidad Superficial

La rugosidad superficial depende del tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo; así un material fino produce valores de n bajos, que mayormente no se ven afectados por cambios en el calado, y un material más grueso como gravas o piedras producen valores más altos de n , sobre todo en calados bajos. En corrientes aluviales, en las cuales el material es fino, como arena, arcilla y limos provocan menor rugosidad. Cuando el material consta de gravas y cantos rodados se acumulan en el fondo provocando mayor rugosidad en sus paredes, e incrementado el valor de n sobre todo en calados bajos. En calados altos una parte de la energía del flujo se utiliza para mover las gravas y cantos rodados del fondo, este gasto de energía provoca un incremento de n .



– Vegetación

La presencia de vegetación reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo, este efecto depende de la altura de agua, densidad y distribución y del tipo de vegetación, esto influencia el valor de n .

– La irregularidad del canal

Hace referencia a las variaciones en las secciones transversales de un canal (forma, tamaño y perímetro mojado) a lo largo del canal. En canales naturales estas variaciones se deben a depósitos de sedimento, bancos de arena, crestas de presiones, fosas y montículos en el lecho del canal. Estas irregularidades producen rugosidad adicional.

– Alineamiento del canal

Curvas bruscas con meandros severos incrementan n , no así en curvas de radios mayores. El incremento del valor de n en una magnitud de 0.002 o 0.003 es una consideración adecuada en la mayor parte de canales con curvas pronunciadas, y puede inducir la acumulación de material flotante. En corrientes naturales, la presencia de meandros, pueden incrementar el valor de n hasta en un 30%.

– Sedimentación y socavación

Los procesos de sedimentación pueden producir cambios en un canal muy irregular en un canal moderadamente uniforme y disminuir n ; mientras tanto la socavación produce un incremento en el valor de n , esto dependerá mucho de la naturaleza del material.

– Obstrucción

Obstrucciones como troncos de árboles, desechos, pilotes de puentes, derrumbes, etc. producen cambios en el valor estimado de n , el grado de variación debido a las obstrucciones depende de la naturaleza, número, forma, tamaño y distribución de las mismas.



– Nivel del agua y Caudal

El valor de n disminuye con el incremento en el nivel y caudal de agua. El calado, las irregularidades del fondo y si están cubiertas de pastos hacen que varíe el valor de n .

– Cambio Estacional

Plantas acuáticas, hierbas y árboles presentes en el canal crecen en mayor o menor medida de acuerdo a las estaciones, la velocidad de este crecimiento produce cambios en el valor de n y estos cambios pueden producir variaciones en otros factores.

– Material en suspensión y carga de lecho

El material en suspensión y la carga de lecho ya sea en movimiento o no, consume energía y causa pérdida de altura e incrementa la resistencia al flujo. La resistencia de grano representa la rugosidad del lecho del canal que produce pérdidas de energía resultante de la fricción entre el agua y cada una de las partículas del lecho.

Cowan (1956), desarrollo un procedimiento para estimar el valor de n . El valor de n puede calcularse mediante siguiente expresión:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (2.9)$$

El coeficiente de rugosidad es determinado para cada subsección de todas las secciones transversales, y luego se compone un valor. En esta ecuación, n_b es el valor base para canales uniformes, que depende básicamente del material que constituye el canal, en materiales naturales (0.028 - 0.70 para lechos de grava); n_1 es un factor de corrección para las irregularidades de los lados (0.0 - 0.02); n_2 corrige las variaciones de forma y tamaño de las secciones transversales del canal (0.0 - 0.015); n_3 es un valor que evalúa obstrucciones en el canal o sección de flujo como depósitos de basura (0.0 - 0.05); n_4 es un valor para la vegetación y condiciones de flujo (0.002 - 0.1), y m es un factor que evalúa las características de sinuosidad del canal y meandros (1.0 - 1.30).



Los componentes de la ecuación (2.9) pueden ser estimados visualmente usando las descripciones de Arcement and Schneider, (1989).

Limerinos, (1970) relaciona n con el radio hidráulico y el tamaño de la partícula, en canales con bajas pendientes hasta 0.024 y con gravas pequeñas a boleos medianos (d_{84} de 75 a 2 cm; R/d_{84} de 47.2 a 0.9 m); y caudales entre 5.62-427 m³/s.

$$n = \frac{0.1129R^{0.167}}{1.16+2\log \frac{R}{d_{84}}} \quad (2.10)$$

En donde d_{84} es el diámetro intermedio de una partícula que iguala o excede al 84% de partículas (m), R es el radio hidráulico (m).

Bathurst, (2002) también relaciona el tamaño de las partículas con el radio hidráulico para la obtención de n . En canales de gradientes pequeñas (0.004 - 0.04) y con diámetros de partículas (d_{84} de 0.113 a 0.74 cm; $R/d_{84} < 10$) y descargas entre 0.14-195 m³/s.

$$n = \frac{0.3193R^{0.167}}{5.62\log \frac{R}{d_{84}} + 4} \quad (2.11)$$

Otras fórmulas empíricas se han desarrollado para la determinación del coeficiente de rugosidad (n de Manning). Strickler (1923) define n de Manning como función del tamaño de la partícula:

$$n = 0.047 D_{50}^{1.6} \quad (2.12)$$

En donde D_{50} representa el diámetro en metros de la arena uniforme usada en la realización del estudio (Simons and Sentürk, 1992).

El estudio de Strickler motivo a algunos autores a realizar estudios posteriores utilizando diferentes condiciones del experimento original, este nos permite obtener la rugosidad en función de la granulometría, así:

Meyer-Peter and Müller, (1948) consideran una mezcla de arena, transformando la fórmula de Strickler a:



$$n = 0.038 D_{90}^{1.6} \quad (2.13)$$

D_{90} en metros, esta ecuación se puede usar para el coeficiente de Manning aproximada cuando el fondo no está pavimentado con adoquines.

Raudkivi, (1990)

$$n = 0.042 D^{1.6} \quad (2.14)$$

En donde D es medida en metros o

$$n = 0.013 D_{65}^{1.6} \quad (2.15)$$

Donde D_{65} es el diámetro en milímetros del material del fondo tal que el 65% del material por peso es menor.

Boven and Milhous, (1978) propone una fórmula para obtener la rugosidad en función de la granulometría, aplicable a cauces rectos, limpios y para caudales grandes.

$$n = 0.031 D_{75}^{1.6} \quad (2.16)$$

En donde D_{75} es el diámetro en milímetros del material que pasa el 75%.

2.3 RELACIÓN NIVEL VERSUS DESCARGA

La relación entre el nivel de agua en el río y descarga es muy difícil que se presente con regularidad debido que la medición del caudal en una corriente natural no puede ser exacta, a su vez el canal presenta irregularidad; los canales de corrientes naturales están expuestos a cambio que generan variaciones en sus secciones como la erosión o acumulación de sedimentos o depósitos.

2.3.1 Determinación de curvas de descarga.

En los ríos cuya relación nivel/caudal son estables y determinadas, la medición de velocidades en un río se lo debe realizar en intervalos de tiempo cortos debido a que la velocidad del río varía rápidamente en el tiempo. La relación

nivel/caudal varía en función del aumento o disminución del nivel del agua, será necesario realizar lecturas cuidadosamente a lo largo de la sección "ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (1978)". Para obtener una curva de calibración o de descarga representativa, con caudales mínimos y máximos es necesario realizar aforos o mediciones para distintos rangos de variación de nivel de agua (Sandoval, 2009). Con estas mediciones se elabora el gráfico de profundidad de la sección versus caudal como se muestra en la figura 2.7. Mediante el gráfico se puede calibrar la sección de aforo. Las curvas de calibración nos permiten conocer la variabilidad del caudal con respecto a cierta altura. (Hudson, 1997).

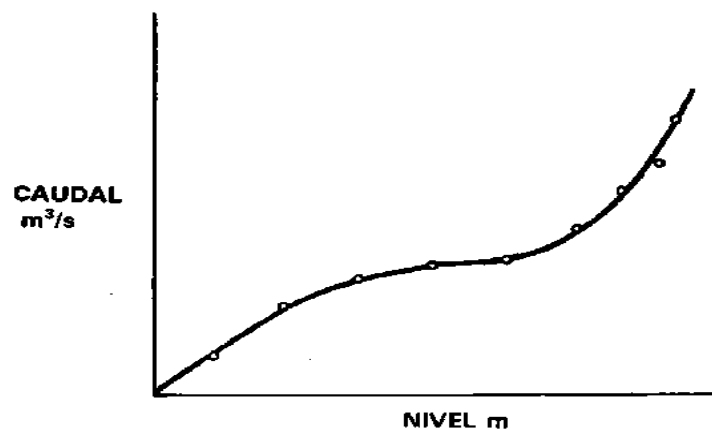


Figura 2. 7. Gráfico de la relación nivel-caudal (descarga) (Hudson, 1997).

Las curvas de calibración pueden cambiar por efectos erosivos (socavación del lecho del cauce) o el depósito del sedimento, efectos de curvas de remanso o debido a flujo no permanente, de tal manera que para un determinado nivel de agua se tiene un caudal diferente al registrado que afectan los registros de la estación de aforo (Carvajal, 2000; Ramírez et al., 1997).

A través de la curva de calibración o control se pueden obtener hidrogramas que muestran la variación del caudal con respecto al tiempo en una sección determinada de estudio mostrada en la figura 2.8

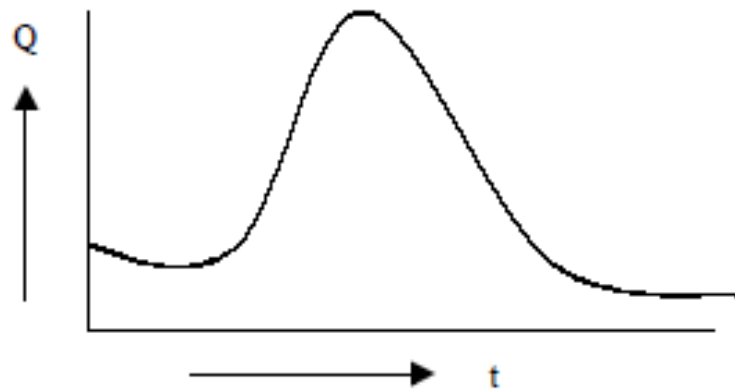


Figura 2. 8. Hidrograma obtenido a partir de la curva de descarga (Carvajal, 2000).

2.4 VARIACIÓN DE FLUJO A LO LARGO DE UN CAUCE NATURAL

La variación del flujo se debe a varios factores, como a la presencia de alguna recarga de agua subterránea y características de la cuenca como el potencial de almacenamiento de agua en el suelo, precipitación, dicha variación se conoce evaluando todas las entradas y salidas de agua, incluyendo los aportes externos y los aporte profundos. Esta puede darse por dos posibilidades:

- 1) Cuando se manifiesta en la escorrentía superficial de los cauces de los ríos con incrementos de caudal.
- 2) Cuando el acuífero es alimentado por infiltración del agua

2.4.1 Interacción entre el agua subterránea y el agua superficial

La interacción entre el agua subterránea y agua superficial, constituye parte del ciclo hidrológico, sistema mediante el cual la naturaleza hace circular el agua, desde los océanos hasta la atmósfera y la retorna de nuevo en forma superficial y subterránea; la escorrentía subsuperficial constituye el flujo base de los ríos y el agua almacenada en los embalses subterráneos.

La interacción entre ríos y agua subterránea explica de tres maneras básicas.

a) El río gana caudal desde el flujo de agua subterránea a través del lecho.

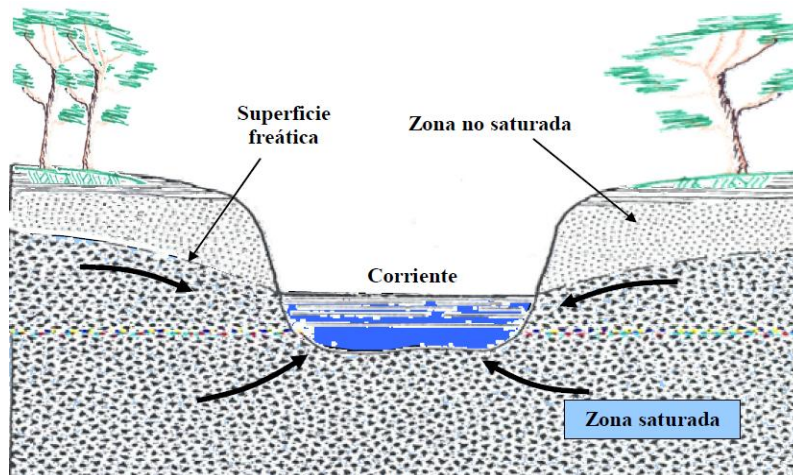


Figura 2. 9. Esquema de una corriente que gana flujo (Ramírez et al., 1997).

b) El río pierde caudal hacia el acuífero debido al flujo que se infiltra a través del lecho.

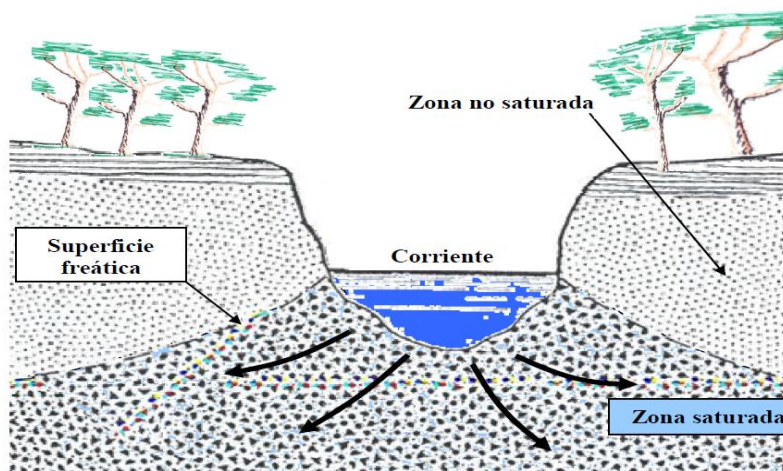


Figura 2. 10. Esquema de una corriente que pierde flujo (Ramírez et al., 1997).

c) El río presenta las dos condiciones, gana caudal en algunos casos y pierde en otros, dependiendo generalmente de los niveles del agua en el río y el nivel piezométrico de su acuífero adyacente. La variación puede presentarse debido a cambios en las condiciones hidráulicas - hidrológicas (principalmente nivel piezométrico).



Para que el agua subterránea descargue en el río, la altura del nivel freático en la vecindad del río debe ser mayor que la altura de la superficie del agua del río. En caso que el agua superficial infiltre hacia el agua subterránea, la altura del nivel freático en la vecindad del río debe ser menor que la altura de la superficie del agua del río.

En algunos de los casos, la ganancia o pérdida de flujo del río puede persistir o puede variar a lo largo del curso del río, existiendo tramos del río que reciben flujo desde el agua subterránea y otros tramos del río que pierden parte de su caudal hacia el agua subterránea. Las filtraciones a través del lecho del río se relacionan con los cambios de pendiente del lecho del río o a meandros en el cauce. La zona subsuperficial donde fluye el agua del río a través de su lecho adyacente se conoce como zona hiporréica.

2.5 ZONA HIPORREICA

En la zona hiporréica de un cauce natural se presenta el intercambio de flujo subterráneo con el cauce fluvial de manera lenta pero incesante (Iruña & Butturini, 2009), siendo la que controla los procesos biogeoquímicos del cauce, transporte de materia orgánica, nutrientes y sobre todo ejerciendo un control sobre el ecosistema fluvial.

De acuerdo con Cerezo (2003), la zona hiporréica se encuentra directamente debajo de la lámina de agua superficial y en ella se encuentran sedimentos saturados y agua intersticial (agua que llena los espacios libres entre las partículas de sedimentos). El tamaño y la geometría de la zona hiporréica circundante al río varían en el tiempo y en el espacio.

Gradín (2011), explica que las características físico-químicas de la zona hiporréica se encuentran relacionadas a la variación del nivel freático. En épocas de estiaje generalmente la afluencia o aporte de agua subterránea alimentando al cauce (caudal base) es mucho más notoria por lo que en algunos casos llega a modificar las condiciones o características del agua superficial (ver figura 2.11).

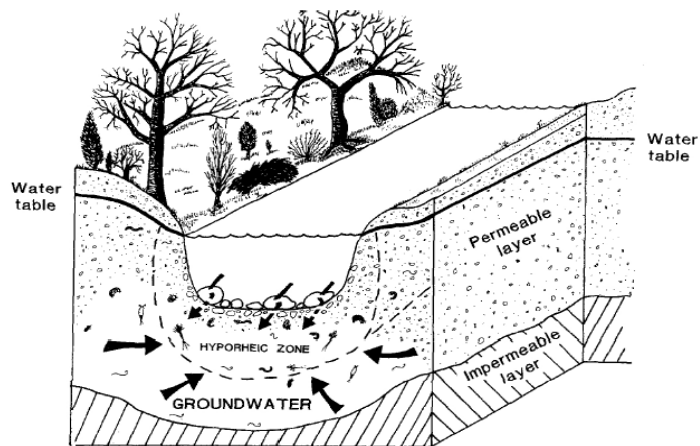


Figura 2. 11. Modelo descriptivo de la zona hiporréica (Williams, 1993).

La interacción entre la zona superficial del cauce y la zona hiporréica se ve afectada en el momento en que el río presenta una variación abrupta de caudales (D'Angelo et al., 1993).

2.6 FLUJO EN LA ZONA HIPORREICA

El flujo hiporréico es también llamado flujo intersticial y este ocurre debido al fenómeno de la percolación del agua a través de la grava, arena, sedimentos, y suelos permeables existentes en el lecho del cauce y paredes laterales. El flujo hiporréico es el que se encuentra entre el la corriente superficial y le nivel freático, este aporta flujo a la corriente ya sea desde el lecho o sus paredes laterales.

Para la existencia de flujo hiporréico se presentan dos factores, el primero es el tamaño del grano del material existente en el lecho del río o sus paredes y el segundo, el gradiente hidráulico (Naiman et al., 2005)

El flujo hiporréico cumple un papel muy importante para la preservación de los ecosistemas ya sea en ríos grandes o pequeños, a nivel de fauna o microscópicos.

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y METODOS

Para determinar el intercambio del agua superficial y el agua subterránea mediante la medición sucesiva de caudales en condiciones homogéneas, en la zona del río Cumbe, es importante describir la zona de estudio, así como los datos a utilizar, las herramientas y metodologías para la adquisición y análisis de nuevos datos e información.

3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el río Cumbe ubicado en la microcuenca del mismo nombre que forma parte de la subcuenca del río Tarqui. Se encuentra en el Sur del Ecuador en la provincia del Azuay, a unos 20 km de la ciudad de Cuenca que constituye la capital de la provincia. Se encuentra entre las coordenadas UTM: 717000E- 9663000N y 724000E- 9649000N, tiene una superficie aproximada de 44.02 kilómetros cuadrados, con un rango de altitudes entre 2640 m.s.n.s hasta 3460 m.s.n.m y una longitud del río Cumbe de 13.3 kilómetros.

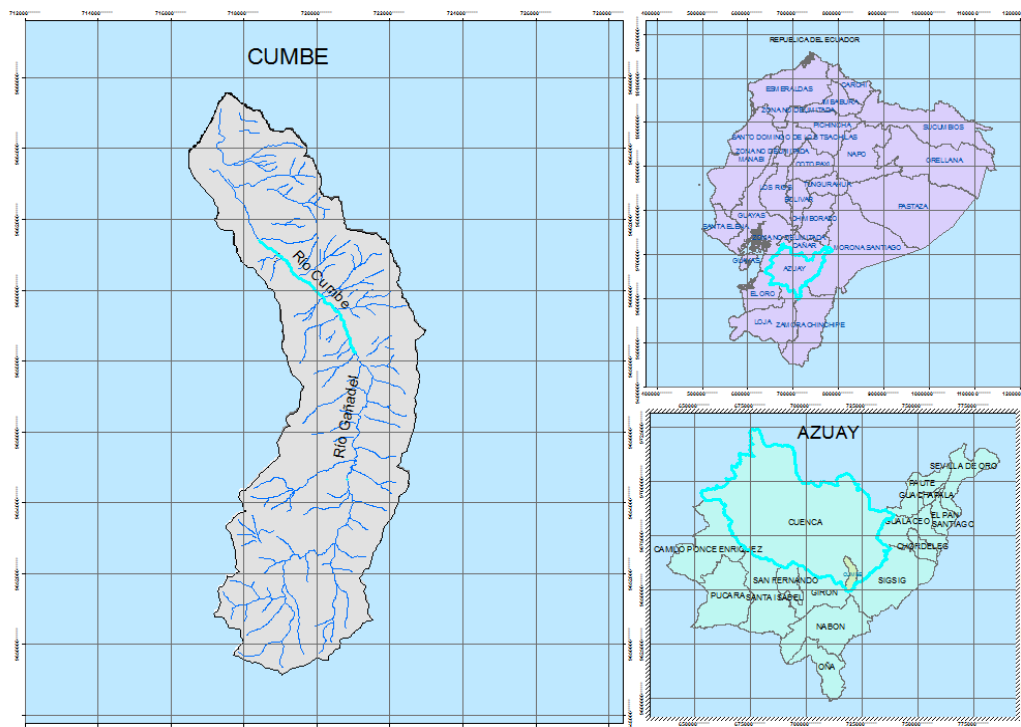
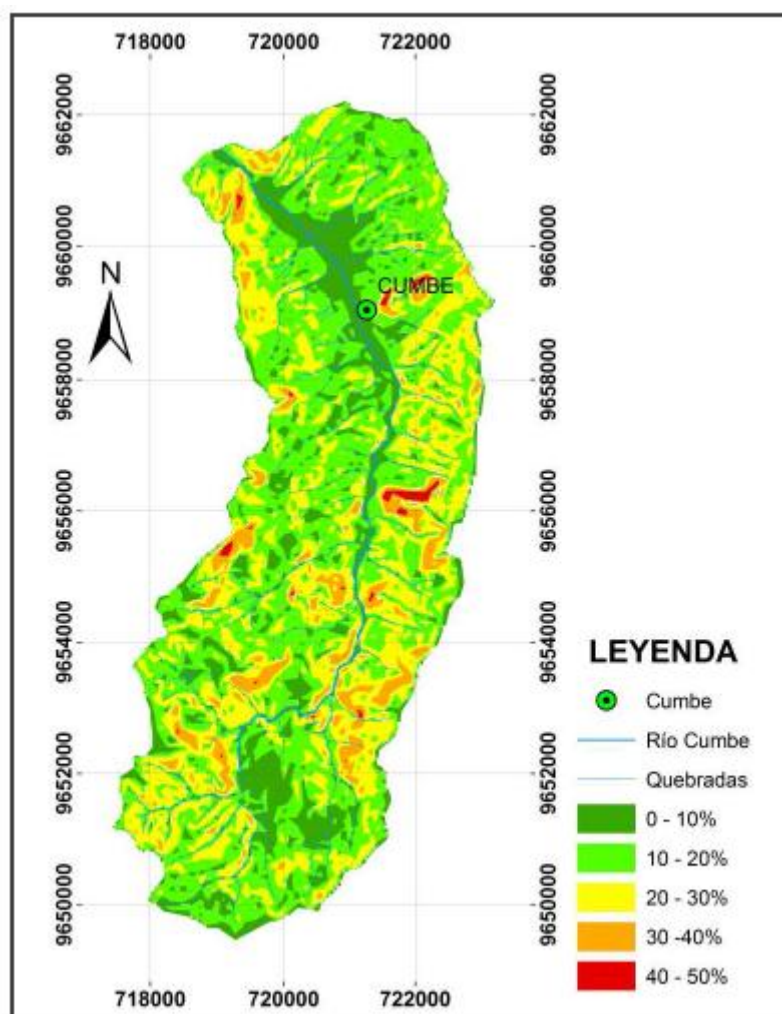


Figura 3. 1. Ubicación de la microcuenca de estudio

Esta región está constituida por valles interandinos y llanuras accidentadas, principalmente de rocas volcánicas consolidadas y rocas sedimentarias del Mioceno Superior al Pleistoceno Inferior y sedimentos no consolidados fluviales y glaciales del Pleistoceno Inferior al presente (Buytaert et al., 2006).

Presenta una variedad de ecosistemas, el uso agrícola es predominante en el valle central, mientras que en las zonas altas existe un ecosistema de bosque y paramo. La topografía muestra una zona con baja pendiente, pendientes inferiores a 20% se encuentran las llanuras que es utilizada como terreno para ganadería en la parte baja de la cuenca y el asentamiento de la población de Cumbe; pendientes mayores a 20% se tiene en la parte media y alta de la cuenca (Vanacker et al., 2007).



Fuente: PROMAS U-Cuenca, Datum: PSAD 56.

Figura 3. 2. Mapa de Pendientes de la cuenca del Río Cumbe.



3.2 CLIMA

La región se caracteriza por un régimen de lluvias bimodal, con una gran heterogeneidad en el patrón de distribución espacial. La variación media anual de precipitación va desde los 800 mm en la depresión central a más de 1000 mm en las tierras altas. La estación seca más larga se extiende entre junio y agosto, mientras que una corta estación seca se produce alrededor de enero y febrero.

3.3 IDENTIFICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el río Cumbe es necesaria la identificación del tramo y secciones características como puntos de aforo, para la selección de los mismos se toma en consideración las siguientes características:

3.5.1. Tramo de Estudio del Río Cumbe

Para determinar el tramo de estudio en el río Cumbe, en virtud de que se utilizara la medición de caudales para determinar diferencias significativas que muestren intercambio de flujo entre el agua superficial y el agua subterránea es primordial que no existan entradas o salidas de agua (aportes externos) que afecten significativamente el caudal, haciendo posible la comparación de los caudales de manera temporal y espacial.

3.5.2. Secciones de Aforo

Para la identificación de los puntos de aforo, es indispensable que estas se ubiquen en puntos estratégicos que permitan la medición de la velocidad, estas no deben encontrarse en curvas debido q que se requiere de una sección perpendicular al flujo, o zonas estancas debido a que no existe movimiento de flujo. Los aforos se elaboraron en 9 secciones diferentes incluyendo la sección de control (ver figura 3.3).

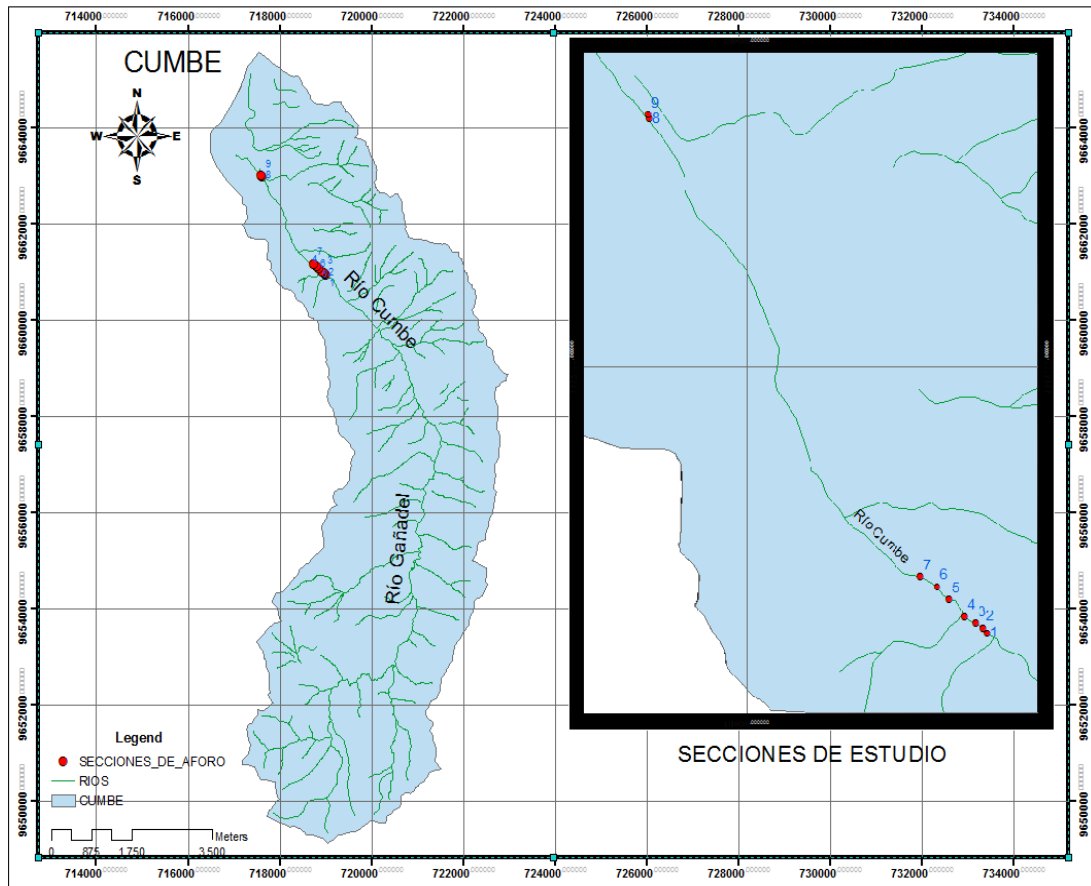
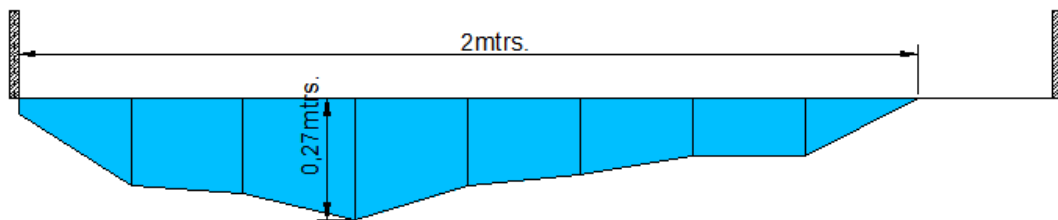


Figura 3. 3. Zona de estudio y secciones de aforo.

A continuación la descripción de cada una de las secciones de aforo:

PERFIL N° 1**FOTO:****SECCIÓN TRANSVERSAL:****COMENTARIO:**

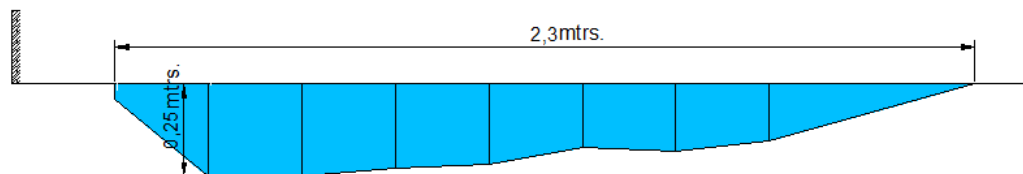
La primera sección presenta una amplia vegetación (pasto) y basura acarreada por las crecidas. En la parte derecha de la sección de terreno es cubierta de agua en épocas de crecidas, la parte izquierda de la sección siempre se encuentra bajo el agua. La sección típica presenta una forma triangular, la parte más profunda se encuentra localizada en el centro.

PERFIL N° 2

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:



COMENTARIO:

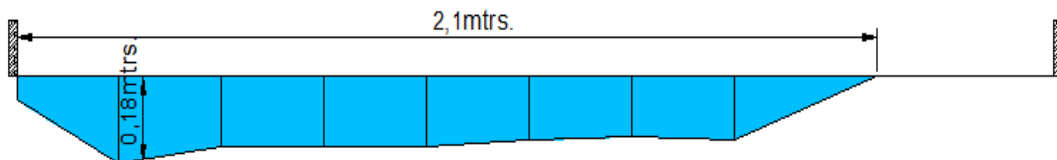
La segunda sección presenta mayor vegetación y se encuentra rodeada de árboles y pasto, las paredes de la sección del río presentan tramos de vegetación más abundante y se observó el material del suelo con un color característico (café leve); la sección muestra que la zona de mayor profundidad en la parte izquierda.

PERFIL N° 3

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:

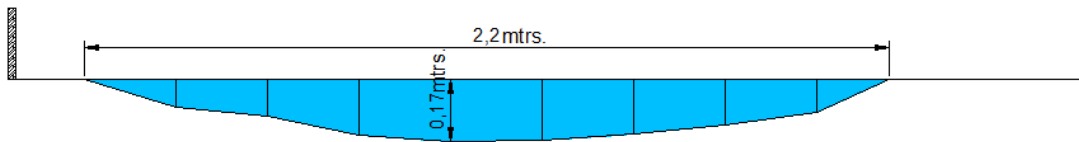


COMENTARIO:

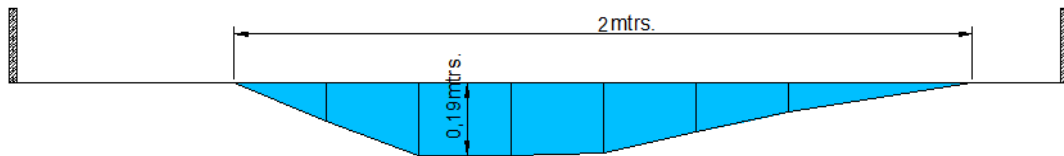
La tercera sección se localiza cerca de los sensores piezómetros colocados en el río, con una mayor presencia de vegetación (pasto y árboles), y basura retenidos en las ramas de los arboles a una altura de 1.50 a 2 metros de altura con respecto al agua, dando a entender las alturas que el cauce puede llegar a tener en apocas de crecidas o invierno.

PERFIL N° 4 Y 5**SECCIÓN TRANSVERSAL:**

Seccion de Aforo No. 4



Seccion de Aforo No. 5

**COMENTARIO:**

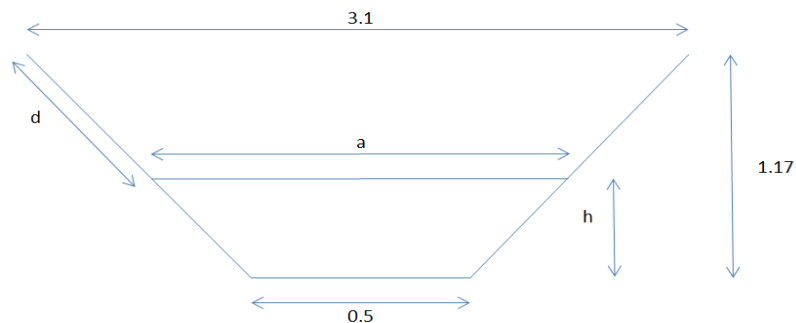
Las secciones 4 y 5, presentan la mayor profundidad en la parte central de la sección del lecho del río en ambos tramos (4; 5); el lecho a mayor profundidad presenta una cierta uniformidad en el fondo del cauce, las secciones se obtuvieron a partir de puntos de referencia (dos estacas) colocadas en los extremos de la sección transversal, y profundidad tomada mediante los aforos con el molinete y Flowtracker.

PERFIL N° 6

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:



COMENTARÍO:

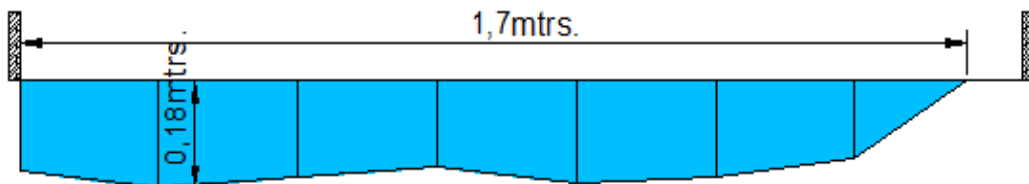
La sección 6 se trata de la sección de control, con una sección geometría conocida. Es importante la inclusión de esta en las secciones de estudio, debido que permite analizar los valores de los caudales de acuerdo a la alturas de agua recolectado por el sensor, este con respecto a los aforados en todos los puntos o secciones escogidas, permitiendo analizar los caudales de forma espacial.

PERFIL N° 7

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:



COMENTARÍO:

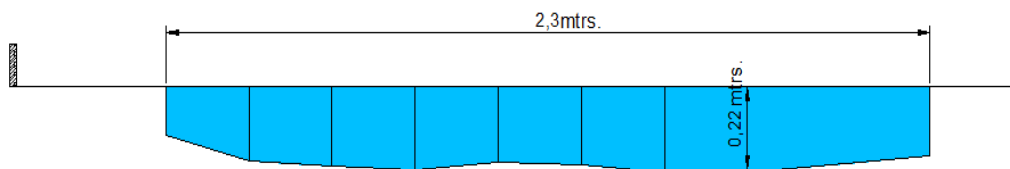
La séptima sección fue colocada unos metros río abajo con respecto a la sección de control, en esta sección el río se encuentra a un nivel más bajo con respecto al nivel del suelo, densa vegetación. La sección típica presenta un fondo uniforme.

PERFIL N° 8

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:



COMENTARIO:

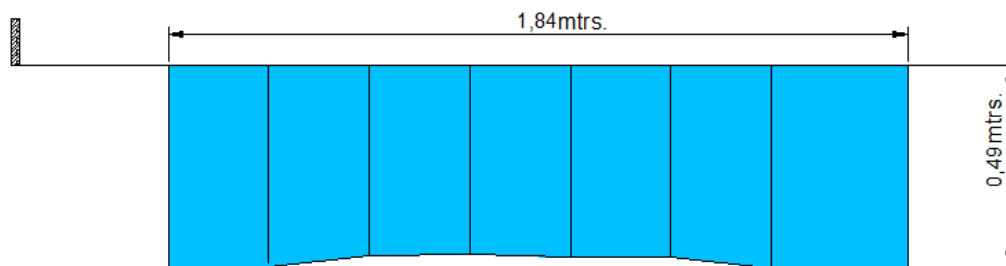
Se encuentra ubicada alrededor de 2 km aguas abajo con respecto sección de control. La zona presenta pasto y plantas propias de río que cubren la superficie. Esta sección presenta material grueso en el fondo, el fondo del cauce es uniforme, este presenta mayor calado de agua con respecto las anteriores descritas.

PERFIL N° 9

FOTO:



SECCIÓN TRANSVERSAL:



COMENTARIO:

Esta sección presenta una vegetación no muy abundante donde predomina el pasto, se encuentra a 20 metros de la sección anterior y su lecho presenta arena o árido fino y calado de agua mayor a la sección anterior, requiriendo ingresar con traje impermeable.

3.4 INSTRUMENTACIÓN

A continuación se describen los equipos y sensores para registros de datos utilizados:

3.8.1. Flowtracker (SonTek)

El Flowtracker tiene varias características diseñadas para aumentar la integridad de los datos. El principio del método ultrasónico consiste en medir la velocidad de la corriente una cierta profundidad, transmitiendo simultáneamente ondas sonoras a través del agua. Esta velocidad está relacionada con la velocidad media de la corriente de la sección transversal y con el área el sistema totaliza el caudal.



Figura 3. 4. Flowtracker.

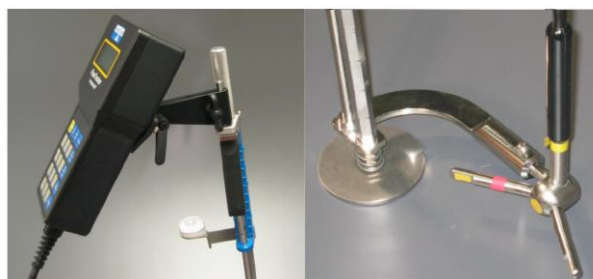


Figura 3. 5. Partes del Flowtracker.

3.8.2. Molinete

El molinete mide la velocidad de la corriente en varios puntos lo cual permite establecer la sección con bastante precisión. El molinete es un instrumento mecánico que consta de una rueda dotada de paletas en forma de cono, montadas sobre un eje vertical alrededor del cual puede girar por la acción del movimiento del agua, en su otra punta lleva las aletas direccionales que equilibran el molinete y lo mantienen dirigido hacia la corriente.

El molinete está diseñado para su empleo en aguas poco profundas. Para realizar las mediciones el aparato es apoyado en una varilla vertical que llega hasta el fondo y que en su parte superior es sostenida manualmente por el observador (Cruz and Bravo, 2005).

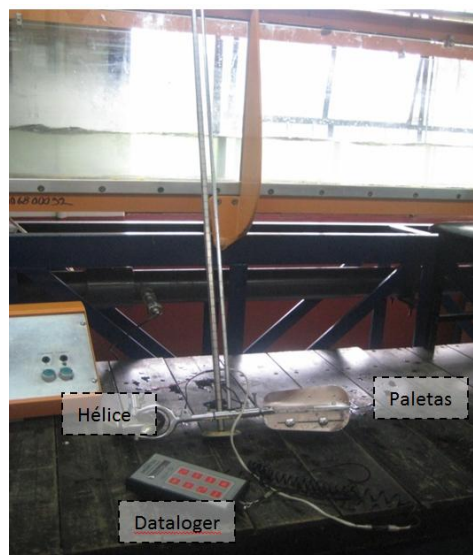


Figura 3. 6. Molinete

3.8.3. Sensores de Nivel

Para el monitoreo de la cuenca en estudio se ha construido una estación de aforo, constituye un canal de sección trapezoidal construida sobre muros de hormigón armado, con un sensor de nivel que se encuentra sumergido en el agua y registra datos de nivel de agua que permite cuantificar la producción de agua cada 5 minutos y con una precisión de ± 1 mm. El objetivo de esta estación de aforo es suministrar registros sistemáticos de niveles de agua medidos por un sensor:

El sensor WL16U-015-025: Registrador del nivel del agua, es una combinación transductor de presión datalogger y sumergibles diseñados para el control remoto y el registro de nivel de agua (Figura 3.7).



Figura 3. 7. Sensor de Nivel, WL16U-015-025.

El sensor se encuentra dentro de una cascara cilíndrica resistente a la intemperie y funciona con dos pilas alcalinas. Todos los registradores de nivel de agua incluyen el software de Windows y PDA, permitiendo una fácil carga de los datos a una computadora portátil.

3.5 AFOROS

Hay varias formas para obtener los datos de caudal. La primera se refiere a la medición de caudales mediante instrumentos de aforo Flowtracker y Molinete, la segunda mediante el cálculo de caudales a partir de datos de nivel.

1. Medición del flujo en el río Cumbe mediante aforos en 9 secciones de aforo determinadas, mediante el equipo medidor de la velocidad del agua, medidor de flujo-molinete y Flowtracker, desde el 21 de marzo al 23 de agosto del 2013.
2. El procedimiento contempla tomar medidas una distancia del 10% del ancho por sección, todas estas mediciones a una altura del 60% del calado desde la superficie. Con el área transversal y la velocidad del agua se obtiene el caudal.

Los valores de caudales se comparan de manera espacial y temporal; espacial, el caudal medido cada una de las secciones con respecto a la siguiente y temporal, el caudal medido en la sección de aforo con respecto al caudal que pasa en ese instante en la sección de control. De acuerdo a la variabilidad entre caudales saber si está generando el intercambio de flujo entre el río y el acuífero.

3.5.1 Aforo con Flowtracker

El procedimiento para realizar medidas de caudal es el siguiente:

- Se fija una línea de referencia graduada atravesando el río.
- En cada sección transversal, el operador graba la posición de la sección y el calado del agua, y recoge medidas de la velocidad en una o más calados para determinar la velocidad promedio.
- El eje del sensor se mantiene perpendicular a la línea de referencia Figura 3.8.



Figura 3. 8. Línea de referencia

3.5.2 Aforo con Molinete

La ubicación ideal del molinete en una sección donde las velocidades sean suficientes, para una buena utilización de la hélice. Condiciones exigidas:

- Un recorrido rectilíneo entre dos riberas o márgenes francas.
- Lecho estable.
- Un perfil transversal relativamente constante.

El aforo se realiza a pie cuando el curso de agua es pequeño y poco profundo.

Proceso para realizar el Aforo:

1. Medir el ancho del río y dividir la longitud de la superficie en un número de tramos iguales.
2. Medir en cada vertical la profundidad h del agua o calado de agua, en algunas secciones puede darse el caso que en los márgenes la profundidad sea cero o diferente.
3. El área de cada tramo se puede determinar como el área de un trapecio. Si la profundidad en algunos casos es cero, se calcula como si fuera un triángulo.
4. La velocidad en una sección de la corriente varía tanto transversalmente como con la profundidad. La velocidad se mide al 0.6 de la profundidad del cauce.



Figura 3. 9. Aforo con Molinete

Cálculo del Caudal

El área que existe entre dos verticales consecutivas se determina utilizando la fórmula del triángulo y trapecio:

$$A_0 = \frac{L_0 - L_1}{2} * h_0 \quad (3.1)$$

$$A_1 = \frac{L_1 - L_0}{2} + \frac{L_1 - L_2}{2} * h_1 \quad (3.2)$$

El caudal que pasa por cada tramo, se calcula multiplicando el área del tramo por la velocidad promedio:

$$Q_1 = A_0 * V_0 \quad (3.3)$$

El caudal total que pasa por la sección del río, se determina por la sumatoria de los caudales de cada tramo i .

$$Q = \sum Q_i \quad (3.4)$$

3.5.3 Determinación de Caudales mediante la medición de nivel.

La sección de control (ver figura 3.10) presenta una geometría conocida de trapecio invertido con un sensor de nivel que se encuentra colocado al fondo. En la sección de control se corrige la altura debido a que el sensor no se encuentra en el fondo. Presentándose un error en la altura registrada con respecto a la altura calculada geoméricamente.

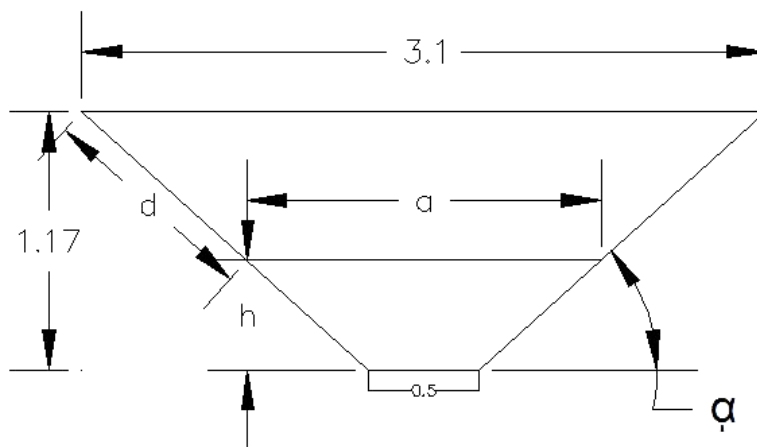


Figura 3. 10. Sección de control.



Donde el H calculado se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$H \text{ calculado} = 1.17 - \sin \alpha * d$$

$$\text{Error} = H_{\text{calculado}} - H_{\text{registrado}}$$

Los datos de nivel de agua se registran en lapsos de 5 minutos ininterrumpidamente, los cuales son descargados mensualmente. La toma de datos se interrumpe durante la descarga de datos, generalmente el tiempo de descarga de datos es de 3 a 5 minutos por lo que los datos no registrados o perdidos no generan mayor error.

Los datos de nivel abarcan el período desde el 14 de diciembre de 2012 hasta el 14 de junio de 2013. La serie de datos obtenidos en la sección de control presenta ciertos errores, debido a fallas propias del sensor, errores en: fecha, hora, altura medida de agua, valores de ceros, vacíos y negativos

Los datos erróneos se corrigieron de dos maneras; la primera consistía en la corregir la fecha y la hora a partir de datos anteriores o siguientes los cuales presenten información correcta; la segunda los datos correspondientes a las alturas se rellenan mediante una interpolación lineal y correspondiente análisis de la tendencia de la gráfica para obtener un correcto relleno de datos.

Los ceros o vacíos se deben a que el sensor no detecto la altura de agua; estos se muestran de manera aislada y el relleno de datos fue a través de un promedio entre el valor superior e inferior para aquellos datos solos y para los grupos de datos vacíos o ceros a través de una interpolación lineal de acuerdo a los datos y a la tendencia del gráfico.

Para una correcta correlación y rellenos de datos se analizaron los datos provenientes del piezómetro colocado aguas arriba en el río con respecto a la sección de control, estos datos nos permitieron obtener una línea de tendencia a partir de la correspondiente grafica de altura de agua versus fecha. El grafico permitió el correcto relleno de datos en donde se presentaban valores negativos recolectados por el sensor en la sección de control en el lapso del 14 de Diciembre de 2013 hasta el 18 de Enero de 2013.

3.6 COMPARACION DE METODOS DE MEDICION DE VELOCIDAD (CAUDAL), MOLINETE Y FLOWTRACKER

Para determinar la variación entre los diferentes métodos para medir el flujo, molinete y Flowtracker se realizaron pruebas en un canal de laboratorio con caudal y sección conocida. Las pruebas consistían en determinar la velocidad por los distintos métodos para distintos valores de caudal y calado. Esto nos permite comparar la precisión entre instrumentos.



Figura 3. 11. Prueba de canal de Laboratorio-Molinete y Flowtracker.

3.7 ESTUDIO DE RUGOSIDAD DEL CAUCE NATURAL RÍO CUMBE

Para la obtención del coeficiente de rugosidad fue necesario realizar varias granulometrías para conocer las características y tamaño de las partículas que forman el cauce de río Cumbe.

3.7.1 Granulometría

El análisis granulométrico tanto de árido gruesos y árido fino, de siete muestras recolectadas en el lecho del río, las dos primeras muestras se tomó entre las secciones 1 y 2 de aforo, las siguientes dos muestras entre la sección 5 y 6, las siguientes dos muestras se recolectaron en el punto de aforo de la sección número 8 y la última muestra en la sección número 9 de aforo.

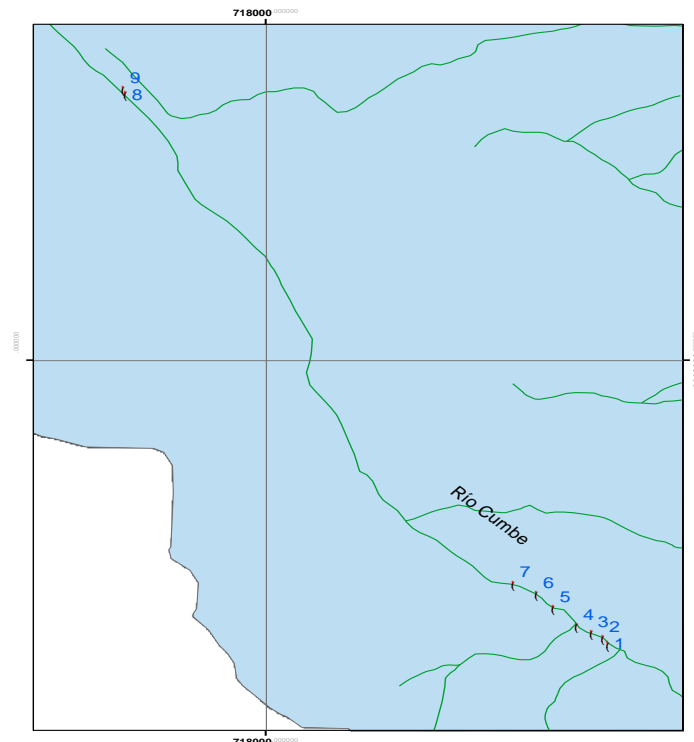


Figura 3. 12. Secciones de Aforo.

El proceso para el análisis granulométrico inicia con el secado del material y al tamizado de cada muestra (Ver tabla 3.1), obteniéndose los pesos retenidos en cada uno de los tamices del árido grueso y fino.



Figura 3. 13. Serie de tamices- árido grueso y árido fino.

Con los valores de material retenido en cada uno de los tamices, se determinan los porcentajes retenidos y la curva granulométrica². La granulometría permite

² la curva granulométrica es la gráfica de los porcentajes de material que pasan versus la abertura de los diámetros, este último se coloca en el eje de las x y a escala logarítmica

conocer la distribución del material a lo largo de la serie de tamices y parámetros importantes para la clasificación granular del suelo:

- Diámetro Efectivo.
- Coeficiente de Uniformidad.
- Coeficiente de Curvatura.

El diámetro efectivo corresponde a la abertura necesaria en la que pasa el 10%, 30%, 50%, 60%, 65%, 90% y 95% que permiten obtener los coeficiente tanto de uniformidad como de curvatura y el coeficiente de rugosidad. El coeficiente de uniformidad viene dado por la relación ecuación (3.5) y el coeficiente de curvatura viene expresado por Ecuación (3.6), todos estos llamados diámetros efectivos por Hazen Williams.:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{3.5}$$

$$Cz = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \tag{3.6}$$

La curva granulométrica de acuerdo a la distribución de las partículas, clasifica el material en bien graduado y mal graduado y estos en uniforme y no uniforme (ver figura 3.15), dependiendo de los valores obtenidos por el coeficiente de uniformidad y curvatura se puede definir también si el suelo posee una granulometría continua o discontinua (Das, 2008).

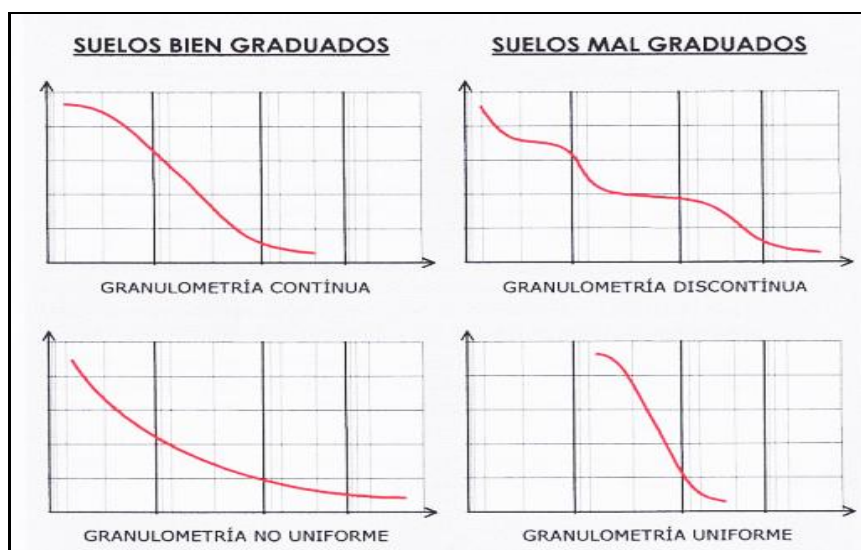


Figura 3. 14. Clasificación del suelo a partir de la Curva Granulométrica (Das, 2008).



3.8 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

La Conductividad Hidráulica es una propiedad de los medios porosos que depende de la permeabilidad intrínseca, de la porosidad del medio y del grado de saturación. La conductividad hidráulica saturada, k_s , constituye, quizás, el parámetro físico de un suelo más determinante a la hora de cuantificar las diferentes componentes del balance global de agua en la superficie del mismo. A menudo los valores de k_s se estiman a partir de características del suelo (Polo et al., 2003).

La conductividad hidráulica se obtiene a través de la determinación de tipo de suelo, y clasificación a través de tablas. La granulometría de las muestras del lecho del río se permiten clasificarlo por el método de la SUCS (Sistema Unificado de Clasificación) (ver tabla 3.1) a partir de los porcentajes retenidos en el tamiz No. 200 define el tipo de suelo.

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Tabla 3. 1. Clasificación del Suelo a partir del método de la SUCS (Das, 2001).

Una vez obtenido el tipo de suelo del lecho de río se determina su conductividad hidráulica; a través de dos tablas 3.2 y 3.3 a partir únicamente de granulometría.



PERMEABILIDAD RELATIVA	VALORES DE K cm/seg	SUELO TÍPICO
Muy permeable	>1x10E-1	Grave gruesa
Moderadamente permeable	1x10E-1-1x10E-3	Arena, arena fina
Poco permeable	1x10E-3-1x10E-5	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	1x10E-5-1x10E-7	Limo y arenisca fina
Impermeable	<1x10E-7	Arcilla

Tabla 3. 2. Permeabilidad Relativa en Función del Suelo (Barbecho and Calle, 2012).

VALORES ESTIMADOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)

	Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
Sedimentos	Grava	25-2500	100-10E5	100-10E6	10-1000
	Grava con arena				
	Arena gruesa	0.1-500			1-100
	Arena media	0.1-50	0.01-1000	1-1000	
	Arena fina	0.02-20			0.01-1
	Arena arcillosa		10E-4-1	0.01-100	0.001-0.1
	Silt, loess	10E-4-2	10E-7-10E-3	10E-4-1	0.001-0.1
	Arcilla	10E-6-4E-4			10E-6-10E-3
	Arcilla marina inalterada	10E-7-2E-4		10E-11-10E-7	10E-6-10E-3
Rocas sedimentarias	Calizas Carstificadas	0.1-2000	0.05-0.5	0.1-1000	0.1-10E7
	Calizas, dolomías	10E-4-0.5	0.001-0.5	10E-4-1	10E-4-1
	Areniscas	3E-5-0.5	10E-5-1	10E-5-1	
	Argilitas (siltstone)	10E-6-0.001			
	Pizarra	10E-6-2E-4	10E-6-10E-4	10E-4-10E-8	10E-4-10E-8
	Pizarra fracturada/alterada		10E-4-1		
Rocas Cristalinas	Basalto inalterado sin fracturar		10E-6-10E-3		10E-6-10E-3
	Basalto fracturado/vesicular		10-1000		0.1-10E6
	Escorias basálticas		0.001-1000		
	Basalto permeable	0.03-2000		0.02-1000	
	Ígneas y metamórficas sin fracturar	10E-9-10E-5	10E-9-10E-5	10E-9-10E-5	10E-9-10E-5
	Ígneas y metamórficas fracturadas	0.001-25	10E-5-1	0.0005-20	10E-5-1
	Granito alterado	0.3-5			
	Gabro alterado	0.005-0.3			

Tabla 3. 3. Valores estimado de Conductividad por varios autores (Barbecho and Calle, 2012).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CAUDALES EN LAS SECCIONES DE AFORO

Una vez obtenida toda la información de campo durante la campaña de aforos a través de molinete y Flowtracker se procedió a determinar los caudales de las secciones de aforo. Para cada una de las secciones se obtuvo el caudal máximo, mínimo y medio durante el tiempo de medición, ver tabla 4.1.

Sección	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Máximo (m³/seg)	0.136	0.173	0.182	0.163	0.143	0.200	0.153	0.117	0.122
Mínimo (m³/seg)	0.055	0.082	0.042	0.065	0.081	0.075	0.065	0.077	0.077
Media (m³/seg)	0.107	0.126	0.120	0.113	0.113	0.120	0.115	0.099	0.093

Tabla 4. 1. Caudales máximos, mínimos y promedios de los aforos.

Los aforos en las secciones cuatro y cinco se realizaron en menor cantidad debido a que presentaban similares características geométricas y de cantidad de flujo. Hay que remarcar que la idea es encontrar diferencias que sirvan de referencia para determinar variaciones debidas al intercambio de flujo entre el acuífero y el río, lo que determino la finalización de aforos y la búsqueda de otras secciones características.

La sección ocho y nueve se localizan 2 km aguas abajo con respecto a la sección de control. Presentando los siguientes gráficos en grupos de acuerdo a su proximidad.

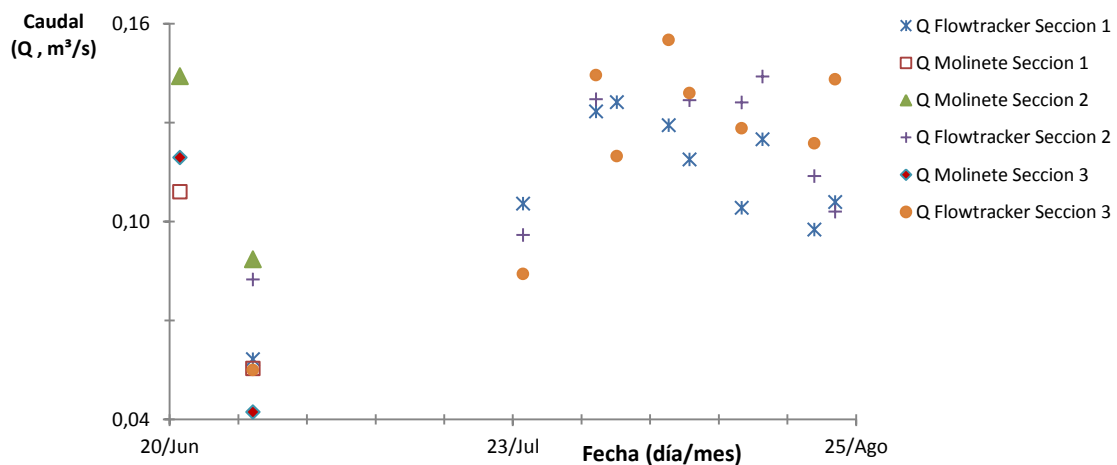


Gráfico 4. 1. Caudales Aforados en la Secciones uno, dos y tres.

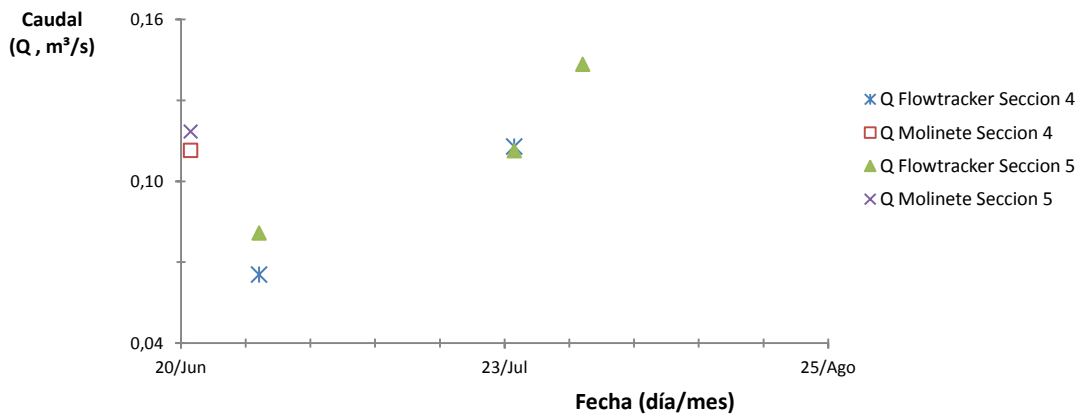


Gráfico 4. 2. Caudales Aforados en la Sección 4 y 5.

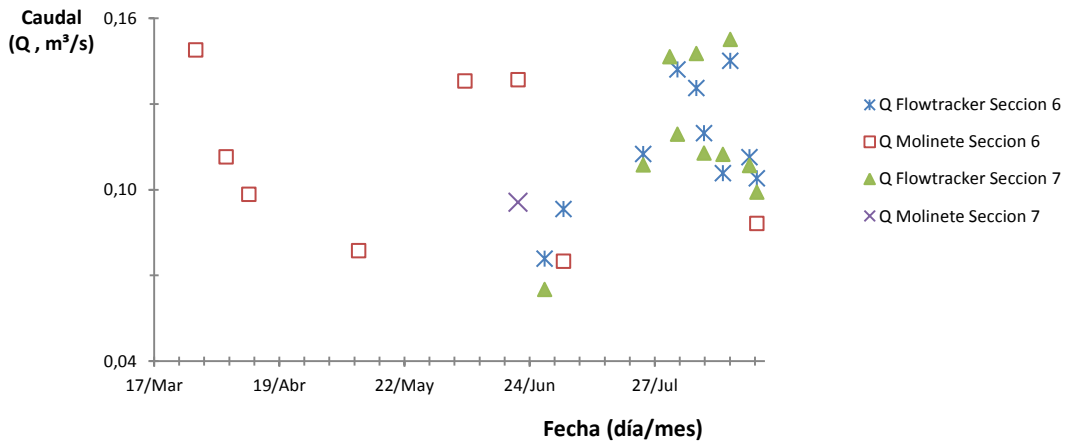


Gráfico 4. 3. Caudales Aforados en la Sección 6 y 7.

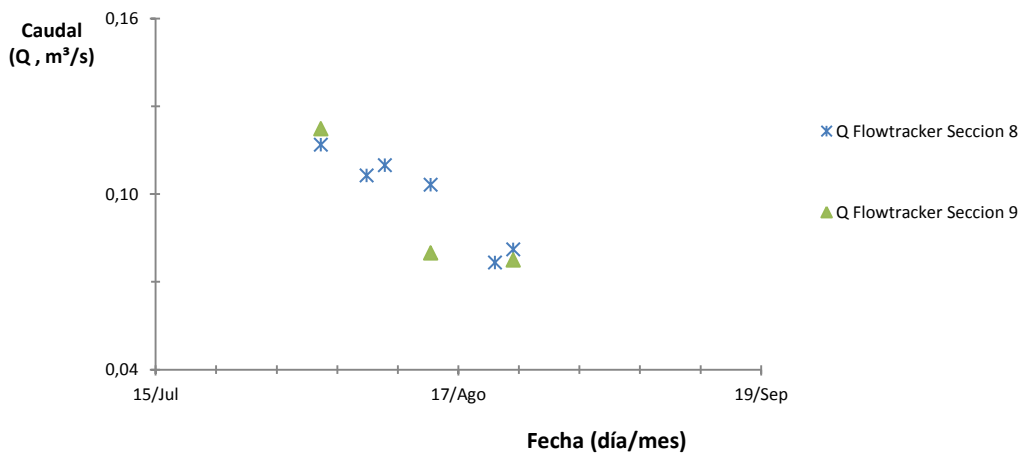


Gráfico 4. 4. Caudales Aforados en la Sección 8 y 9.

4.1 VALIDACIÓN DE MÉTODOS

Como uno de los objetivos planteados ha sido la validación de los métodos en el canal de laboratorio, obteniendo los siguientes resultados (ver figura 4.5).

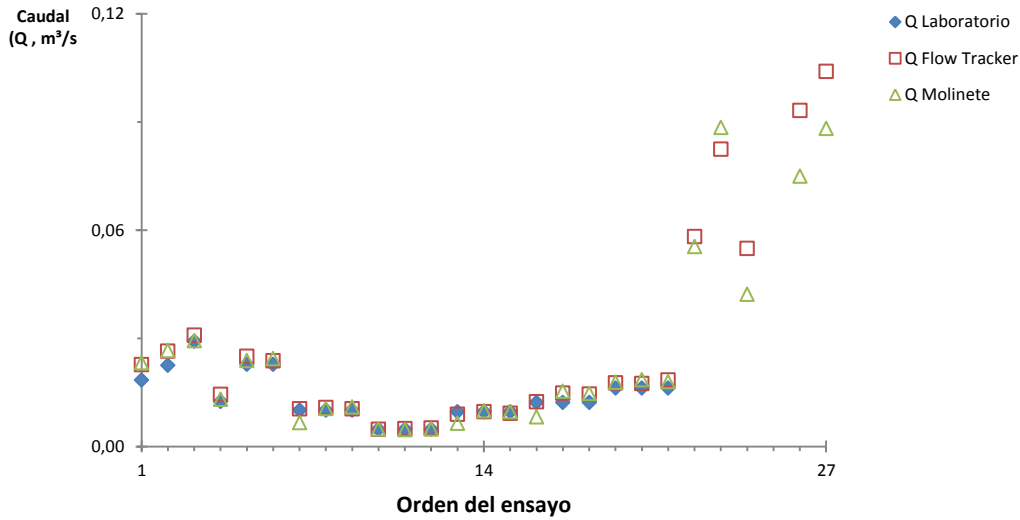


Gráfico 4. 5. Ensayos y caudales realizados en el canal de laboratorio.

Se analizó la correlación de los caudales medidos con el Flowtracker y Molinete, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.97, Ver figura 4.6. Existe una correlación muy fuerte en caudales menores a 0.025 m³/s, no así para los caudales mayores, esto se produce a medida que se incrementa el caudal el molinete subestima el caudal.

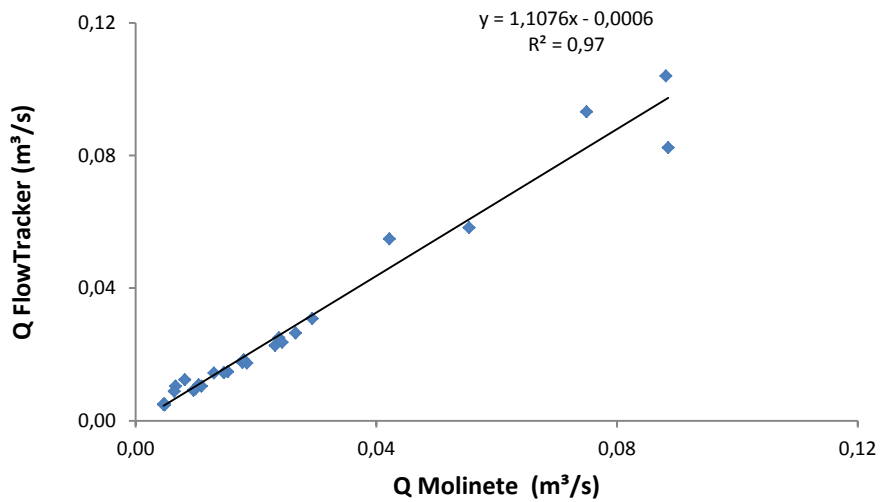


Gráfico 4. 6. Relación de caudales, prueba en canal de Laboratorio.

Mediante la ecuación obtenida, se corrigen los valores de caudal medidos con el molinete en la sección de control debido a la subestimación de caudales que generaba este, de donde se obtuvieron los siguientes resultados (Ver tabla 4.2). Donde E es el error presentado en la medición de la altura de agua en la sección de control con la calculada geoméricamente.

Fecha	Hora	Estación	Caudal molinete (m3/s)	Caudal flowtraker (m3/s)	Altura flume[h] (m)	Error [E] (m)	Caudal corregido (m3/s)	Error Altura flume [h+E] (m)
26/03/2013	14:40	6	0.200		0.185		0.221	0.185
28/03/2013	15:30	6	0.149		0.16		0.164	0.160
05/04/2013	14:25	6	0.111		0.133	0.021	0.123	0.154
11/04/2013	11:30	6	0.098		0.133	-0.0001	0.108	0.133
10/05/2013	11:40	6	0.131		0.108	0.0101	0.145	0.118
07/06/2013	10:55	6	0.138		0.175		0.152	0.175
21/06/2013	13:58	6	0.138		0.159	0.0008	0.153	0.160
28/06/2013	16:31	6		0.0758	0.111	-0.0249	0.076	0.086
03/07/2013	13:44	6	0.075	0.0932	0.114	-0.0023	0.093	0.112
24/07/2013	12:58	6		0.1125	0.131		0.113	0.131
31/07/2013	12:27	6		0.1774	0.188	-0.0288	0.177	0.159
02/08/2013	11:00	6		0.1421	0.151	-0.0092	0.142	0.142
07/08/2013	11:09	6		0.1356	0.148	-0.0106	0.136	0.137
09/08/2013	10:29	6		0.1198	0.14	-0.0026	0.120	0.137
14/08/2013	11:02	6		0.1057	0.13	-0.0311	0.106	0.099
16/08/2013	11:19	6		0.1451	0.16	-0.0162	0.145	0.144
21/08/2013	10:59	6		0.1114	0.135	-0.0188	0.111	0.116
23/08/2013	12:16	6	0.0882	0.1040	0.13	-0.0247	0.104	0.105

Tabla 4. 2. Obtención de Caudal corregido.

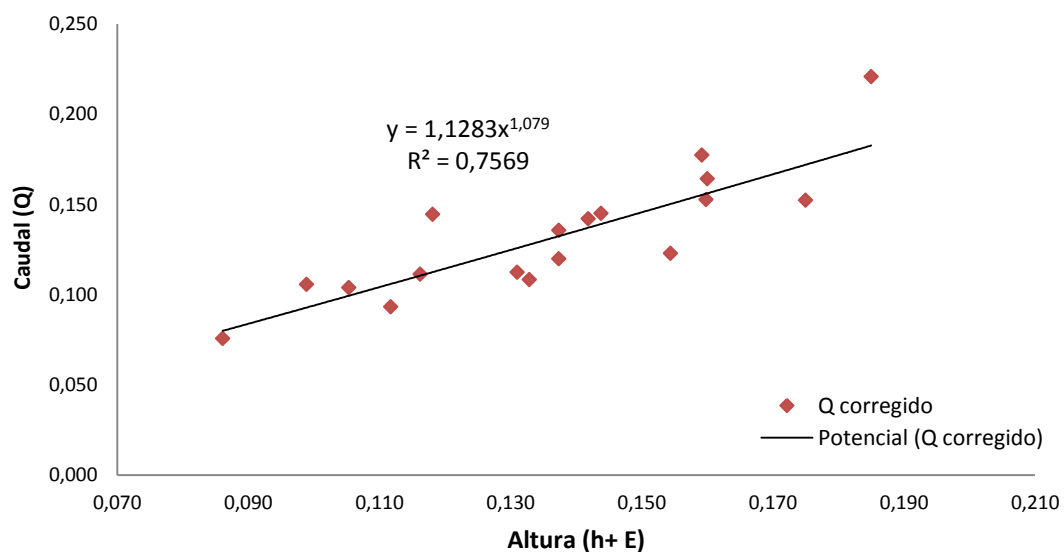


Gráfico 4. 7. Correlación entre el las alturas de la sección de control y el caudal aforado.

La ecuación de la curva de descarga correspondiente a la sección de control se obtuvo a través de la correlación entre las alturas y los valores de caudal corregidos, obtenidos a través de una serie de aforos (Ver anexo 1). De estos valores se obtuvo la ecuación de la curva de descarga, la cual tiene un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.7569, Ver figura 4.7.

4.2 ESTIMACION DE CAUDALES SE LA SECCIÓN DE CONTROL.

La curva de descarga obtenida anteriormente permite determinar los caudales en la sección de control, durante un período de 8 meses.

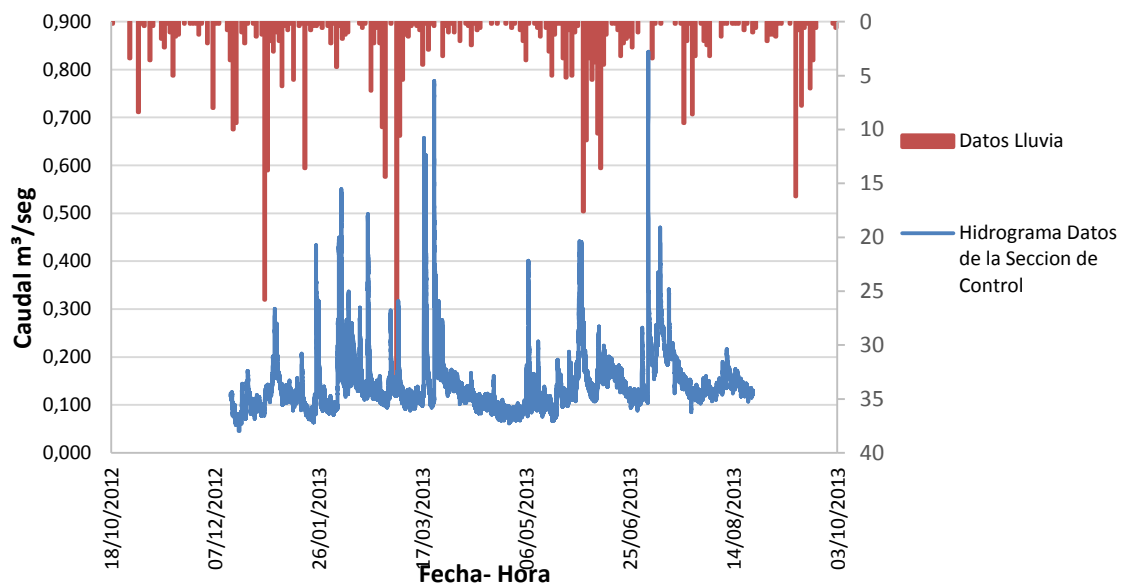


Gráfico 4. 8. Hidrograma de Caudales de la Sección de Control y datos de lluvia.

El gráfico 4.8 permite visualizar el comportamiento de caudales, presentando cierta concordancia debido a que en aquellos días donde se produjo lluvia los valores de caudal incrementan hasta 0.766 metros cúbicos por segundo, es el caso del 22 de marzo de 2013. Así mismo se muestra que el valor alto de caudal de 0.837 el 3 de julio de 2013, no presenta cierta coincidencia con los datos de lluvia debido a que este valor es el resultado de una lluvia prolongada y no muy intensa que saturó el suelo generando posteriormente un caudal elevado. A su vez muestra una disminución del mismo en un lapso de 47 días en donde el caudal disminuye de 0.195 el 26 de marzo de 2013 hasta el 9 de mayo de 2013 con un caudal de 0.098 metros cúbicos por segundo.

4.3 COMPARACIÓN CON LOS CAUDALES DE LOS VALORES PROCESADOS.

4.3.1 Análisis Temporal

Del análisis de caudales se realizó entre las distintas secciones de aforo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Sección uno y dos.**

Los caudales aforados muestran un incremento en el valor de caudal en la segunda sección con respecto a la sección anterior ver figura 4.9, esto ocurre en el 80% de los aforos realizados, el incremento de caudal se da en un rango de 3% a 25%.

En el período de aforos, surge una disminución de caudal de la sección dos con respecto a la sección uno del 24 de julio y 28 de agosto, esta variación del 10% y 3% respectivamente lo cual se puede considerar como una variación producida por la saturación del suelo generando un intercambio de flujo entre el cauce y el lecho del río.

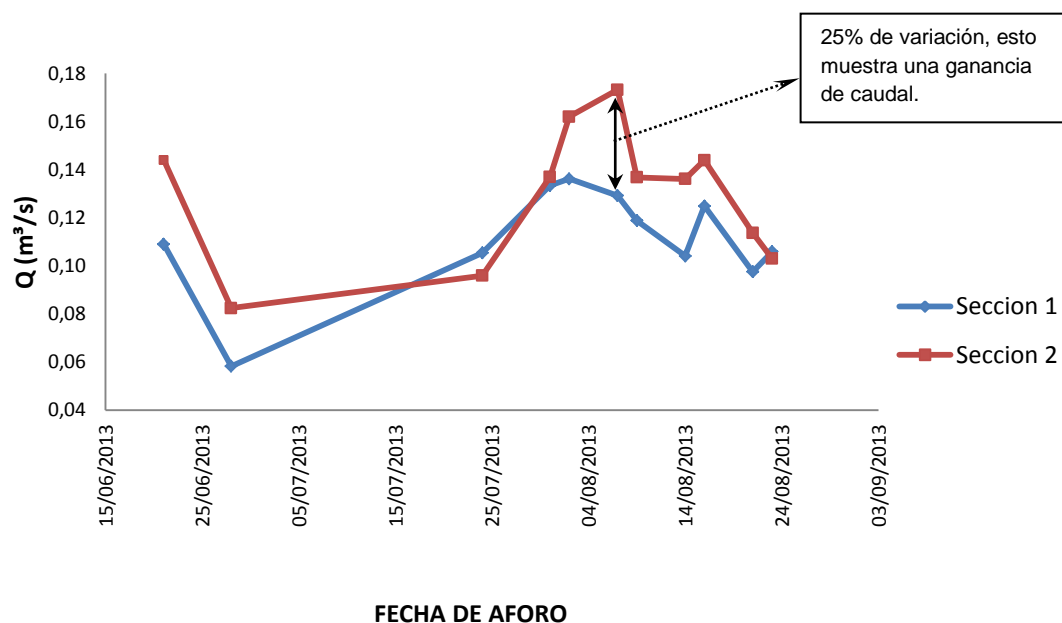


Gráfico 4. 9. Caudales medidos en la sección 1 y 2, durante el tiempo de aforos.

- **Sección dos y tres**

La comparación de caudales entre la sección 2 y 3 muestra una disminución del mismo en la sección 3 (ver Figura 4.10) en la mayoría de los aforos, esta disminución presenta un rango de entre 6% a 26%. Los tres últimos aforos correspondientes al 16, 21 y 23 de agosto presentan un cambio en la sección tres el caudal muestra un incremento, este incremento varía de 2% al 39%.

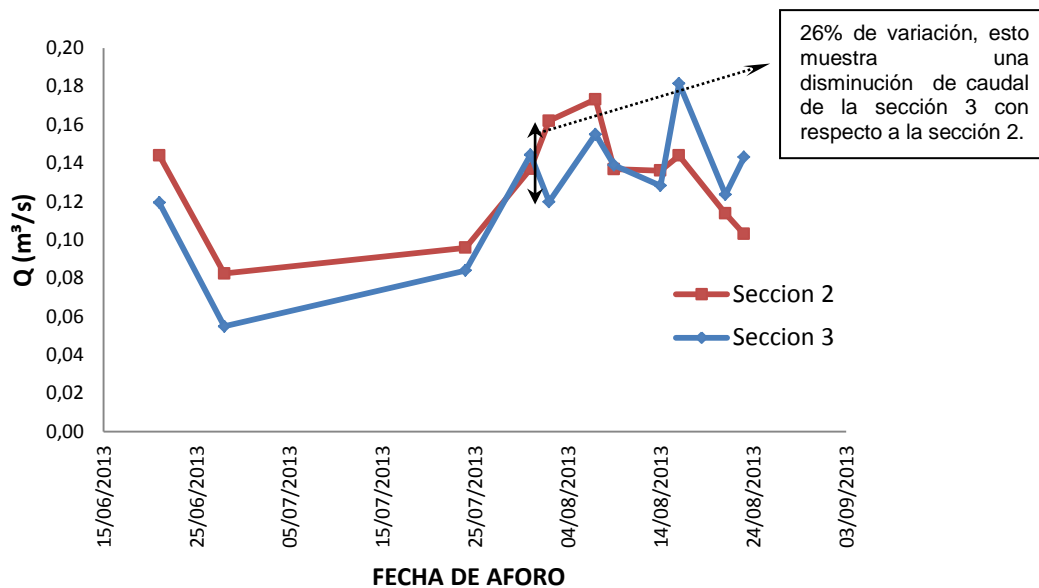


Gráfico 4. 10. Caudales de aforo de la sección 2 y 3.

Es posible que la dirección de flujo cambie; es decir que una sección reciba agua un tiempo y luego viceversa, esto depende mucho del nivel freático.

- **Sección cuatro y cinco**

La sección cuatro y cinco presenta 4 aforos presentando una variación muy pequeña de caudal de 1% a 14%. La variación pequeña de caudal y características muy similares entre secciones hacen que no sean secciones representativas, por lo que se dejó aforar dichas secciones por lo que la comparación de flujo entre la sección tres-cuatro y cinco-seis no se realizó.

- **Sección seis y siete**

La comparación entre la sección seis o sección de control y la sección siete, permite conocer la disminución de caudal existente en los cinco primeros aforos de 4% a 45% ocurriendo un intercambio de flujo del río hacia el acuífero en este tramo. Los siguientes aforos muestran una pequeña diferencia ver figura 4.11.

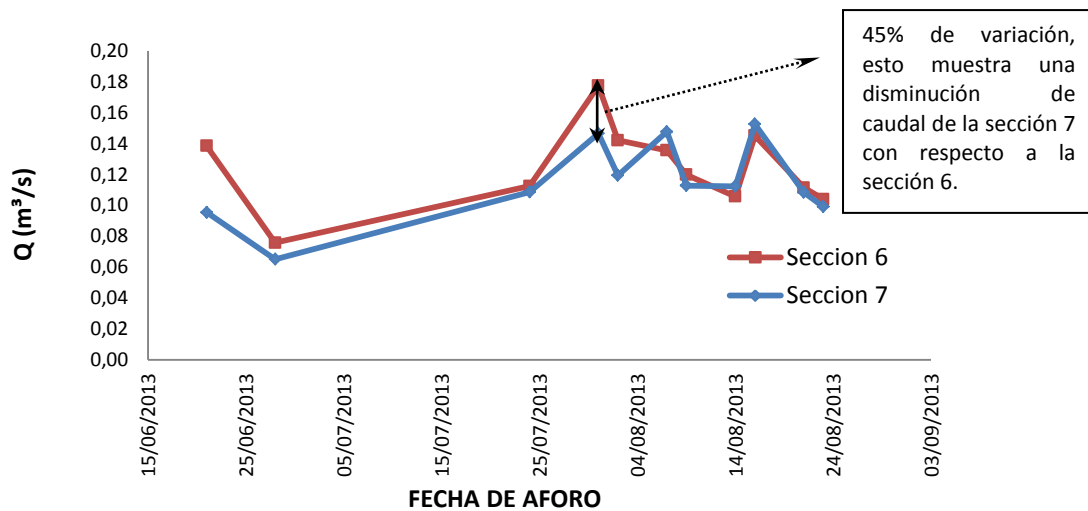


Gráfico 4. 11. Caudales de aforo sección de control y sección siete.

- **Sección ocho-nueve.**

Los aforos realizados en la sección ocho y nueve presentan una similitud en la variación de caudal con un rango de 4% a 5%. La sección nueve presenta una variación granulometría del lecho del cauce con respecto a la sección ocho.

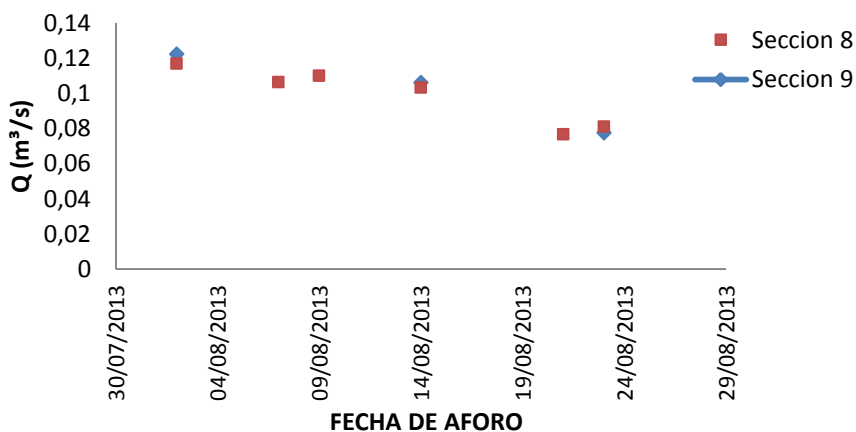


Gráfico 4. 12. Secciones de Aforo ocho y nueve.

La variación de caudal entre el primero-segunda y segunda-tercera nos indican que existe una ganancia de flujo entre las dos primeras secciones y luego una pérdida de flujo generándose un intercambio de flujo del acuífero hacia el río y viceversa. También el cuarto, séptimo y octavo aforo presenta una similitud de caudales entre sección por lo que el intercambio no es notorio.

4.3.2 Análisis Espacial

En base a los caudales obtenidos en la secciones de aforo en comparación al promedio de caudales medidos por el sensor en el lapso de tiempo que tomo la realización del aforo ya sea con molinete o flowtracker.

Del análisis realizado se obtuvieron las siguientes diferencias de caudales entre 0.0003 y 0.0637 metros cúbicos por segundo en la sección uno con respecto a la sección de control; presentando un valor superior al medido en la sección de control correspondiente al 2 de agosto del año del 2013 de 0.0117 metros cúbicos por segundo y presenta una máxima diferencia de 0.063 y una diferencia acumulada de 0.281 y desviación de 0.017 (Ver figura 4.13).

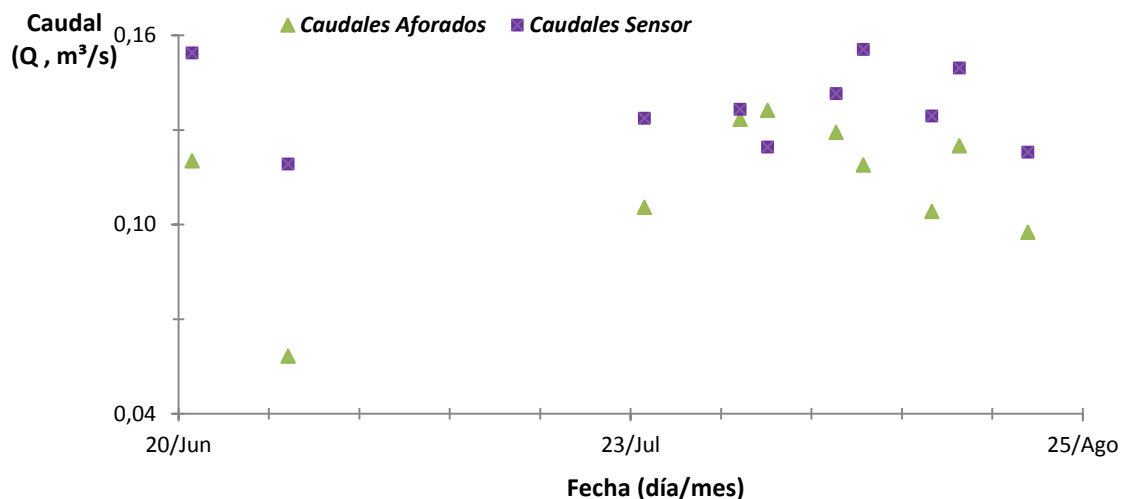


Gráfico 4. 13. Caudales aforados en la sección 1 y caudales de la sección de control.

Los caudales de la sección 2 muestran una tendencia intercalada en donde los valores de caudales presentan un aumento y disminución con respecto a la sección de control (ver Figura 4.14); presentando la característica de aumento

de caudal en 3 aforos consecutivos correspondientes al 31 de julio, 2 y 7 de agosto; La disminución del caudal se presentan el lapsos de dos fechas consecutivas y lapsos intercalados. Con un incremento de caudal de 0.005 hasta 0.0384 metros cúbicos por segundo; y disminución de caudal de 0.0049 hasta 0.0220 metros cúbicos por segundo con una desviación de 0.013 y una diferencia acumulada de 0.139 metros cúbicos por segundo.

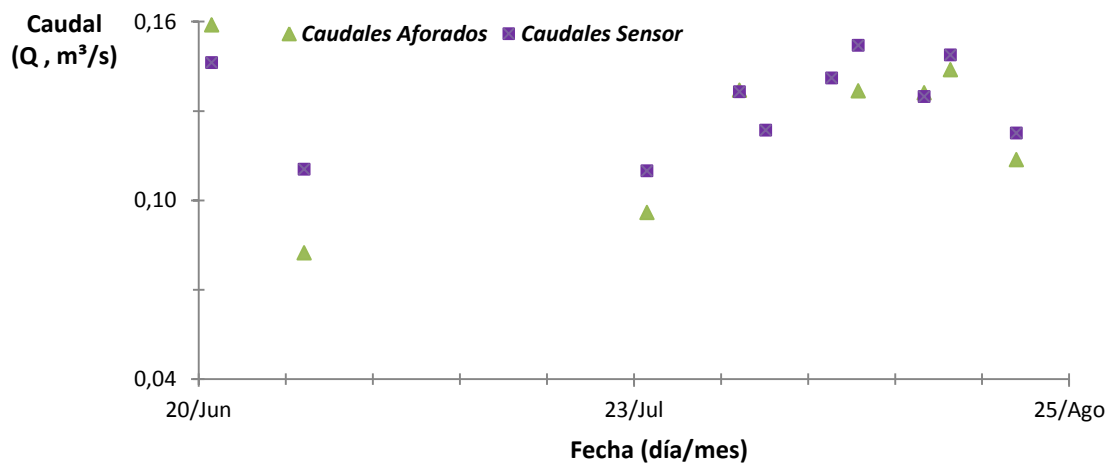


Gráfico 4. 14. Caudales aforados en la sección 2 y caudales de la sección de control.

Los caudales medidos en la sección 3 comparado con los caudales obtenidos en el sensor muestran una tendencia parecida a la sección antes descrita, muestra una disminución de caudal en 3 aforos consecutivos correspondientes a 21; 28 de junio y al 24 de julio. La disminución de caudal con respecto la sección de control presenta un rango de valores de 0.0047 a 0.0571 metros cúbicos por segundo con una desviación de 0.0174, una diferencia acumulada de 0.1762 metros cúbicos por segundo y un incremento de caudal entre 0.0003 hasta 0.0367 metros cúbicos por segundo.

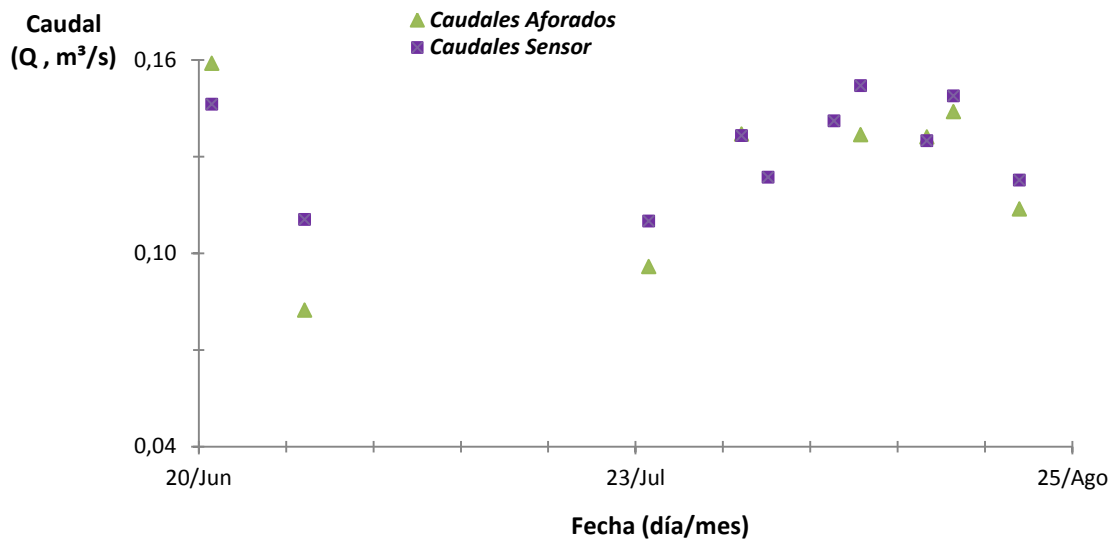


Gráfico 4. 15. Caudales aforados en la sección 3 y caudales de la sección de control.

Los caudales medidos en la sección 5 comparados con los de la sección de control presentan una diferencia de caudales de 0.003 a 0.0225 metros cúbicos generado en los dos últimos aforos en un lapso de ocho días, con una desviación de 0.0085 y una diferencia acumulada de 0.0578 metros cúbicos por segundo; el resto de valores se encuentran cercanos a los obtenidos con el sensor.

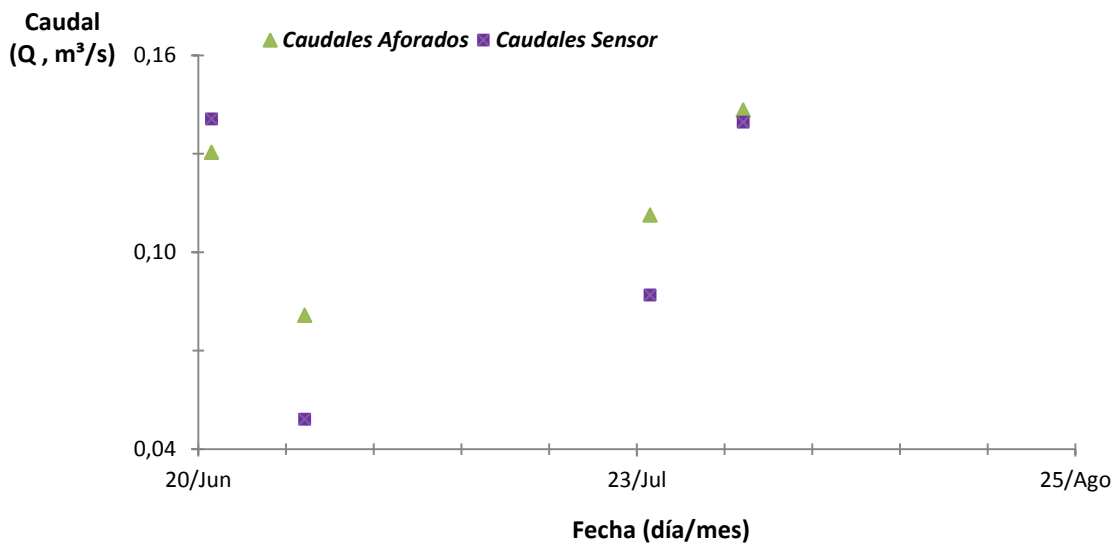


Gráfico 4. 16. Caudales aforados en la sección 5 y caudales de la sección de control.

Los caudales correspondiente a las sección 7 y la sección de control resulta en valores intercalados entre aumento y disminución de caudal (ver grafica 4.17); los valores de aumento de caudal varían de 0.0040 a 0.0175 metros cúbicos por segundo y una disminución de caudal de 0.0047 a 0.0382 metros cúbicos por segundo.

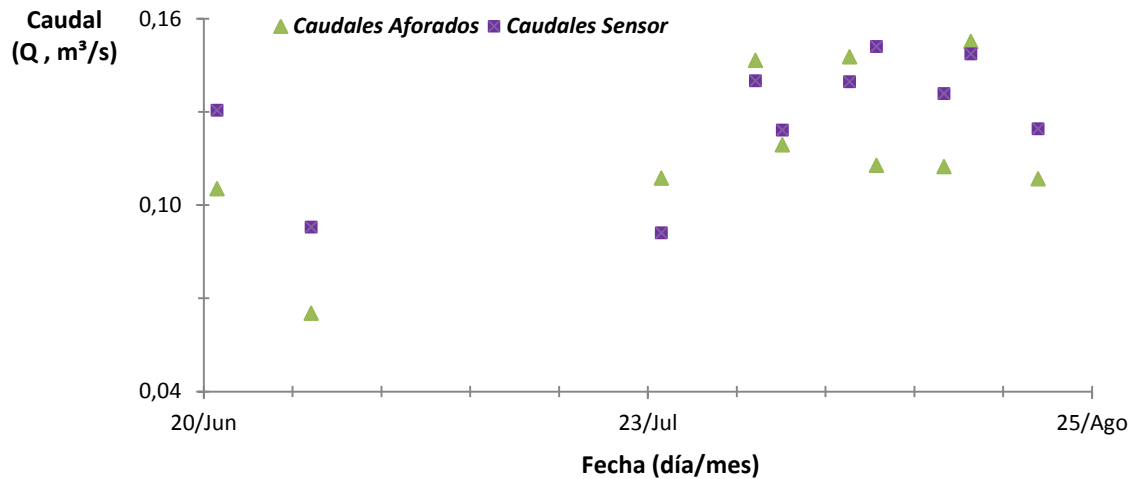


Gráfico 4. 17. Caudales aforados en la sección 7 y caudales de la sección de control.

Las secciones 8 y 9 con respecto a la sección de control, la diferencia de caudal oscila entre 0.0035 a 0.0560 metros cúbicos por segundo.

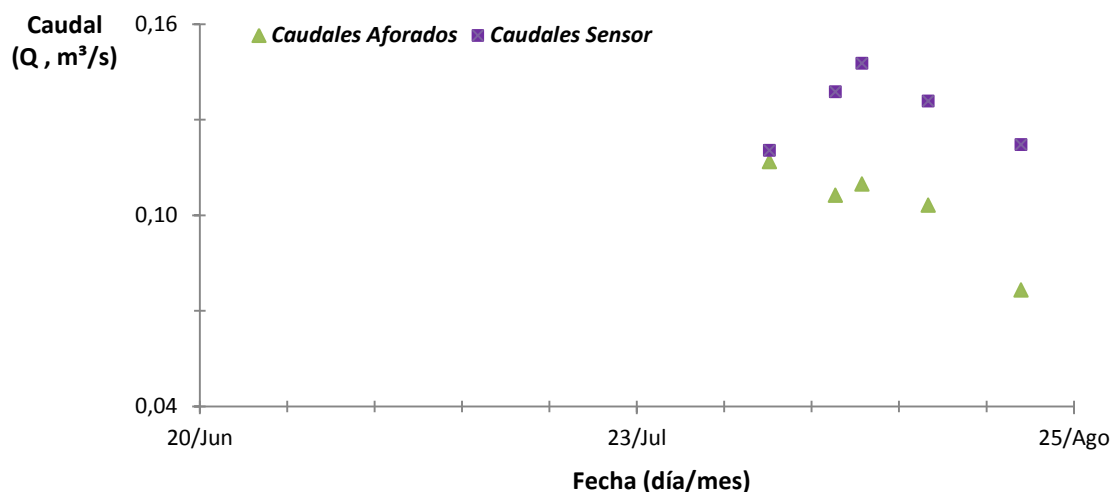


Gráfico 4. 18. Caudales aforados en la sección 8 y caudales de la sección de control.

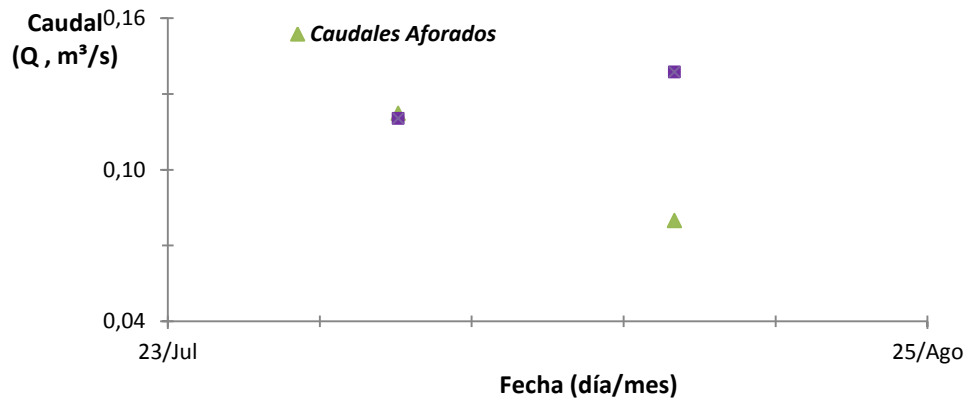


Gráfico 4. 19. Caudales aforados en la sección 9 y caudales de la sección de control.

4.4 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.

El coeficiente de rugosidad se obtuvo mediante la determinación de la composición granulométrica que aporta para la determinación de diámetros efectivos.

4.4.1 Granulometría

Las curvas granulométricas proporcionan un criterio de clasificación; clasificándose las cuatro primeras muestras como suelo bien graduado no uniforme y las siguientes como bien graduada continua (Ver anexo 2).

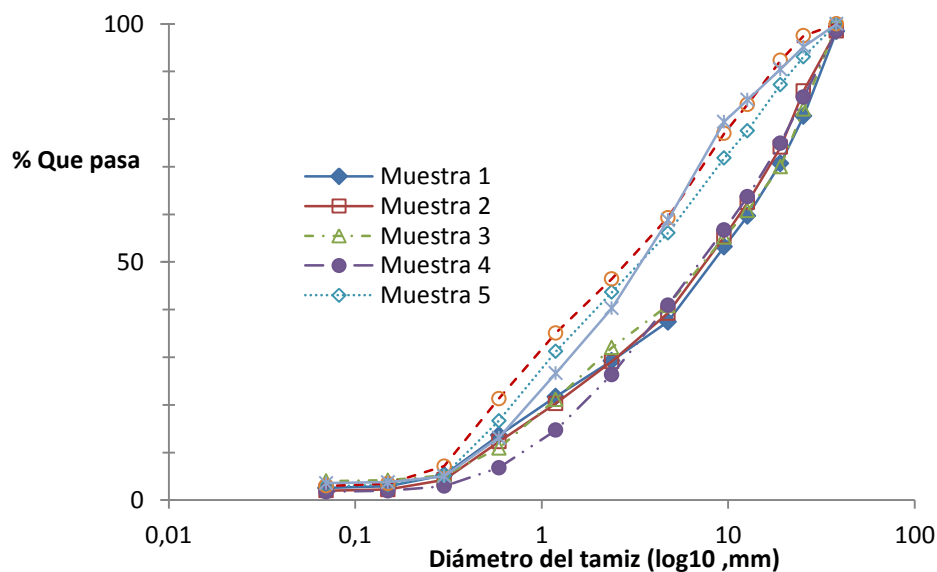


Gráfico 4. 20. Curvas Granulométricas



Del análisis realizado de las curvas granulométricas se obtuvo los diámetros efectivos y coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc) presentado en las siguientes tablas:

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
$\Phi 10$	0.46	0.51	0.54	0.83	0.42	0.36	0.48
$\Phi 30$	2.60	2.59	2.16	2.97	1.14	0.97	1.48
$\Phi 50$	8.55	7.95	7.79	7.49	3.59	3.04	3.63
$\Phi 60$	12.90	11.60	12.24	11.01	5.94	4.95	5.04
$\Phi 65$	15.79	14.08	15.62	13.44	7.46	6.30	6.19
$\Phi 84$	27.80	24.38	26.74	25.00	16.95	13.34	12.66
$\Phi 90$	32.07	29.50	31.00	30.31	22.06	17.48	18.62
$\Phi 95$	35.63	34.53	34.55	34.87	28.87	22.33	25.14

Tabla 4. 3. Valores de los diámetros efectivos de cada muestra

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Cu	27.75	22.85	22.54	13.20	14.09	13.82	10.52
Cc	1.12	1.14	0.70	0.96	0.52	0.53	0.91

Tabla 4. 4. Coeficiente de uniformidad y curvatura.

Los valores del coeficiente de uniformidad de todas las muestras son superiores a rangos establecidos dando a entender que se trata de un suelo no uniforme. El coeficiente de curvatura presenta un valor mínimo de 0.53 y máximo de 1.14 lo que permite entender que el lecho del río en todas sus secciones presenta un suelo bien graduado.

El coeficiente de rugosidad se determina en función del diámetro de las partículas; de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Strickler (1923)} \quad n = 0.047 D_{50}^{1/6} \quad (2.11)$$

$$\text{Meyer-Peter and Müller, (1948)} \quad n = 0.038 D_{90}^{1/6} \quad (2.12)$$

$$\text{Raudkivi, (1990)} \quad n = 0.013 D_{65}^{1/6} \quad (2.14)$$

En donde D_{50} , D_{90} representan el diámetro en metros y D_{65} es el diámetro en milímetros del material que pasa el 50%, 65%,75% y 90%.

ECUACIONES	Entre Sección 1 y 2		Entre Sección 5 y 6		Entre sección 8 y T2		Entre sección T2 y 9
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Stricker	0.021	0.021	0.021	0.021	0.018	0.018	0.018
Meyer-Peter y Muller	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.019	0.020
Raudkivi	0.021	0.020	0.021	0.020	0.018	0.018	0.018

Tabla 4. 5. Coeficientes de rugosidad.

Así el valor determinado en base del análisis granulométrico para las secciones uno a siete es de 0.021, este valor fue determinado a través de las tres fórmulas antes expuestas (Ver tabla 4.5), de acuerdo a que son tramos bien alineados y trabaja como un canal de tierra con una baja pendiente media de 0.94%.

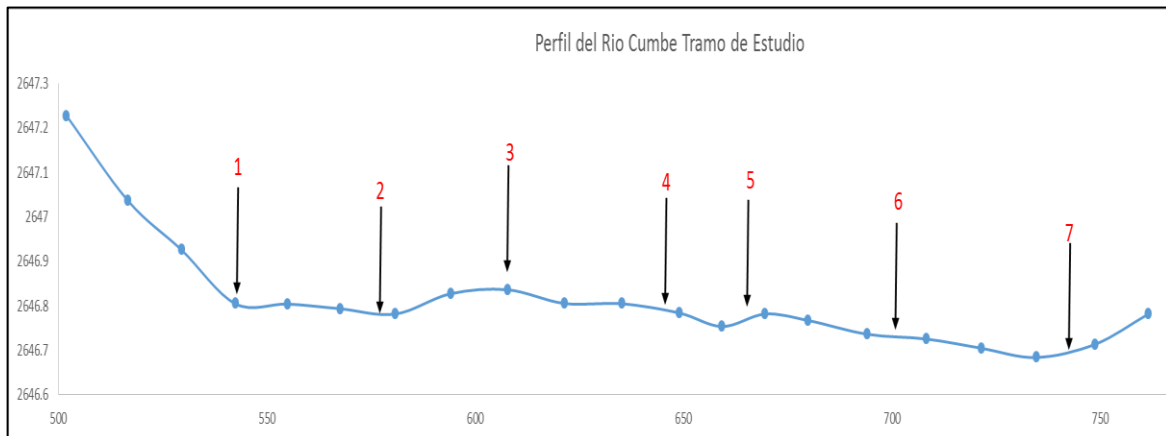


Gráfico 4. 21. Perfil longitudinal entre las secciones de aforo uno a siete.

La sección ocho y nueve presentan una variación el coeficiente de rugosidad debido a la presencia notoria de vegetación la cual cubre la mitad de la superficie libre del cauce y cambio de pendiente u hondonada de 1.34% (ver figura 4.22) presentando variación de profundidad notoria entre secciones de aforo por lo que se obtuvo el valor a través de la ecuación de tanteo de Cowan (1956).

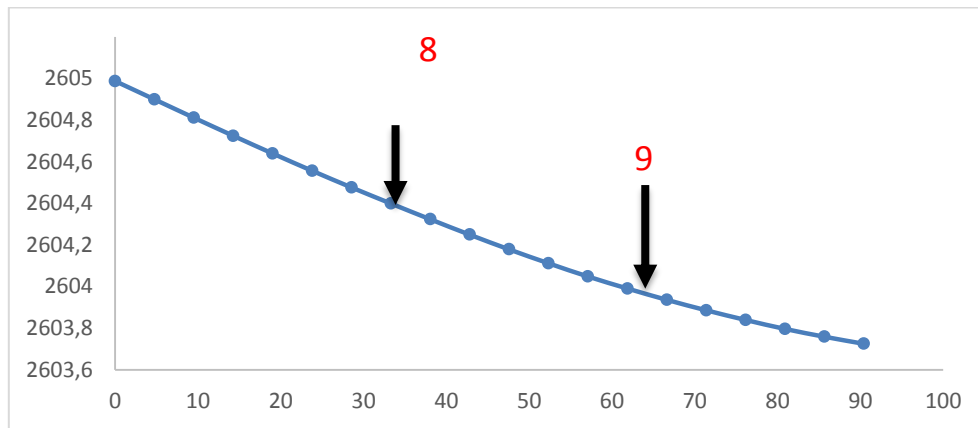


Gráfico 4. 22. Perfil de las secciones de aforo ocho y nueve.

Se procedió a dar valores de acuerdo a las características de la sección según la ecuación de (Cowan, 1956), Ver tabla 4.6.

	Rango	Valor Impuesto
nb	0.028-0.70	0.028
n1	0.0-0.02	0
n2	0.0-0.015	0
n3	0.0-0.05	0
n4	0.002-0.1	0.005
m	1.0-1.3	1

Tabla 4. 6. Valores de los factores de la ecuación de Cowan.

De acuerdo a la ecuación se tiene un coeficiente de rugosidad para la sección ocho y nueve de 0.033.

4.5 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

De acuerdo al método de la SUCS (tabla 3.2) se clasifica el suelo de acuerdo a la granulometría a partir de los porcentajes retenidos material en el tamiz No. 200; donde las cuatro primeras muestras presentan un porcentaje menor al 5% del material que pasa el tamiz número 200, permitiendo determinar que es un tipo de suelo gravoso y bien graduado, para las siguientes el resultado obtenido indica que se trata de un suelo gravoso mal graduado, debido a que sus valores están fuera del rango del coeficiente de curvatura entre 1-3, generalmente con valor menores a uno.



El tipo de suelo permitió determinar un rango de la conductividad hidráulica a través de la tabla 3.3 Permeabilidad Relativa en Función del Suelo se determinó una conductividad hidráulica con valores mayores a 1×10^{-1} cm/seg. Partiendo de la segunda tabla 3.4 se tiene los siguientes resultados.

Valores estimados de la Conductividad Hidráulica (m/día)				
Tipo de Suelo	Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter
Grava	25-2500	100-10E5	100-10E6	10-1000

Tabla 4. 7. Rango de Valores de Conductividad Hidráulica (Barbecho and Calle, 2012).



CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el estudio en un tramo del Río Cumbe, perteneciente a la microcuenca del río Cumbe se ha llegado a las siguientes conclusiones.

Los métodos para el cálculo de caudales se realizan de tres maneras, mediante aforos con instrumentos medidores de flujo Molinete, Flowtracker y sensor de nivel. En los aforos realizados durante el tiempo de estudio con los dos instrumentos se observó que con calados bajos, el molinete no presenta una buena presión al momento de medir velocidades. El Flowtracker a pesar de ser un instrumento de precisión tiene una mínima desventaja, debido que al aproximarse a los bordes da valores erróneos y negativos debido al rebote de la señal con los márgenes o algún obstáculo como vegetación, requiriendo una distancia mínima entre 12-15 cm.

Como se ha podido comprobar en las secciones de aforo utilizadas en esta tesis, durante período de aforo y una vez procesados los datos de caudal obtenidos y comparándolos entre ellos se concluyó que la hipótesis propuesta en esta tesis se cumple pues se está produciendo el intercambio de flujo en la zona hiporréica (disminución de caudal y aumento de caudal).

La comparación entre la sección uno y dos presenta ambos tipos intercambio, siendo más notorio que el río gana caudal desde el flujo de agua subterránea con un máximo de 25%, mientras que el río pierde caudal en la zona hiporréica debido al flujo que se infiltra a través del lecho entre el 1% al 9% del todo el caudal que incluyen errores de medición. La comparación generada entre las secciones dos y tres presenta el mismo fenómeno donde se muestran ambos tipos de intercambio; ganancia de caudal del 39%, y pierde caudal del 2% al 6% del caudal aforado que incluyen errores de medición. Concluyendo que en estas dos secciones se presenta la misma tendencia de un predominio de intercambio del acuífero hacia el agua subterránea ganando caudal.

La comparación de caudal entre la sección cuatro y cinco muestra una variación de 1% a 14% del caudal aforado esto en ambos sentidos del intercambio, del río a el agua subterránea y viceversa. Lo mismo se presentó



entre las secciones ocho y nueve donde el rango estaba entre el 4% y 5% del caudal medido, siendo este el rango de intercambio más pequeño que se presentó en todas las secciones de aforo.

El intercambio que se está presentando entre la sección seis la de control y la sección siete muestra una disminución muy notoria de caudal pues muestra rangos de 4% a 45% de variación, este intercambio no es diferente al ocurrido en la secciones desde la uno a la 5, debido que a partir de la sección seis o sección de control la sección del río es diferente en sentido de profundidad, márgenes y material ubicado en el lecho.

El coeficiente de rugosidad del río en el tramo de estudio presenta dos valores el primero pertenece al tramo que comprende las secciones 1 a 7 correspondiente a 0.021; el segundo de 0.033 correspondiente a las dos últimas secciones (ocho y nueve), estas presentan un valor diferente y elevado en comparación al anterior, debido a la presencia de factores diferentes no considerados por las fórmulas de Stricter, Meyer-Peter y Muller y Raudkivi como la presencia de vegetación, sinuosidad, cambio de pendiente etc. Estas secciones se encuentran cubiertas por vegetación en más de la mitad de la superficie de agua, generando un incremento del valor de rugosidad de acuerdo a la formula desarrollada por (Cowan, 1956) y un análisis fotográfico que permitieron la determinación de los valores de cada factor.



BIBLIOGRAFÍA

- Andrés Sahuquillo Herraiz, 2009. La importancia de las aguas subterráneas. Rev. Real Acad. Ciencias Exactas Físicas Nat. 103, 97–114.
- Arcement, G.J., Schneider, V.R., 1989. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. US Government Printing Office.
- Barbecho, J., Calle, J., 2012. Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del Río Tarqui.
- Bathurst, J.C., 2002. At-a-site variation and minimum flow resistance for mountain rivers. J. Hydrol. 269, 11–26.
- Bencala, K.E., 2000. Hyporheic zone hydrological processes. Hydrol. Process. 14, 2797–2798.
- Boven, K.D., Milhous, R., 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: theory and techniques. United States Fish Wildl. Serv. Off. Biol. Serv. FWSOBS.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., Hofstede, R., 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Earth-Sci. Rev. 79, 53–72.
- Carvajal, L.F., 2000. ANALISIS DE CAUDALES.
- Cerezo, R.G., 2003. Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos.
- Cotler, H., Mazari, M, De Anda, J., 2006. Atlas de la cuenca Lerma-Chapala: construyendo una visión conjunta.
- Cowan, W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering.
- Cruz, L.S., Bravo, I.N., 2005. MEDIDOR DIGITAL DE VELOCIDAD DE FLUJO DE AGUA.
- Custodio, E., 2000. Effects of groundwater development on the environment. Aguas Subterráneas.



- D’Angelo, D.J., Webster, J.R., Gregory, S.V., Meyer, J.L., 1993. Transient storage in Appalachian and Cascade mountain streams as related to hydraulic characteristics. *J. North Am. Benthol. Soc.* 223–235.
- Das, B., 2001. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning Latin America.
- Das, B.M., 2008. *Fundamentals of geotechnical engineering*. Cengage Learning.
- Gradín, F.C., 2011. Definición de ecosistemas fluviales: tipos de hábitats existentes.
- Herraiz, A.S., 2009. La importancia de las aguas subterráneas. *Rev. Real Acad. Ciencias Exactas Físicas Nat.* 103, 97–114.
- Hudson, N.W., 1997. *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. FAO.
- Irurtia, A.E., Butturini, A., 2009. El transporte de los materiales inorgánicos disueltos y particulados, in: *Conceptos y Técnicas En Ecología Fluvial*. pp. 85–96.
- Limerinos, J.T., 1970. *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*. US Government Printing Office.
- Meyer-Peter, E., Müller, R., 1948. Formulas for bed-load transport, in: *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*. pp. 39–64.
- Naiman, R.J., Decamps, H., McClain, M.E., 2005. *Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities*. Access Online vía Elsevier.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1978. CAPITULO V: MEDICIONES HIDROLOGICAS.
- Polo, M.J., Lafuente, P., JV, G., 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. *Estud. Zona No Saturada Suelo* 6, 209–213.
- Ramírez, C., Bocanegra, R., Sandoval, M., 1997. *PROYECTO DE MODELACION DEL RÍO CAUCA*.



- Raudkivi, A.J., 1990. Loose boundary hydraulics. Pergamon Press Oxford.
- Sandoval, J.J., 2009. Curva de Calibracion de Sedimentos Río Choluteca Estacion La Ceiba.
- Shiklomanov, I.A., 1999. World water resources: modern assessment and outlook for the 21st century. Fed. Serv. Russ. Hydrometeorol. Environ. Monit. State Hydrol. Inst. Summ. Monogr. World Water Resour. Begin. 21st Century Prep. Framew. IHP-UNESCO 51.
- Simons, D.B., Sentürk, F., 1992. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. Water Resources Publication.
- Streeter, V.L., Wylie, E.B., 2000. Mecanica de los Fluidos, Octava Edicion. ed. McGraw Hill, Mexico.
- Toledo, A., 2006. Agua, hombre y paisaje. Instituto Nacional de Ecología.
- Triska, F.J., Kennedy, V.C., Avanzino, R.J., Zellweger, G.W., Bencala, K.E., 1989. Retention and transport of nutrients in a third-order stream in northwestern California: hyporheic processes. Ecology 1893–1905.
- Vanacker, V., Molina, A., Govers, G., Poesen, J., Deckers, J., 2007. Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. Geomorphology 87, 53–67.
- Ven Te Chow, 1994. Hidráulica de canales abiertos. McGraw Hill, Santa Fe de Bogota, Colombia.
- Williams, D.D., 1993. Nutrient and flow vector dynamics at the hyporheic/groundwater interface and their effects on the interstitial fauna. Hydrobiologia 251, 185–198.
- Younger, P.L., 2009. Groundwater in the environment: an introduction. Wiley. com.



ANEXOS

ANEXO 1. RESUMEN DE LOS CAUDALES DE LA CAMPAÑA DE AFOROS

Fecha	Hora	Estación	Q molinete (m3/s)	Q flow tracker (m3/s)	Altura agua flume (m)	Diferencia H (m)
26/03/2013	14:40	6	0.2000		0.185	0.004
28/03/2013	15:30	6	0.1489		0.16	0.009
05/04/2013	14:25	6	0.1115		0.133	0.0214
11/04/2013	11:30	6	0.0983		0.133	-0.0001
10/05/2013	11:40	6	0.0787		0.108	0.0101
07/06/2013	10:55	6	0.1380		0.175	
21/06/2013	11:21	1	0.1090			
21/06/2013	11:58	2	0.1440			
21/06/2013	12:29	3	0.1194			
21/06/2013	13:00	4	0.1114			
21/06/2013	13:28	5	0.1184			
21/06/2013	13:58	6	0.1385		0.159	0.0008
21/06/2013	15:06	7	0.0955			
28/06/2013	10:22	1	0.0554	0.0582		
28/06/2013	11:45	2	0.0885	0.0824		
28/06/2013	14:18	3	0.0422	0.0549		
28/06/2013	15:15	4		0.0653		
28/06/2013	15:50	5		0.0808		
28/06/2013	16:31	6		0.0758	0.111	-0.0249
28/06/2013	16:45	7		0.0651		
03/07/2013	13:44	6	0.0749	0.0932	0.114	-0.0023
24/07/2013	10:16	1		0.1054		
24/07/2013	10:48	2		0.0959		
24/07/2013	11:14	3		0.0840		
24/07/2013	11:49	4		0.1128		
24/07/2013	12:10	5		0.1113		
24/07/2013	12:58	6		0.1125	0.131	
24/07/2013	12:36	7		0.1086		
31/07/2013	10:07	1		0.1334		
31/07/2013	10:34	2		0.1370		
31/07/2013	11:05	3		0.1443		
31/07/2013	11:34	4		0.1634		
31/07/2013	12:03	5		0.1433		
31/07/2013	12:27	6		0.1774	0.188	-0.0288
31/07/2013	12:42	7		0.1466		
02/08/2013	9:56	1		0.1362		



02/08/2013	10:17	2		0.162		
02/08/2013	10:39	3		0.1198		
02/08/2013	11:00	6		0.1421	0.151	-0.0092
02/08/2013	11:14	7		0.1194		
02/08/2013	11:46	8		0.1168		
02/08/2013	12:23	9		0.1223		
07/08/2013	9:53	1		0.1292		
07/08/2013	10:18	2		0.1732		
07/08/2013	10:40	3		0.155		
07/08/2013	11:09	6		0.1356	0.148	-0.0106
07/08/2013	11:24	7		0.1477		
07/08/2013	11:46	8		0.1063		
09/08/2013	9:12	1		0.1188		
09/08/2013	9:37	2		0.1368		
09/08/2013	9:59	3		0.1389		
09/08/2013	10:29	6		0.1198	0.14	-0.0026
09/08/2013	10:42	7		0.1128		
09/08/2013	11:44	8		0.1098		
14/08/2013	9:58	1		0.1041		
14/08/2013	10:17	2		0.1361		
14/08/2013	10:37	3		0.1282		
14/08/2013	11:02	6		0.1057	0.13	-0.0311
14/08/2013	11:16	7		0.1124		
14/08/2013	12:38	8		0.1031		
14/08/2013	12:58	9		0.0798		
16/08/2013	9:50	1		0.1249		
16/08/2013	10:13	2		0.1439		
16/08/2013	10:55	3		0.1815		
16/08/2013	11:19	6		0.1451	0.16	-0.0162
16/08/2013	11:31	7		0.1526		
21/08/2013	9:48	1		0.0975		
21/08/2013	10:12	2		0.1137		
21/08/2013	10:29	3		0.1236		
21/08/2013	10:59	6		0.1114	0.135	-0.0188
21/08/2013	11:37	7		0.1084		
21/08/2013	12:16	8		0.0765		
23/08/2013	10:51	1		0.1059		
23/08/2013	11:28	2		0.1030		
23/08/2013	11:49	3		0.1431		
23/08/2013	12:16	6	0.0882	0.1040	0.13	-0.0247
23/08/2013	12:36	7		0.0991		
23/08/2013	13:23	8		0.0810		
23/08/2013	13:52	9		0.0774		



CAUDALES MEDIDOS CON MOLINETE

UNIVERSIDAD DE CUENCA -ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección de Control				
Fecha: 04/11/2013		Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio: 11:30		d		1,487 m						
Hora Fin: 11:45		A1		0,805						
Realizado por:		A0		0,5						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,133	0,080	60	1,090	1,090	1,090	0,125	0,027	0,029	
0,25	0,133	0,080	60	0,961	0,961	0,961	0,25	0,033	0,032	
0,5	0,133	0,080	60	1,390	1,390	1,390	0,125	0,027	0,037	
Profundidad Media (m):	0,13							Caudal Total (m ³ /s) :		0,098

UNIVERSIDAD DE CUENCA -ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección de Control				
Fecha: 05/10/2013		Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio: 11:40		d		1,51 m						
Hora Fin: 12:00		A1		0,78						
Realizado por:		A0		0,5						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,108	0,065	60	1,100	1,100	1,100	0,125	0,021	0,023	
0,25	0,108	0,065	60	0,924	0,924	0,924	0,25	0,027	0,025	
0,5	0,108	0,065	60	1,450	1,450	1,450	0,125	0,021	0,031	
Profundidad Media (m):	0,11							Caudal Total (m ³ /s) :		0,079

UNIVERSIDAD DE CUENCA -ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección de Control				
Fecha: 06/07/2013		Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio: 10:55		d		m						
Hora Fin: 11:00		A1		0,91						
Realizado por:		A0		0,5						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,175	0,105	60	0,982	0,982	0,982	0,125	0,040	0,039	
0,25	0,175	0,105	60	1,160	1,160	1,160	0,25	0,044	0,051	
0,5	0,175	0,105	60	1,210	1,210	1,210	0,125	0,040	0,048	
Profundidad Media (m):	0,18							Caudal Total (m ³ /s) :		0,138



UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE									
Río : Cumbe							Equipo: Molinete		Sección 1
Fecha: 21/06/2013							Abscisa Inicial: 0 m		
Hora Inicio: 11:21							Abscisa Final: 2 m		
Hora Fin: 11:47									
Realizado por:									
Aforo Cumbe 21/06/2013									
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)
		(m)	(%)						
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000
0,2	0,1	0,060	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,02	0,000
0,4	0,181	0,109	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,04	0,000
0,6	0,185	0,111	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,04	0,000
0,8	0,23	0,138	60	0,319	0,319	0,319	0,20	0,05	0,015
1	0,325	0,195	60	0,630	0,630	0,630	0,20	0,07	0,041
1,2	0,301	0,181	60	0,492	0,492	0,492	0,20	0,06	0,030
1,4	0,197	0,118	60	0,504	0,504	0,504	0,20	0,04	0,020
1,6	0,07	0,042	60	0,279	0,279	0,279	0,20	0,01	0,004
1,8	0,05	0,030	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,01	0,000
2	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000
Profundidad Media (m): 0,19							Caudal Total (m ³ /s): 0,109		

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE									
Río : Cumbe							Equipo: Molinete		Sección 2
Fecha: 21/06/2013							Abscisa Inicial: 0 m		
Hora Inicio: 11:58							Abscisa Final: 2,3 m		
Hora Fin: 12:19									
Realizado por:									
Aforo Cumbe 21/06/2013									
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)
		(m)	(%)						
0	0,05	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,12	0,01	0,000
0,23	0,208	0,125	60	0,223	0,223	0,223	0,23	0,05	0,011
0,46	0,189	0,113	60	0,401	0,401	0,401	0,23	0,04	0,017
0,69	0,32	0,192	60	0,303	0,303	0,303	0,23	0,07	0,022
0,92	0,208	0,125	60	0,361	0,361	0,361	0,23	0,05	0,017
1,15	0,179	0,107	60	0,522	0,522	0,522	0,23	0,04	0,021
1,38	0,175	0,105	60	0,510	0,510	0,510	0,23	0,04	0,021
1,61	0,167	0,100	60	0,488	0,488	0,488	0,23	0,04	0,019
1,84	0,148	0,089	60	0,458	0,458	0,458	0,23	0,03	0,016
2,07	0,075	0,045	60	0,000	0,000	0,000	0,23	0,02	0,000
2,3	0,03	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,12	0,00	0,000
Profundidad Media (m): 0,24							Caudal Total (m ³ /s): 0,144		



UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección 3				
Fecha: 21/6/2013		Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio: 12:29		Abscisa Final:		1,98 m						
Hora Fin: 12:49										
Realizado por:										
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,02	0,012	60	0,000	0,000	0,000	0,11	0,00	0,000	
0,22	0,115	0,069	60	0,409	0,409	0,409	0,22	0,03	0,010	
0,44	0,134	0,080	60	0,583	0,583	0,583	0,22	0,03	0,017	
0,66	0,116	0,070	60	0,634	0,634	0,634	0,22	0,03	0,016	
0,88	0,125	0,075	60	0,421	0,421	0,421	0,22	0,03	0,012	
1,1	0,122	0,073	60	0,549	0,549	0,549	0,22	0,03	0,015	
1,32	0,145	0,087	60	0,634	0,634	0,634	0,22	0,03	0,020	
1,54	0,17	0,102	60	0,539	0,539	0,539	0,22	0,04	0,020	
1,76	0,085	0,051	60	0,480	0,480	0,480	0,22	0,02	0,009	
1,98	0,02	0,012	60	0,000	0,000	0,000	0,11	0,00	0,000	
Profundidad Media (m):		0,11		Caudal Total (m ³ /s) :						0,119

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección 4				
Fecha: 21/6/2013		Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio: 13:00		Abscisa Final:		2 m						
Hora Fin: 13:17										
Realizado por:										
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000	
0,2	0,078	0,047	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,02	0,000	
0,4	0,073	0,044	60	0,320	0,320	0,320	0,20	0,01	0,005	
0,6	0,105	0,063	60	0,368	0,368	0,368	0,20	0,02	0,008	
0,8	0,127	0,076	60	0,746	0,746	0,746	0,20	0,03	0,019	
1	0,11	0,066	60	0,518	0,518	0,518	0,20	0,02	0,011	
1,2	0,148	0,089	60	0,659	0,659	0,659	0,20	0,03	0,020	
1,4	0,207	0,124	60	0,690	0,690	0,690	0,20	0,04	0,029	
1,6	0,131	0,079	60	0,784	0,784	0,784	0,20	0,03	0,021	
1,8	0,035	0,021	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,01	0,000	
2	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000	
Profundidad Media (m):		0,09		Caudal Total (m ³ /s) :						0,111



UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río :	0			Equipo:	Molinete			Sección		5
Fecha:	21/6/2013			Abscisa Inicial:	0 m					
Hora Inicio:	13:28			Abscisa Final:	2,2 m					
Hora Fin:	13:49			Realizado por:						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,11	0,00	0,000	
0,22	0,084	0,050	60	0,319	0,319	0,319	0,22	0,02	0,006	
0,44	0,097	0,058	60	0,366	0,366	0,366	0,22	0,02	0,008	
0,66	0,119	0,071	60	0,492	0,492	0,492	0,22	0,03	0,013	
0,88	0,119	0,071	60	0,728	0,728	0,728	0,22	0,03	0,019	
1,1	0,144	0,086	60	0,517	0,517	0,517	0,22	0,03	0,016	
1,32	0,185	0,111	60	0,556	0,556	0,556	0,22	0,04	0,023	
1,54	0,209	0,125	60	0,527	0,527	0,527	0,22	0,05	0,024	
1,76	0,139	0,083	60	0,240	0,240	0,240	0,22	0,03	0,007	
1,98	0,125	0,075	60	0,078	0,078	0,078	0,22	0,03	0,002	
2,2	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,11	0,00	0,000	
Profundidad Media (m):		0,10						Caudal Total (m ³ /s) :		0,118

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río :	0			Equipo:	Molinete			Sección de Control		
Fecha:	21/6/2013			Abscisa Inicial:	0 m					
Hora Inicio:	13:58			Abscisa Final:	1,445 m					
Hora Fin:	14:04			A1	0,889					
Realizado por:				A0	0,5					
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,159	0,095	60	1,040	1,040	1,040	0,125	0,035	0,037	
0,25	0,159	0,095	60	1,350	1,350	1,350	0,250	0,040	0,054	
0,5	0,159	0,095	60	1,360	1,360	1,360	0,125	0,035	0,048	
Profundidad Media (m):		0,16						Caudal Total (m ³ /s) :		0,138

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río :	0			Equipo:	Molinete			Sección		7
Fecha:	21/6/2013			Abscisa Inicial:	0 m					
Hora Inicio:	15:06			Abscisa Final:	1,6 m					
Hora Fin:	15:25			Realizado por:						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000	
0,2	0,094	0,056	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,02	0,000	
0,4	0,181	0,109	60	0,326	0,326	0,326	0,20	0,04	0,012	
0,6	0,186	0,112	60	0,472	0,472	0,472	0,20	0,04	0,018	
0,8	0,223	0,134	60	0,612	0,612	0,612	0,20	0,04	0,027	
1	0,252	0,151	60	0,517	0,517	0,517	0,20	0,05	0,026	
1,2	0,223	0,134	60	0,287	0,287	0,287	0,20	0,04	0,013	
1,4	0,211	0,127	60	0,000	0,000	0,000	0,20	0,04	0,000	
1,6	0,164	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,02	0,000	
Profundidad Media (m):		0,15						Caudal Total (m ³ /s) :		0,096



UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe Fecha: 28/6/2013 Hora Inicio: 10:22 Hora Fin: 11:20 Realizado por:							Equipo: Flow Tracker Abcisa Inicial: 0 m Abcisa Final: 1,48 m		Sección 1	
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abcisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,08	0,00	0,000	
0,15	0,068	0,041	60	0,049	0,049	0,049	0,15	0,01	0,000	
0,3	0,111	0,067	60	0,000	0,000	0,000	0,15	0,02	0,000	
0,45	0,137	0,082	60	0,199	0,199	0,199	0,15	0,02	0,004	
0,6	0,183	0,110	60	0,275	0,275	0,275	0,15	0,03	0,008	
0,75	0,244	0,146	60	0,255	0,255	0,255	0,15	0,04	0,009	
0,9	0,274	0,164	60	0,368	0,368	0,368	0,15	0,04	0,015	
1,05	0,279	0,167	60	0,165	0,165	0,165	0,15	0,04	0,007	
1,2	0,269	0,161	60	0,295	0,295	0,295	0,15	0,04	0,012	
1,35	0,197	0,118	60	0,000	0,000	0,000	0,14	0,03	0,000	
1,48	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,06	0,00	0,000	
Profundidad Media	0,15							Caudal Total (m ³ /s) :		0,055

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe Fecha: 28/06/2013 Hora Inicio: 11:45 Hora Fin: 12:22 Realizado por:							Equipo: Molinete Abcisa Inicial: 0 m Abcisa Final: 1,9 m		Sección 2	
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abcisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000	
0,2	0,123	0,074	60	0,000	0,000	0,000	0,25	0,03	0,000	
0,5	0,126	0,076	60	0,313	0,313	0,313	0,20	0,03	0,008	
0,6	0,142	0,085	60	0,387	0,387	0,387	0,15	0,02	0,008	
0,8	0,154	0,092	60	0,446	0,446	0,446	0,20	0,03	0,014	
1	0,154	0,092	60	0,516	0,516	0,516	0,20	0,03	0,016	
1,2	0,141	0,085	60	0,470	0,470	0,470	0,20	0,03	0,013	
1,4	0,134	0,080	60	0,421	0,421	0,421	0,20	0,03	0,011	
1,6	0,133	0,080	60	0,407	0,407	0,407	0,20	0,03	0,011	
1,8	0,114	0,068	60	0,432	0,432	0,432	0,15	0,02	0,007	
1,9	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,05	0,00	0,000	
Profundidad Media	0,12							Caudal Total (m ³ /s) :		0,089



UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE											
Río : Cumbe		Equipo: Molinete					Sección 3				
Fecha: 28/06/2013		Abscisa Inicial: 0 m									
Hora Inicio: 14:18		Abscisa Final: 1,8 m									
Hora Fin: 14:37											
Realizado por:											
Aforo Cumbe 21/06/2013											
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)		
		(m)	(%)								
0	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000		
0,2	0,089	0,053	60	0,230	0,230	0,230	0,20	0,02	0,004		
0,4	0,076	0,046	60	0,401	0,401	0,401	0,20	0,02	0,006		
0,6	0,067	0,040	60	0,393	0,393	0,393	0,20	0,01	0,005		
0,8	0,061	0,037	60	0,472	0,472	0,472	0,20	0,01	0,006		
1	0,06	0,036	60	0,368	0,368	0,368	0,20	0,01	0,004		
1,2	0,066	0,040	60	0,478	0,478	0,478	0,20	0,01	0,006		
1,4	0,089	0,053	60	0,322	0,322	0,322	0,20	0,02	0,006		
1,6	0,107	0,064	60	0,212	0,212	0,212	0,20	0,02	0,005		
1,8	0	0,000	60	0,000	0,000	0,000	0,10	0,00	0,000		
Profundidad Media		0,08								Caudal Total (m ³ /s) :	0,042

UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE											
Río : 0		Equipo: Molinete					Sección de Control				
Fecha: 28/06/2013		Abscisa Inicial: 0 m									
Hora Inicio: 16:31		d					1,56 m				
Hora Fin: 16:45		A1					0,71				
Realizado por:		A0					0,5				
Aforo Cumbe 21/06/2013											
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)		
		(m)	(%)								
0	0,111	0,067	60	0,557	0,557	0,557	0,125	0,020	0,011		
0,25	0,111	0,067	60	0,595	0,595	0,595	0,250	0,028	0,017		
0,5	0,111	0,067	60	0,838	0,838	0,838	0,125	0,020	0,017		
Profundidad Media		0,11								Caudal Total (m ³ /s) :	0,044



UNIVERSIDAD DE CUENCA -ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección de Control				
Fecha:	07/03/2013	Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio:	13:44	d		1,52 m						
Hora Fin:	13:52	A1		0,771						
Realizado por:		A0		0,5						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,114	0,068	60	0,903	0,903	0,903	0,125	0,022	0,020	
0,25	0,114	0,068	60	1,180	1,180	1,180	0,25	0,029	0,034	
0,5	0,114	0,068	60	0,977	0,977	0,977	0,125	0,022	0,021	
Profundidad Media (m):		0,11						Caudal Total (m ³ /s) :		0,075

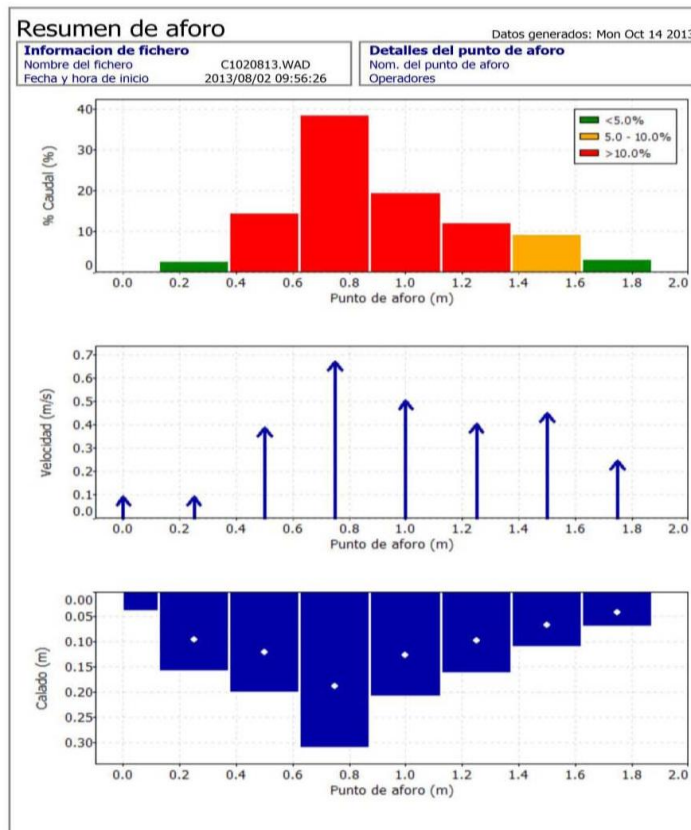
UNIVERSIDAD DE CUENCA -ESTUDIO DEL INTERCAMBIO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRANEA EN EL RIO CUMBE										
Río : Cumbe		Equipo:		Molinete		Sección de Control				
Fecha:	23/08/2013	Abscisa Inicial:		0 m						
Hora Inicio:	13:08	d		1,53 m						
Hora Fin:	13:25	A1		0,785						
Realizado por:		A0		0,5						
Aforo Cumbe 21/06/2013										
Abscisa (m)	Profundidad (m)	Profundidad de Observación		Velocidad (m/s)	Velocidad Media 1 (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Ancho Subsección (m)	Área Subsección (m ²)	Caudal Parcial (m ³ /s)	
		(m)	(%)							
0	0,13	0,078	60	1,040	1,040	1,040	0,125	0,026	0,027	
0,25	0,13	0,078	60	1,080	1,080	1,080	0,25	0,033	0,035	
0,5	0,13	0,078	60	1,040	1,040	1,040	0,125	0,026	0,027	
Profundidad Media (m):		0,13						Caudal Total (m ³ /s) :		0,088

CAUDALES MEDIDOS CON FLOWTRACKER

Sección 1

Resumen de aforo				Datos generados: Mon Oct 14 2013								
Información de fichero		C1020813.WAD		Detalles del punto de aforo								
Nombre del fichero		C1020813.WAD		Nom. del punto de aforo								
Fecha y hora de inicio		2013/08/02 09:56:26		Operadores								
Información del sistema		FlowTracker		Unidades técnicas (Metrico)		Incertidumbre del aforo						
Tipo de sensor		FlowTracker		Distancia		m						
Número de serie #		P3867		Velocidad		m/s						
Versión de CPU		3.9		Area		m ²						
Versión de software		2.30		Caudal		m ³ /s						
Factor de corrección montaje		0.0%										
Resumen												
Int. de promediado		40		# Estaciones		9						
Margen de inicio		Mizq		Ancho total		2.000						
SNR promedio		33.7 dB		Area total		0.312						
Temp promedio		12.25 °C		Calado medido		0.156						
Ecuac. Caudal		Area central		Velocidad media		0.4371						
				Caudal total		0.1362						
Resultados de la medida												
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	09:56	0.00	Ninguno	0.040	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0933	0.005	0.0005	0.3
1	09:57	0.25	0.6	0.160	0.6	0.064	0.0933	1.00	0.0933	0.040	0.0037	2.7
2	10:00	0.50	0.6	0.202	0.6	0.081	0.3903	1.00	0.3903	0.051	0.0197	14.5
3	10:02	0.75	0.6	0.312	0.6	0.125	0.6737	1.00	0.6737	0.078	0.0525	38.6
4	10:03	1.00	0.6	0.210	0.6	0.084	0.5058	1.00	0.5058	0.053	0.0266	19.5
5	10:05	1.25	0.6	0.162	0.6	0.065	0.4064	1.00	0.4064	0.041	0.0165	12.1
6	10:08	1.50	0.6	0.110	0.6	0.044	0.4498	1.00	0.4498	0.028	0.0124	9.1
7	10:10	1.75	0.6	0.070	0.6	0.028	0.2474	1.00	0.2474	0.018	0.0043	3.2
8	10:10	2.00	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres itálicos indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.

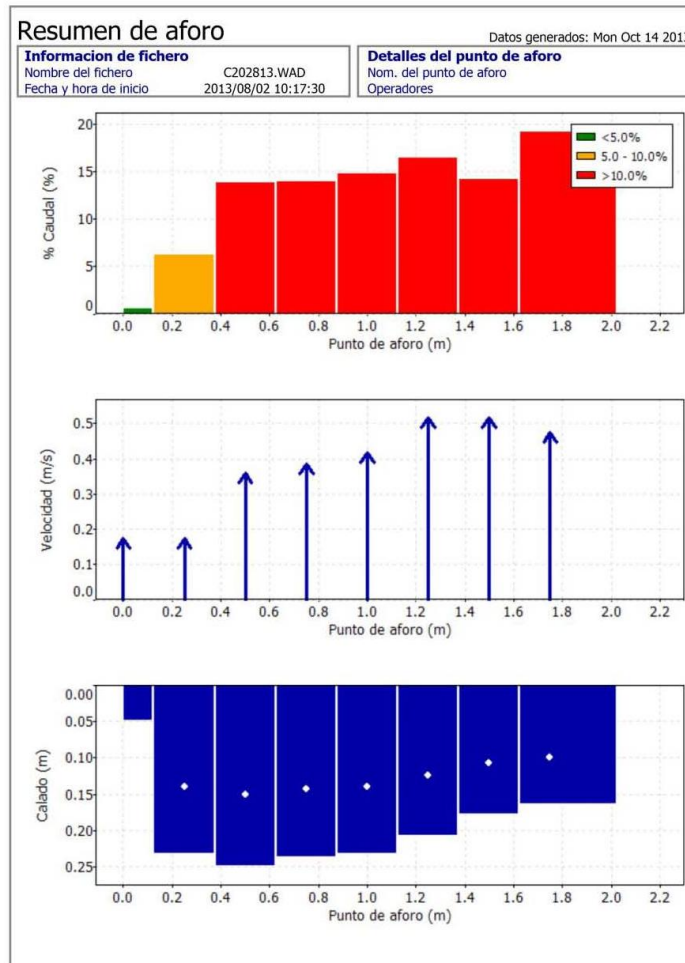




Sección 2

Resumen de aforo				Datos generados: Mon Oct 14 2013																											
Información de fichero		C202813.WAD		Detalles del punto de aforo																											
Nombre del fichero		C202813.WAD		Nom. del punto de aforo																											
Fecha y hora de inicio		2013/08/02 10:17:30		Operadores																											
Información del sistema		FlowTracker		Unidades técnicas		Incertidumbre del aforo																									
Tipo de sensor		FlowTracker		(Metrico)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>ISO</th> <th>Estadística</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precisión</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Calado</td> <td>0.6%</td> <td>1.4%</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>0.8%</td> <td>3.5%</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>0.2%</td> <td>0.2%</td> </tr> <tr> <td>Metodo</td> <td>2.9%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td># Estaciones</td> <td>5.8%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>6.6%</td> <td>3.9%</td> </tr> </tbody> </table>		Categoría	ISO	Estadística	Precisión	1.0%	1.0%	Calado	0.6%	1.4%	Velocidad	0.8%	3.5%	Ancho	0.2%	0.2%	Metodo	2.9%	-	# Estaciones	5.8%	-	Total	6.6%	3.9%
Categoría	ISO	Estadística																													
Precisión	1.0%	1.0%																													
Calado	0.6%	1.4%																													
Velocidad	0.8%	3.5%																													
Ancho	0.2%	0.2%																													
Metodo	2.9%	-																													
# Estaciones	5.8%	-																													
Total	6.6%	3.9%																													
Numero de serie #		P3867		Distancia		m																									
Version de CPU		3.9		Velocidad		m/s																									
Version de software		2.30		Area		m^2																									
Factor de corrección montaje		0.0%		Caudal		m^3/s																									
Resumen																															
Int. de promediado		40		# Estaciones		9																									
Margen de inicio		Mizq		Ancho total		2.300																									
SNR promedio		30.1 dB		Area total		0.407																									
Temp promedio		12.31 °C		Calado medido		0.177																									
Ecuac. Caudal		Area central		Velocidad media		0.3980																									
				Caudal total		0.1620																									
Resultados de la medida																															
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q																			
0	10:17	0.00	Ninguno	0.050	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.1732	0.006	0.0011	0.7																			
1	10:17	0.25	0.6	0.233	0.6	0.093	0.1732	1.00	0.1732	0.058	0.0101	6.2																			
2	10:19	0.50	0.6	0.250	0.6	0.100	0.3601	1.00	0.3601	0.063	0.0225	13.9																			
3	10:20	0.75	0.6	0.237	0.6	0.095	0.3845	1.00	0.3845	0.059	0.0228	14.1																			
4	10:22	1.00	0.6	0.232	0.6	0.093	0.4166	1.00	0.4166	0.058	0.0242	14.9																			
5	10:25	1.25	0.6	0.208	0.6	0.083	0.5159	1.00	0.5159	0.052	0.0268	16.6																			
6	10:27	1.50	0.6	0.179	0.6	0.072	0.5182	1.00	0.5182	0.045	0.0232	14.3																			
7	10:32	1.75	0.6	0.165	0.6	0.066	0.4752	1.00	0.4752	0.066	0.0314	19.4																			
8	10:32	2.30	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0																			

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.





Sección 3

Resumen de aforo

Datos generados: Mon Oct 14 2013

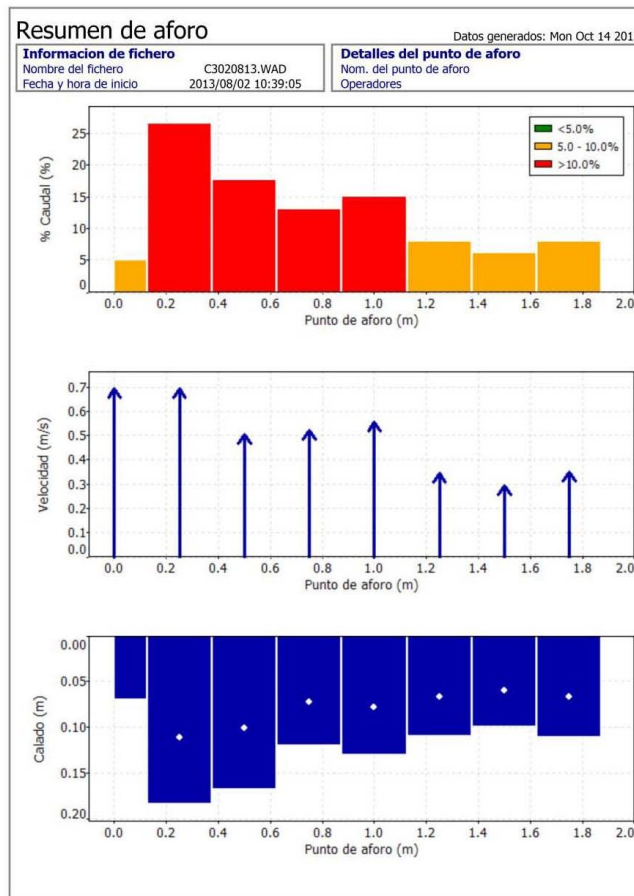
Información de fichero		Detalles del punto de aforo	
Nombre del fichero	C3020813.WAD	Nom. del punto de aforo	
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 10:39:05	Operadores	

Información del sistema		Unidades técnicas (Métrico)		Incertidumbre del aforo		
Tipo de sensor	FlowTracker	Distancia	m	Categoría	ISO	Estadística
Numero de serie #	P3867	Velocidad	m/s	Precisión	1.0%	1.0%
Version de CPU	3.9	Area	m ²	Calado	0.6%	3.7%
Version de software	2.30	Caudal	m ³ /s	Velocidad	1.3%	5.1%
Factor de corrección montaje	0.0%			Ancho	0.2%	0.2%
				Metodo	3.0%	-
				# Estaciones	5.8%	-
				Total	6.7%	6.4%

Resumen			
Int. de promedio	40	# Estaciones	9
Margen de inicio	Mizq	Ancho total	2.000
SNR promedio	30.4 dB	Area total	0.240
Temp promedio	12.41 °C	Calado medido	0.120
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	0.5002
		Caudal total	0.1198

Resultados de la medida												
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	10:39	0.00	Ninguno	0.070	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.6959	0.009	0.0061	5.1
1	10:39	0.25	0.6	0.184	0.6	0.074	0.6959	1.00	0.6959	0.046	0.0320	26.7
2	10:40	0.50	0.6	0.168	0.6	0.067	0.5065	1.00	0.5065	0.042	0.0213	17.8
3	10:41	0.75	0.6	0.120	0.6	0.048	0.5238	1.00	0.5238	0.030	0.0157	13.1
4	10:43	1.00	0.6	0.130	0.6	0.052	0.5570	1.00	0.5570	0.033	0.0181	15.1
5	10:44	1.25	0.6	0.110	0.6	0.044	0.3477	1.00	0.3477	0.028	0.0096	8.0
6	10:45	1.50	0.6	0.100	0.6	0.040	0.2949	1.00	0.2949	0.025	0.0074	6.2
7	10:49	1.75	0.6	0.111	0.6	0.044	0.3488	1.00	0.3488	0.028	0.0097	8.1
8	10:49	2.00	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.

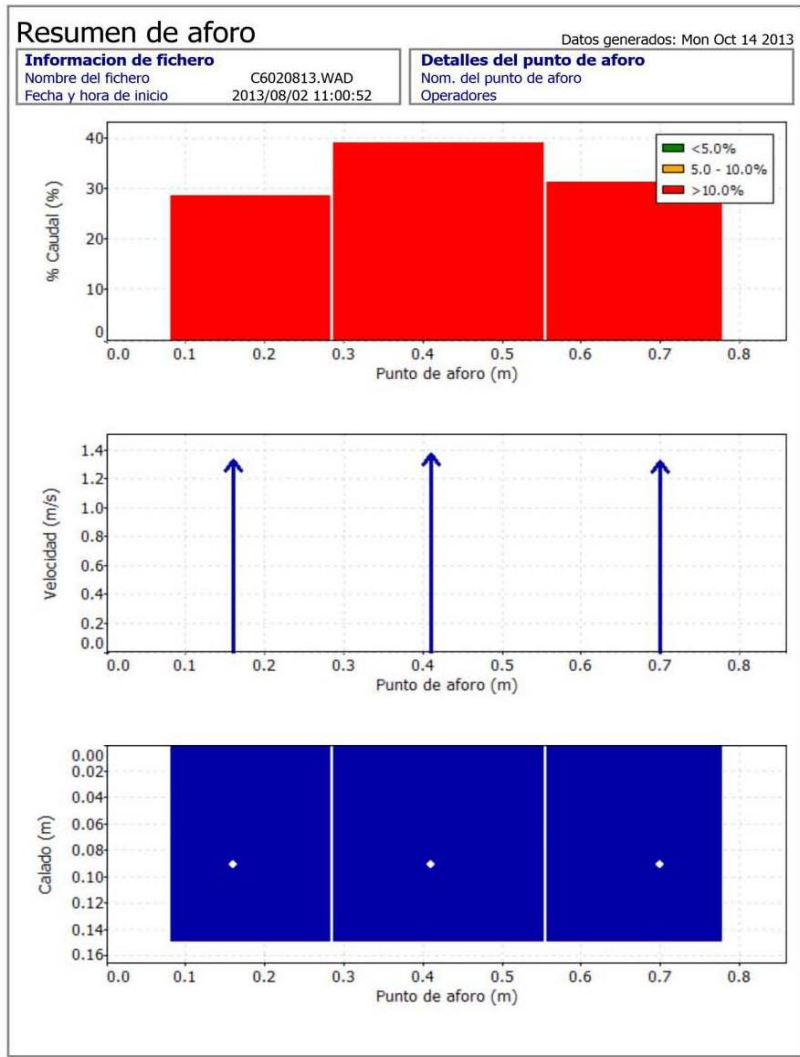




Sección de control

Resumen de aforo		Datos generados: Mon Oct 14 2013																									
Información de fichero		Detalles del punto de aforo																									
Nombre del fichero	C6020813.WAD	Nom. del punto de aforo																									
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 11:00:52	Operadores																									
Información del sistema		Unidades técnicas (Métrico)																									
Tipo de sensor	FlowTracker	Distancia	m																								
Numero de serie #	P3867	Velocidad	m/s																								
Version de CPU	3.9	Area	m^2																								
Version de software	2.30	Caudal	m^3/s																								
Factor de corrección montaje	0.0%																										
Resumen		Incertidumbre del aforo																									
Int. de promediado	40	# Estaciones	5																								
Margen de inicio	Mizq	Ancho total	0.860																								
SNR promedio	29.3 dB	Area total	0.106																								
Temp promedio	12.56 °C	Calado medido	0.123																								
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	1.3444																								
		Caudal total	0.1421																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>ISO</th> <th>Estadística</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precision</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Calado</td> <td>0.9%</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>0.2%</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>0.3%</td> <td>0.3%</td> </tr> <tr> <td>Metodo</td> <td>4.4%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td># Estaciones</td> <td>12.2%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>13.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> </tbody> </table>		Categoria	ISO	Estadística	Precision	1.0%	1.0%	Calado	0.9%	0.0%	Velocidad	0.2%	0.0%	Ancho	0.3%	0.3%	Metodo	4.4%	-	# Estaciones	12.2%	-	Total	13.0%	1.0%
Categoria	ISO	Estadística																									
Precision	1.0%	1.0%																									
Calado	0.9%	0.0%																									
Velocidad	0.2%	0.0%																									
Ancho	0.3%	0.3%																									
Metodo	4.4%	-																									
# Estaciones	12.2%	-																									
Total	13.0%	1.0%																									
Resultados de la medida																											
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q															
0	11:00	0.00	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0															
1	11:00	0.16	0.6	0.151	0.6	0.060	1.3291	1.00	1.3291	0.031	0.0411	29.0															
2	11:03	0.41	0.6	0.151	0.6	0.060	1.3749	1.00	1.3749	0.041	0.0561	39.4															
3	11:04	0.70	0.6	0.151	0.6	0.060	1.3218	1.00	1.3218	0.034	0.0449	31.6															
4	11:04	0.86	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0															

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.



Sección 7

Datos generados: Mon Oct 14 2013

Información de fichero		Detalles del punto de aforo										
Nombre del fichero	C7020813.WAD	Nom. del punto de aforo										
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 11:14:51	Operadores										
Información del sistema		Unidades técnicas	Incertidumbre del aforo									
Tipo de sensor	FlowTracker	(Metrico)										
Numero de serie #	P3867	Distancia	m									
Version de CPU	3.9	Velocidad	m/s									
Version de software	2.30	Area	m ²									
Factor de corrección montaje	0.0%	Caudal	m ³ /s									
Resumen												
Int. de promediado	40	# Estaciones	8									
Margen de inicio	Mizq	Ancho total	1.700									
SNR promedio	29.6 dB	Area total	0.226									
Temp promedio	12.80 °C	Calado medido	0.133									
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	0.5277									
		Caudal total	0.1194									
Resultados de la medida												
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	11:14	0.00	Ninguno	0.150	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.5194	0.019	0.0097	8.2
1	11:15	0.25	0.6	0.138	0.6	0.055	0.5194	1.00	0.5194	0.035	0.0179	15.0
2	11:17	0.50	0.6	0.140	0.6	0.056	0.6241	1.00	0.6241	0.035	0.0218	18.3
3	11:18	0.75	0.6	0.139	0.6	0.056	0.5933	1.00	0.5933	0.035	0.0206	17.3
4	11:21	1.00	0.6	0.133	0.6	0.053	0.6404	1.00	0.6404	0.033	0.0213	17.8
5	11:23	1.25	0.6	0.145	0.6	0.058	0.4039	1.00	0.4039	0.036	0.0146	12.3
6	11:25	1.50	0.6	0.150	0.6	0.060	0.3952	1.00	0.3952	0.034	0.0133	11.2
7	11:25	1.70	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.

Datos generados: Mon Oct 14 2013

Información de fichero		Detalles del punto de aforo	
Nombre del fichero	C7020813.WAD	Nom. del punto de aforo	
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 11:14:51	Operadores	

% Caudal (%)

Punto de aforo (m)

Velocidad (m/s)

Punto de aforo (m)

Calado (m)

Punto de aforo (m)

Sección 8

Resumen de aforo

Datos generados: Mon Oct 14 2013

Información de fichero		Detalles del punto de aforo	
Nombre del fichero	C8020813.WAD	Nom. del punto de aforo	
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 11:46:21	Operadores	

Información del sistema		Unidades técnicas (Métrico)	
Tipo de sensor	FlowTracker	Distancia	m
Numero de serie #	P3867	Velocidad	m/s
Version de CPU	3.9	Area	m ²
Version de software	2.30	Caudal	m ³ /s
Factor de corrección montaje	0.0%		

Resumen			
Int. de promediado	40	# Estaciones	9
Margen de inicio		Ancho total	2.200
SNR promedio	27.7 dB	Area total	0.469
Temp promedio	13.76 °C	Calado medido	0.213
Ecuac. Caudal	Area central	Velocidad media	0.2494
		Caudal total	0.1168

Incetidumbre del aforo			
Categoria	ISO	Estadística	
Precision	1.0%	1.0%	
Calado	0.6%	1.2%	
Velocidad	0.8%	2.7%	
Ancho	0.2%	0.2%	
Metodo	2.8%	-	
# Estaciones	5.8%	-	
Total	6.6%	3.2%	

Resultados de la medida												
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q
0	11:46	0.00	Ninguno	0.180	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.1986	0.023	0.0045	3.8
1	11:46	0.25	0.6	0.224	0.6	0.090	0.1986	1.00	0.1986	0.056	0.0111	9.5
2	11:47	0.50	0.6	0.222	0.6	0.089	0.2918	1.00	0.2918	0.056	0.0162	13.9
3	11:49	0.75	0.6	0.221	0.6	0.088	0.3387	1.00	0.3387	0.055	0.0187	16.0
4	11:52	1.00	0.6	0.240	0.6	0.096	0.3371	1.00	0.3371	0.060	0.0202	17.3
5	11:53	1.25	0.6	0.241	0.6	0.096	0.3082	1.00	0.3082	0.060	0.0186	15.9
6	11:54	1.50	0.6	0.265	0.6	0.106	0.2126	1.00	0.2126	0.066	0.0141	12.1
7	11:57	1.75	0.6	0.265	0.6	0.106	0.1450	1.00	0.1450	0.093	0.0134	11.5
8	11:57	2.20	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.

Resumen de aforo

Datos generados: Mon Oct 14 2013

Información de fichero		Detalles del punto de aforo	
Nombre del fichero	C8020813.WAD	Nom. del punto de aforo	
Fecha y hora de inicio	2013/08/02 11:46:21	Operadores	

Punto de aforo (m)	% Caudal (%)
0.0	3.8
0.25	9.5
0.50	13.9
0.75	16.0
1.00	17.3
1.25	15.9
1.50	12.1
1.75	11.5
2.20	0.0

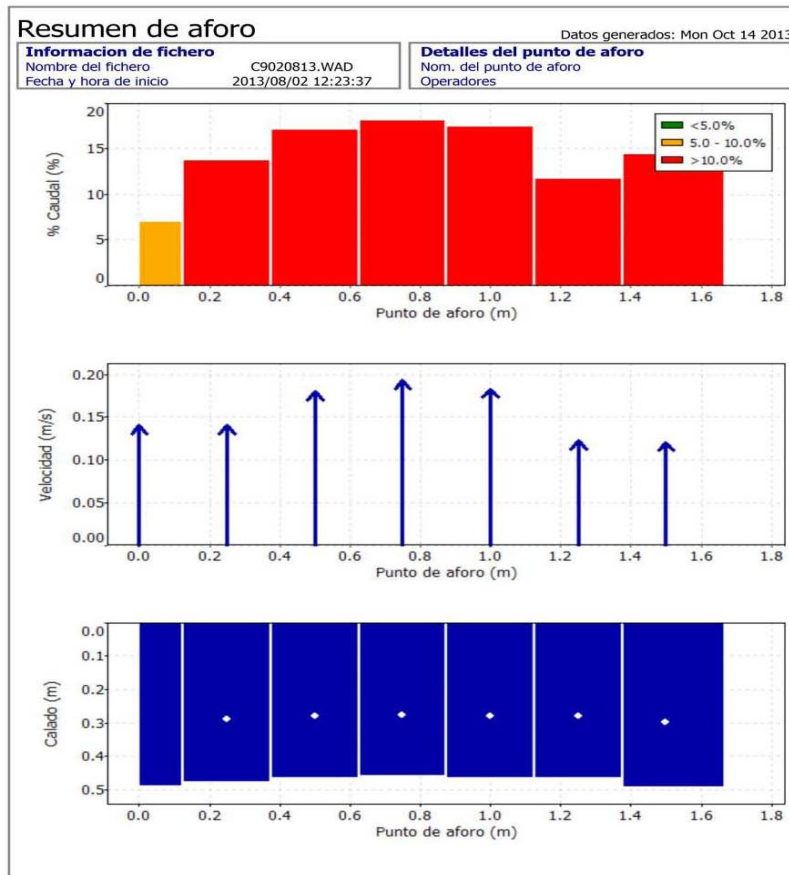
Punto de aforo (m)	Velocidad (m/s)
0.0	0.1986
0.25	0.1986
0.50	0.2918
0.75	0.3387
1.00	0.3371
1.25	0.3082
1.50	0.2126
1.75	0.1450
2.20	0.0000

Punto de aforo (m)	Calado (m)
0.0	0.180
0.25	0.224
0.50	0.222
0.75	0.221
1.00	0.240
1.25	0.241
1.50	0.265
1.75	0.265
2.20	0.000

Sección 9

Resumen de aforo				Datos generados: Mon Oct 14 2013																											
Información de fichero				Detalles del punto de aforo																											
Nombre del fichero: C9020813.WAD				Nom. del punto de aforo:																											
Fecha y hora de inicio: 2013/08/02 12:23:37				Operadores:																											
Información del sistema		Unidades técnicas (Metrico)		Incertidumbre del aforo																											
Tipo de sensor: FlowTracker		Distancia: m		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>ISO</th> <th>Estadística</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precisión</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Calado</td> <td>0.2%</td> <td>0.6%</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>0.9%</td> <td>4.2%</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>0.2%</td> <td>0.2%</td> </tr> <tr> <td>Metodo</td> <td>2.9%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td># Estaciones</td> <td>6.6%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7.3%</td> <td>4.4%</td> </tr> </tbody> </table>				Categoría	ISO	Estadística	Precisión	1.0%	1.0%	Calado	0.2%	0.6%	Velocidad	0.9%	4.2%	Ancho	0.2%	0.2%	Metodo	2.9%	-	# Estaciones	6.6%	-	Total	7.3%	4.4%
Categoría	ISO	Estadística																													
Precisión	1.0%	1.0%																													
Calado	0.2%	0.6%																													
Velocidad	0.9%	4.2%																													
Ancho	0.2%	0.2%																													
Metodo	2.9%	-																													
# Estaciones	6.6%	-																													
Total	7.3%	4.4%																													
Número de serie #: P3867		Velocidad: m/s																													
Version de CPU: 3.9		Area: m^2																													
Version de software: 2.30		Caudal: m^3/s																													
Factor de corrección montaje: 0.0%																															
Resumen																															
Int. de promediado: 40		# Estaciones: 8																													
Margen de inicio: Mizq		Ancho total: 1.840																													
SNR promedio: 25.7 dB		Area total: 0.792																													
Temp promedio: 14.12 °C		Calado medido: 0.430																													
Ecuac. Caudal: Area central		Velocidad media: 0.1544																													
		Caudal total: 0.1223																													
Resultados de la medida																															
St	Reloj	PtoAfo	Metodo	Calado	%Calado	CalMed	V	FactCorr	Vmedia	Area	Caudal	%Q																			
0	12:23	0.00	Ninguno	0.490	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.1407	0.061	0.0086	7.0																			
1	12:23	0.25	0.6	0.480	0.6	0.192	0.1407	1.00	0.1407	0.120	0.0169	13.8																			
2	12:26	0.50	0.6	0.465	0.6	0.186	0.1808	1.00	0.1808	0.116	0.0210	17.2																			
3	12:29	0.75	0.6	0.460	0.6	0.184	0.1939	1.00	0.1939	0.115	0.0223	18.2																			
4	12:32	1.00	0.6	0.468	0.6	0.187	0.1833	1.00	0.1833	0.117	0.0214	17.5																			
5	12:34	1.25	0.6	0.466	0.6	0.186	0.1232	1.00	0.1232	0.117	0.0144	11.7																			
6	12:39	1.50	0.6	0.495	0.6	0.198	0.1210	1.00	0.1210	0.146	0.0177	14.4																			
7	12:39	1.84	Ninguno	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0																			

Filas en caracteres *italicos* indica aviso de control de calidad. Consulta la información de control de calidad.



Los resultados de los demás aforos con Flowtracker se presentan en la tabla resumen

ANEXO 2. ANALISIS GRANULOMETRICO

# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	86.26	1.53		1.53	98.47
1"	25.4	1006	17.85		19.38	80.62
3/4"	19.1	558	9.90		29.28	70.72
1/2"	12.7	624	11.07		40.35	59.65
3/8"	9.52	362	6.42		46.78	53.22
N. 4	4.76	890	15.79		62.57	37.43
N. 8	2.38	259	21.58	8.18	70.75	29.25
N. 16	1.19	239.03	19.92	7.55	78.30	21.70
N. 30	0.59	256.38	21.37	8.10	86.39	13.61
N. 50	0.3	264.86	22.07	8.36	94.76	5.24
N. 100	0.15	74.86	6.24	2.36	97.12	2.88
N. 200	0.07	9.64	0.80	0.30	97.43	2.57
Pasa #200		1.46	0.12	0.05	97.47	2.53

Tabla 1. Análisis Granulométrico Muestra No. 1

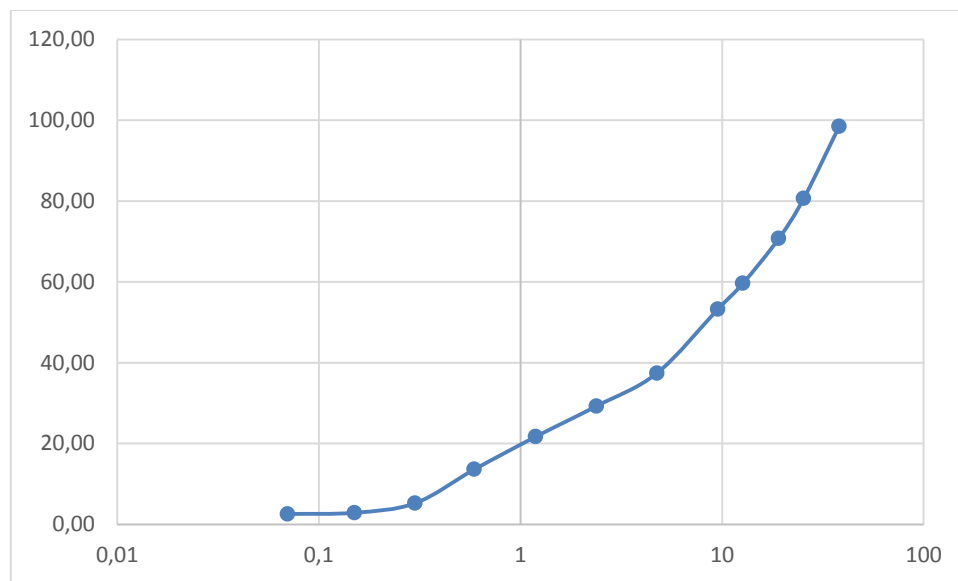


Gráfico 1. Curva Granulométrica Muestra No. 1



# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	79.49	1.44		1.44	98.56
1"	25.4	697	12.65		14.09	85.91
3/4"	19.1	651	11.81		25.90	74.10
1/2"	12.7	640	11.61		37.51	62.49
3/8"	9.52	397	7.20		44.71	55.29
N. 4	4.76	884	16.04		60.75	39.25
N. 8	2.38	314.35	26.20	10.14	70.89	29.11
N. 16	1.19	272.48	22.71	8.79	79.68	20.32
N. 30	0.59	249.62	20.80	8.05	87.74	12.26
N. 50	0.3	247.45	20.62	7.98	95.72	4.28
N. 100	0.15	63.89	5.32	2.06	97.78	2.22
N. 200	0.07	7.76	0.65	0.25	98.03	1.97
Pasa #200		3	0.25	0.10	98.13	1.87

Tabla 2. Análisis Granulométrico Muestra No. 2

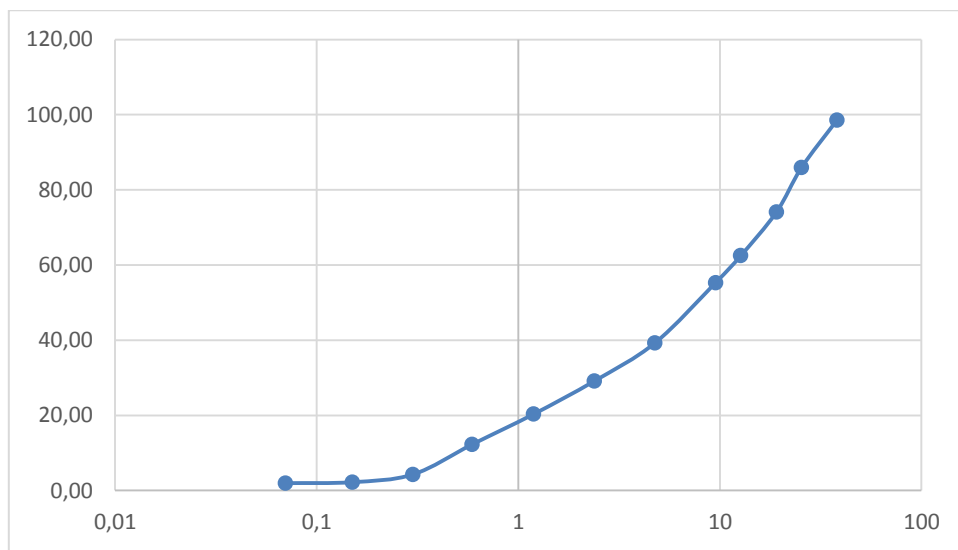


Gráfico 2. Curva Granulométrica Muestra No. 2



# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	0	0.00		0.00	100.00
1"	25.4	1031	17.88		17.88	82.12
3/4"	19.1	698	12.11		29.99	70.01
1/2"	12.7	531	9.21		39.20	60.80
3/8"	9.52	321	5.57		44.77	55.23
N. 4	4.76	828	14.36		59.13	40.87
N. 8	2.38	217.94	21.79	8.82	67.95	32.05
N. 16	1.19	268.22	26.82	10.85	78.81	21.19
N. 30	0.59	253.59	25.36	10.26	89.07	10.93
N. 50	0.3	142.46	14.25	5.77	94.83	5.17
N. 100	0.15	24.76	2.48	1.00	95.84	4.16
N. 200	0.07	3.65	0.37	0.15	95.98	4.02
Pasa #200		1.4	0.14	0.06	96.04	3.96

Tabla 3. Análisis Granulométrico Muestra No. 3

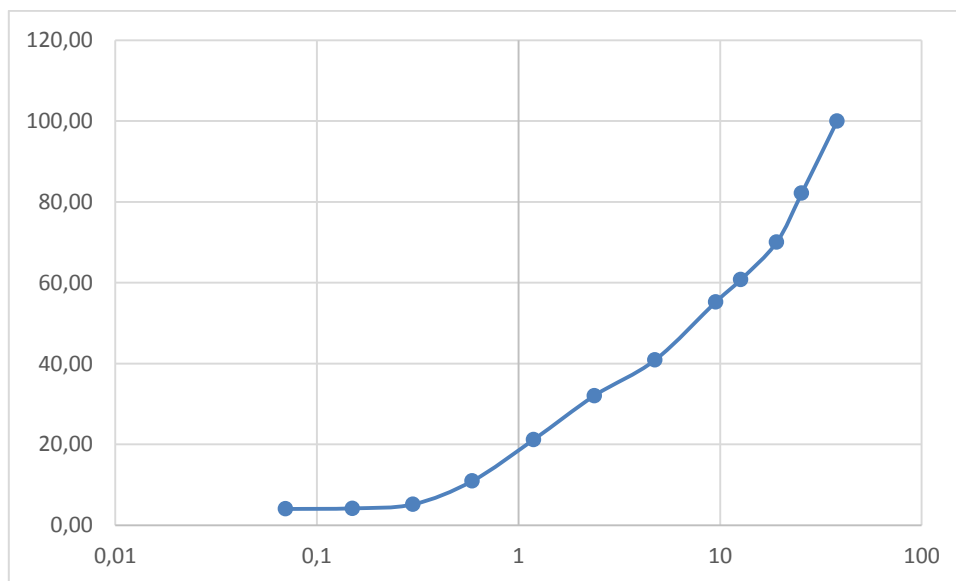


Gráfico 3. Curva Granulométrica Muestra No. 3



# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	84.58	1.46		1.46	98.54
1"	25.4	809	13.93		15.39	84.61
3/4"	19.1	560	9.64		25.03	74.97
1/2"	12.7	654	11.26		36.29	63.71
3/8"	9.52	405	6.97		43.27	56.73
N. 4	4.76	916	15.77		59.04	40.96
N. 8	2.38	430.92	35.91	14.59	73.63	26.37
N. 16	1.19	345.11	28.76	11.68	85.31	14.69
N. 30	0.59	233.55	19.46	7.91	93.22	6.78
N. 50	0.3	114	9.50	3.86	97.08	2.92
N. 100	0.15	28.96	2.41	0.98	98.06	1.94
N. 200	0.07	5.85	0.49	0.20	98.26	1.74
Pasa #200		2.35	0.20	0.08	98.34	1.66

Tabla 4. Análisis Granulométrico Muestra No. 4

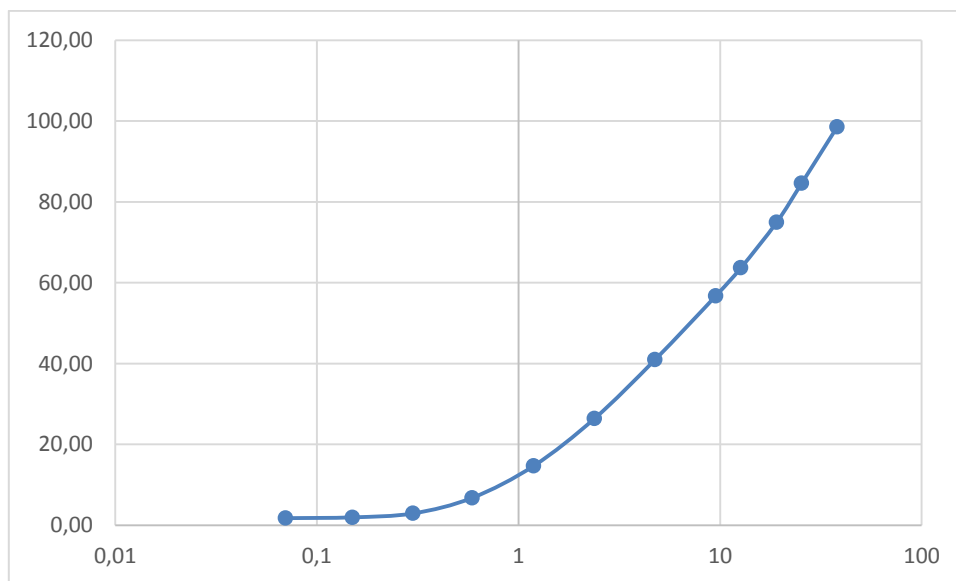


Gráfico 4. Curva Granulométrica Muestra No. 4



# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	0	0.00		0.00	100.00
1"	25.4	405	6.88		6.88	93.12
3/4"	19.1	346	5.88		12.76	87.24
1/2"	12.7	569	9.67		22.43	77.57
3/8"	9.52	339	5.76		28.19	71.81
N. 4	4.76	925	15.72		43.90	56.10
N. 8	2.38	268.22	22.35	12.43	56.33	43.67
N. 16	1.19	268.86	22.41	12.45	68.78	31.22
N. 30	0.59	314.25	26.19	14.56	83.34	16.66
N. 50	0.3	247.81	20.65	11.48	94.82	5.18
N. 100	0.15	43.1	3.59	2.00	96.81	3.19
N. 200	0.07	5.47	0.46	0.25	97.07	2.93
Pasa #200		1.58	0.13	0.07	97.14	2.86

Tabla 5. Análisis Granulométrico Muestra No. 5

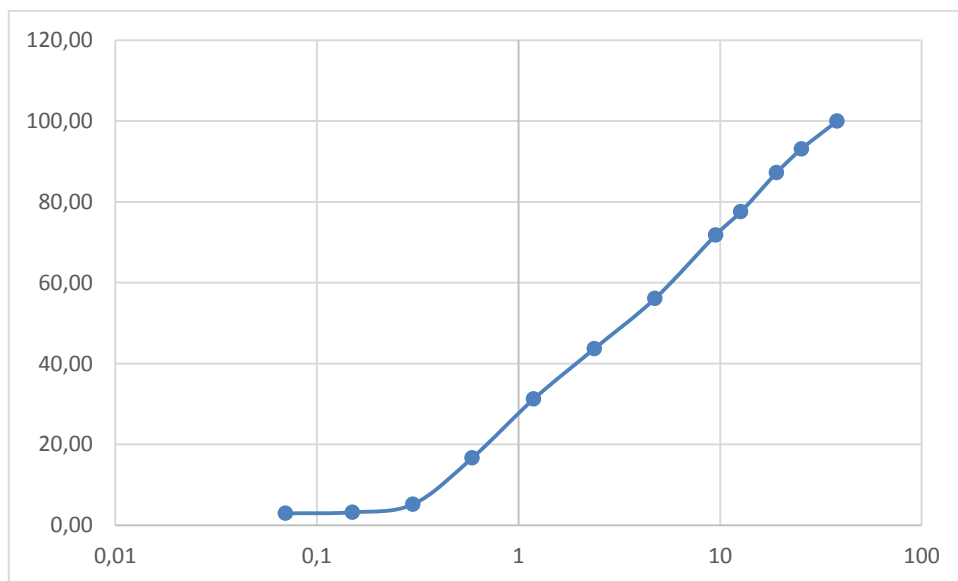


Gráfico 5. Curva Granulométrica Muestra No. 5



# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	0	0.00		0.00	100.00
1"	25.4	143	2.48		2.48	97.52
3/4"	19.1	299	5.18		7.66	92.34
1/2"	12.7	535	9.27		16.92	83.08
3/8"	9.52	351	6.08		23.00	77.00
N. 4	4.76	1023	17.72		40.72	59.28
N. 8	2.38	261.68	21.81	12.83	53.55	46.45
N. 16	1.19	231.94	19.33	11.37	64.92	35.08
N. 30	0.59	280.7	23.39	13.76	78.68	21.32
N. 50	0.3	289.21	24.10	14.18	92.86	7.14
N. 100	0.15	74.9	6.24	3.67	96.53	3.47
N. 200	0.07	9.49	0.79	0.47	97.00	3.00
Pasa #200		0.86	0.07	0.04	97.04	2.96

Tabla 6. Análisis Granulométrico Muestra No. 6

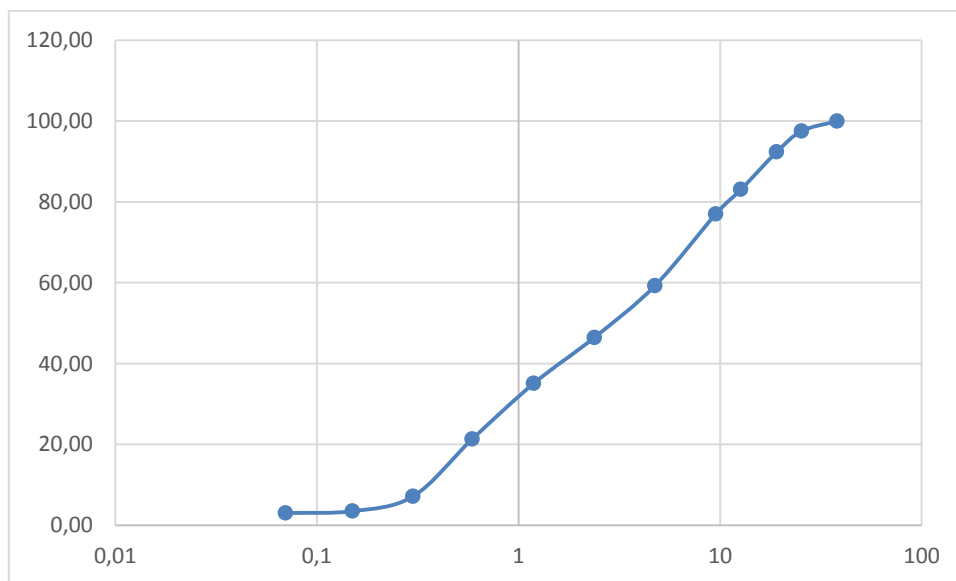


Gráfico 6. Curva Granulométrica Muestra No. 6

# Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Retenido Parcial		% Retenido Acumulado	% Que pasa
1 1/2 "	38.1	0	0.00		0.00	100.00
1"	25.4	303	4.81		4.81	95.19
3/4"	19.1	297	4.71		9.52	90.48
1/2"	12.7	405	6.42		15.94	84.06
3/8"	9.52	290	4.60		20.54	79.46
N. 4	4.76	1303	20.67		41.21	58.79
N. 8	2.38	380.87	31.74	18.50	59.71	40.29
N. 16	1.19	280.69	23.39	13.63	73.34	26.66
N. 30	0.59	279.22	23.27	13.56	86.90	13.10
N. 50	0.3	166.73	13.89	8.10	95.00	5.00
N. 100	0.15	25.12	2.09	1.22	96.22	3.78
N. 200	0.07	4.2	0.35	0.20	96.42	3.58
Pasa #200		1.64	0.14	0.08	96.50	3.50

Tabla 7. Análisis Granulométrico Muestra No. 7

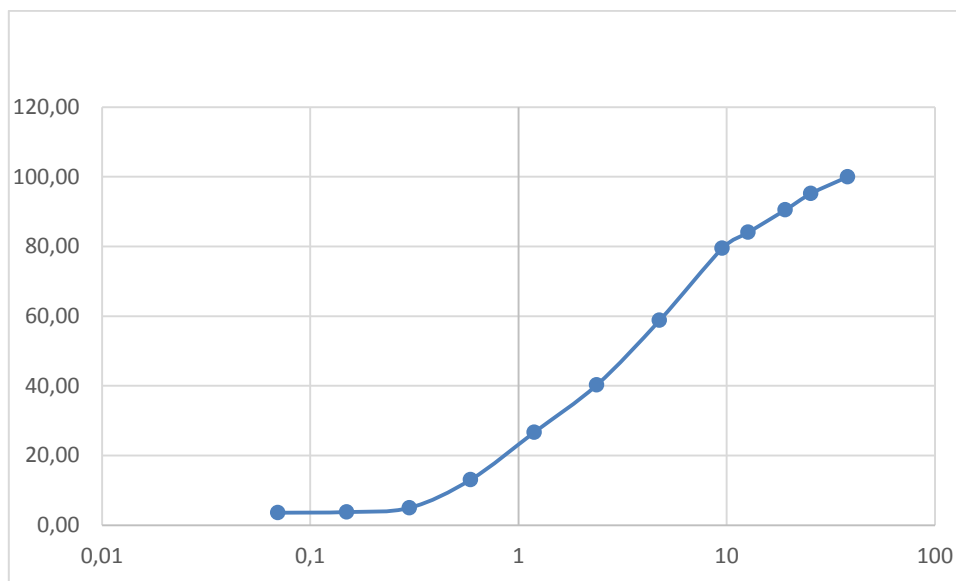


Gráfico 7. Curva Granulométrica Muestra No. 7