|ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.

OSCAR FERNANDO RUEDA URUEÑA
MANUEL AUGUSTO CHITIVA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOBOTA D.C.
2016

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.

OSCAR FERNANDO RUEDA URUEÑA
MANUEL AUGUSTO CHITIVA

Proyecto de grado presentado como requisito papa optar al título de Tecnólogo en Saneamiento Ambiental

DIRECTOR
CAUDEX VITELIO PEÑARANDA OSORIO
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOBOTA D.C.
2016

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 15

1. JUSTIFICACIÓN 16

2. OBJETIVOS 17

2.1 OBJETIVO GENERAL 17

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 17

3. MARCOS DE REFERENCIA 18

3.1 MARCO GEOGRAFICO 18

3.2 MARCO TEORICO 20

3.2.1 Aforo..... 20

3.2.2 Tipos de Aforo..... 20

3.2.3 Métodos de Aforo..... 21

3.3 MARCO LEGAL..... 29

3.3.1 Resolución 5731 de 2008..... 29

3.3.2 Decreto 1106 de 1986..... 29

3.3.3 Decreto 1594 de 1984..... 29

3.3.4 Ley 09 de 1979..... 30

3.3.5 Decreto 3440 de 2004..... 30

3.3.6 Decreto 2811 de 1974..... 30

3.3.7 Resolución 1433 de 2004..... 30

pág.

4. METODOLOGIA…… 31

4.1 FASE DE CAMPO…… 31

4.1.1 Medición de caudal con molinete……... 31

4.1.2 Medición de caudal con flotador…… 32

4.1.3 Medición de caudal con trazador…… 33

5. RESULTADOS……... 34

5.1 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO ARZOBISPO I…… 34

5.1.1 Aforos con molinete…… 34

5.1.2 Aforo con flotadores…… 40

5.1.3 Aforos con trazador…… 45

5.2 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO FUCHA I…… 55

5.2.1 Aforos con molinete…… 55

5.2.2 Aforo con flotadores…… 61

5.2.3 Aforos con trazador…….. 66

5.3 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO ARZOBISPO II…….. 76

5.3.1 Aforos con molinete…… 76

5.3.2 Aforo con flotadores…… 82

5.3.3 Aforos con trazador…… 86

5.4 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO FUCHA II…… 96

5.4.1 Aforos con molinete……. 96

5.4.2 Aforo con flotadores……... 102

pág.

5.4.3 Aforos con trazador…… 111

6. CONCLUSIONES 116

7. RECOMENDACIONES 119

BIBLIOGRAFÍA 121

ANEXOS…… 123

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Profundidades de aforo.....32

Tabla 2. Selección de verticales 32

Tabla 3. Ajustes de velocidades 33

Tabla 4. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1).....35

Tabla 5. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 35

Tabla 6. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1).....36

Tabla 7. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 36

Tabla 8. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1).....37

Tabla 9. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 37

Tabla 10. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1).....38

Tabla 11. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 38

Tabla 12. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1).....39

Tabla 13. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 39

Tabla 14. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 1).....41

Tabla 15. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 42

Tabla 16. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 1).....43

Tabla 17. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1) 44

Tabla 18. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1).....45

Tabla 19. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1).....47

Tabla 20. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1).....49

pág.

Tabla 21. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1).....51
Tabla 22. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1).....53
Tabla 23. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1) 56
Tabla 24. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....56
Tabla 25. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1) 57
Tabla 26. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....57
Tabla 27. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1) 58
Tabla 28. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....58
Tabla 29. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1) 59
Tabla 30. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....59
Tabla 31. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1) 60
Tabla 32. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....60
Tabla 33. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 1) 62
Tabla 34. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....63
Tabla 35. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 1) 64
Tabla 36. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1).....65
Tabla 37. Conductividad (rio Fucha, campaña 1) 66
Tabla 38. Conductividad (rio Fucha, campaña 1) 68
Tabla 39. Conductividad (rio Fucha, campaña 1) 70
Tabla 40. Conductividad (rio Fucha, campaña 1) 72
Tabla 41. Conductividad (rio Fucha, campaña 1) 74

pág.

Tabla 42. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2).....76
Tabla 43. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....76
Tabla 44. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2).....77
Tabla 45. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....77
Tabla 46. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2).....78
Tabla 47. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....78
Tabla 48. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2).....79
Tabla 49. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....79
Tabla 50. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2).....80
Tabla 51. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....80
Tabla 52. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 2).....82
Tabla 53. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....83
Tabla 54. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 2).....84
Tabla 55. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2).....85
Tabla 56. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2).....86
Tabla 57. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2).....88
Tabla 58. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2).....90
Tabla 59. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2).....92
Tabla 60. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2).....94
Tabla 61. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2).....96
Tabla 62. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....96

pág.

Tabla 63. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2) 97
Tabla 64. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....97
Tabla 65. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2) 98
Tabla 66. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....98
Tabla 67. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2) 99
Tabla 68. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....99
Tabla 69. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2) 100
Tabla 70. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....100
Tabla 71. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 2) 102
Tabla 72. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....103
Tabla 73. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 2) 104
Tabla 74. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2).....105
Tabla 75. Conductividad (rio Fucha, campaña 2) 106
Tabla 76. Conductividad (rio Fucha, campaña 2) 108
Tabla 77. Conductividad (rio Fucha, campaña 2) 110
Tabla 78. Conductividad (rio Fucha, campaña 2) 112
Tabla 79. Conductividad (rio Fucha, campaña 2) 114

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo RCHB 2012-2013 Rodríguez (2014) 18

Figura 3. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 46

Figura 4. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 48

Figura 5. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 50

Figura 6. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 52

Figura 7. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 54

Figura 8. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 67

Figura 9. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 69

Figura 10. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 71

Figura 11. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 73

Figura 12. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 75

Figura 13. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 87

Figura 14. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 89

Figura 15. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 91

Figura 16. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 93

Figura 17. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 95

Figura 18. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 107

Figura 19. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 109

Figura 20. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 111

Figura 21. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 113

Pág.

Figura 22. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores 115

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO ……..…… 124

ANEXO B. REGISTRO FOTOGRAFICO …….. 129

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.

AUTORES: OSCAR FERNANDO RUEDA URUEÑA
MANUEL AUGUSTO CHITIVA

PALABRAS CLAVE: caudal, estructuras hidráulicas, métodos de aforo, molinete, flotadores, trazadores.

CONTENIDO:

Para la ejecución de obras y estructuras hidráulicas como: plantas de tratamiento de aguas, centrales hidroeléctricas u obras sanitarias como redes de acueducto y alcantarillado es primordial conocer el caudal circulante o que se debe tratar. No obstante la determinación de caudales por medio de métodos convencionales (específicamente el molinete) a veces es difícil debido a condiciones propias de la corriente como la presencia de rocas en el lecho o gran cantidad de solidos o materiales de tamaño considerable que traben la hélice del equipo.

Por lo cual la presente investigación plantea la alternativa de utilizar otros métodos de aforo de caudal, además del aforo con molinete, también se propone realizar aforos con trazador (Nacl o sal común) y el aforo con flotadores (bolas de ping pong y tabla flotante).

Una vez se determinaron los métodos de aforo a emplear, se seleccionaron dos puntos de monitoreo: uno ubicado en el rio fucha con carrera séptima y el otro en el rio arzobispo can carrera séptima. Para el primero, se obtuvieron registros de caudal con la metodología del molinete consistentemente similares a los registros históricos de caudal; datos pertenecientes a la secretaria distrital de ambiente de Bogotá. Para el segundo sitio de aforo, es decir el rio arzobispo con carrera séptima, también se dio este mismo patrón; caudales cercanos a los registros históricos de caudal.

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF THREE METHODS FOR MEASURING FLOW IN OPEN CHANNELS.

AUTHORS: OSCAR FERNANDO RUEDA URUEÑA
MANUEL AUGUSTO CHITIVA

KEYWORDS: flow, hydraulic structures, gauging methods, windlass, floats and tracers.

CONTENTS:

For the execution of works and hydraulic structures such as water treatment plants, hydroelectric plants or sanitation works and sewerage networks is essential aqueduct and know the current flow or to be treated. Notwithstanding the determination of flow by conventional methods (specifically the pinwheel) it is sometimes difficult due to own stream conditions and the presence of rocks in the bed or large amounts of solids or materials of considerable size that jam the propeller equipment.

So this research raises the alternative of using other methods of flow capacity, in addition to gauging with pinwheel, also it plans to conduct gaugings tracer (NaCl or salt) and the flow capacity with floats (ping pong balls floating table).

Once gauging methods were determined to employ two monitoring points were selected: one located on the river career fucha with seventh and one in the river archbishop seventh race. For the first flow records were obtained with the methodology of pinwheel consistently similar to historical records flow; data pertaining to the District Department of Environment of Bogota. For the second site gauging, that is the river archbishop with seventh race, the same pattern was also given; flows near the historical flow records.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del rio Fucha es la más importante de la ciudad, ya que no solo drena el mayor número de localidades de la ciudad de Bogotá, también recibe la más alta carga contaminante entre los principales afluentes de la ciudad concentraciones de hasta 404 mg/l de DBO_5, 981 mg/l de DQO y 416 mg/l de SST Producto de vertimientos principalmente industriales. Rodriguez (2014).

Por su lado el rio salitre también ha sido parte de seguimiento y monitoreo de distintos parámetros que permiten determinar la calidad de sus aguas por parte de la Secretaria Distrital de Ambiente – SDA, datos que han sido corroborados mediante el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos implementado por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EEAB-ESP.

El proyecto de monitoreo de estos parámetros indicadores de la calidad del agua se denomina: Red de Calidad Hídrica de Bogotá - RCHB, el cual ha sido suscrito entre La Secretaria Distrital de Ambiente - SDA y la Universidad de los Andes de Bogotá desde el año 2008 hasta el 2013. En su último periodo se seleccionaron 30 puntos de monitoreo sobre el canal Torca, los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y la cuenca media del rio Bogotá. El principal parámetro objeto de estudio en este proyecto es la determinación del caudal, el cual se obtiene utilizando correntómetros (método de área-velocidad) debidamente calibrados.

Por ende el objetivo fundamental de este proyecto es comprobar si el método de aforo con molinete es el más preciso para los puntos de monitoreo seleccionados sobre los ríos Fucha y salitre con carrera séptima o si existen otros métodos de aforo que generen el mismo o incluso mayor nivel de certidumbre.

1. JUSTIFICACIÓN

Conforme a la investigación realizada encontramos que “El rio Fucha es el que mayor carga contaminante aporta al rio Bogotá con un 39%, un 21% el Tunjuelo, un 30% el salitre y un 10% las subcuencas de torca, conejera, jaboque, tintal y Soacha” Trujillo, Pescador, Parra, Peña, & Colmenares (2006). Por esta razón fundamental es que los ríos Fucha y salitre requieren de una atención y tratamiento prioritarios para comenzar a subsanar un problema mayor, como lo es el nivel de contaminación del rio Bogotá.

Por lo tanto y buscando dar una solución a la problemática ambiental que se cierne sobre los cursos de agua de los ríos Fucha y salitre, se examina la posibilidad de utilizar métodos de aforo sencillos, rápidos y económicos, pero precisos que resultan indispensables para hallar los caudales tanto en épocas de estiaje como de lluvias torrenciales, para tomar las acciones pertinentes que permitan resolver el conflicto uso- calidad del agua. para lograr este fin existen varios métodos de aforo: aforo directo como el volumétrico, gravimétrico, con trazadores y medidores de hélice; Métodos de área velocidad como el del molinete, flotadores; métodos que utilizan contracciones como la canaleta parshall, sifones, vertederos, medidores venturi y el flujo a través de orificios y compuertas.

Dadas las condiciones hidráulicas y tipológicas de estos dos cuerpos de agua (cauces artificiales) en los tramos seleccionados para su estudio y buscando utilizar métodos de aforo sencillos, rápidos y económicos, pero precisos se escogió utilizar tres métodos de aforo el del correntómetro como base; ya que el más utilizado en Colombia por su confiabilidad en este tipo de cuencas. El segundo método es el de los trazadores (Nacl o sal común). La cual es económica, rápida y sencilla de utilizar en el ejercicio de aforo, pero su precisión es el interrogante a resolver. Por último el aforo con un flotador, para lo cual se utilizaron varias bolas de ping pong y una tabla flotante; este método de aforo es uno de los más sencillos pero también uno de los más inexactos, por lo tanto el objetivo particular con este método es corroborar su rango de error o acierto en comparación con los otros dos métodos de aforo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la viabilidad de emplear como métodos de aforo el trazador (Nacl o sal común) o el aforo con flotadores (bolas de ping-pong y tabla flotante), además del aforo convencional con molinete, sobre la cuenca alta de los ríos Fucha y salitre de la ciudad de Bogotá.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar, estudiar y comparar la información correspondiente a los métodos de aforo con correntómetros, trazadores y flotadores para su posterior análisis.

- Inspección de los sitios de monitoreo con el fin de verificar distintos aspectos como las facilidades de acceso, ámbito socio-ambiental, selección de la sección de aforo y en general la presencia de condiciones hidrológicas favorables para la ejecución de los tres métodos de aforo propuestos.

- Realizar las respectivas salidas de campo con el fin de llevar a cabo los tres métodos de aforo propuestos, obtener los caudales correspondientes a cada uno de ellos y concluir que método de aforo es el más preciso, cual no y por qué.

3. MARCOS DE REFERENCIA

3.1 MARCO GEOGRAFICO

El proyecto se realizó en los puntos de monitoreo de los ríos Fucha y salitre con carrera séptima; puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica de Bogotá, contrato 01202 de 2009, celebrado entre la Secretaria Distrital de Ambiente y la Universidad de los Andes.

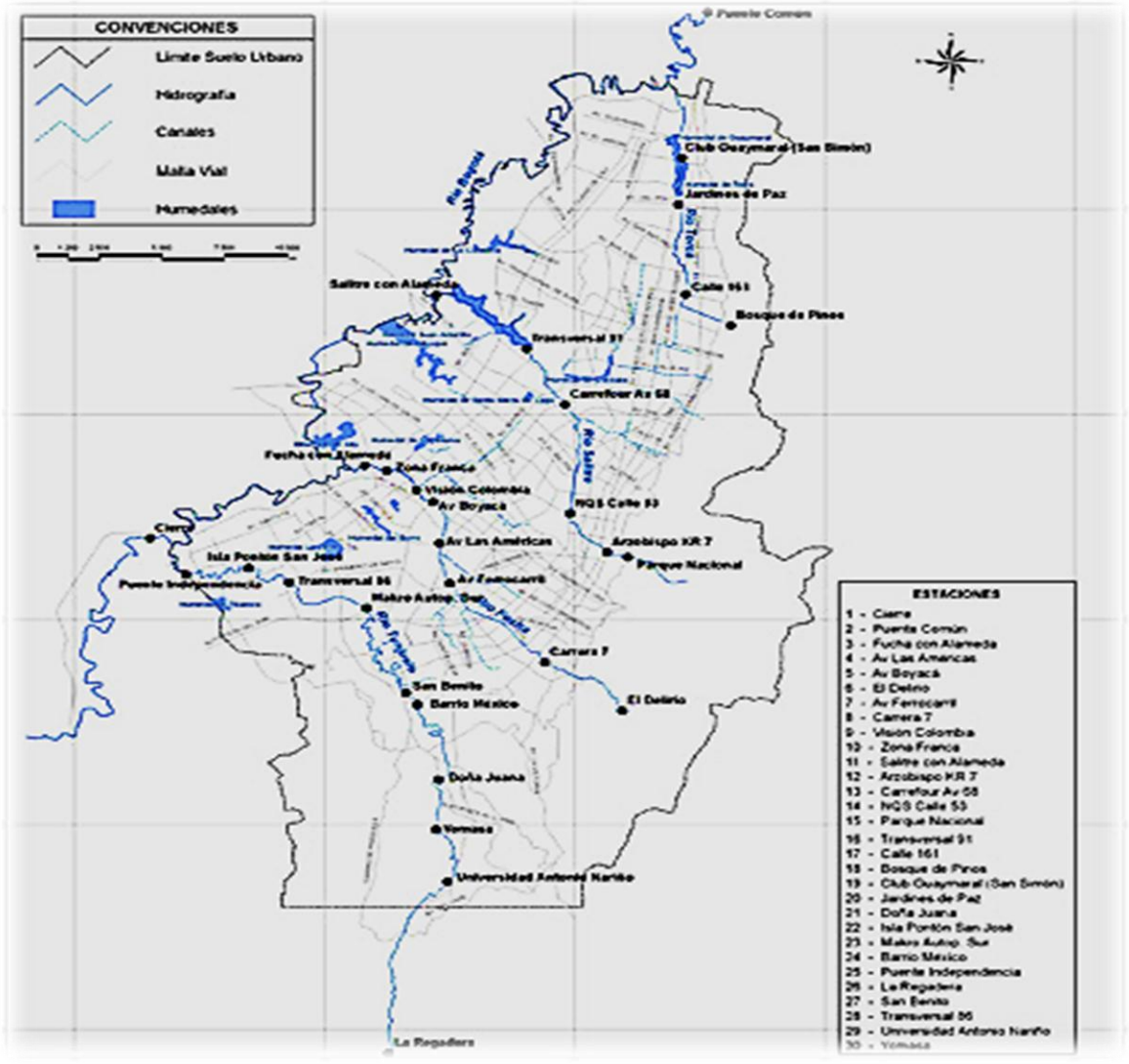


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo RCHB 2012-2013 Rodríguez (2014)

La cuenca del rio Fucha tiene un área aproximada de 17.536 hectáreas de las cuales 12.991 están ubicadas en el área urbana y 4.545 en el área rural. La longitud de este rio es de 24.34 km, su cauce discurre de oriente a occidente hasta entregar sus aguas al rio Bogotá. Alcaldia Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarilldo de Bogotá (2008).

El rio Fucha inicia su recorrido desde el páramo de cruz verde donde nace y hasta la carrera sexta su cauce es natural, pero de allí en adelante se encuentra canalizado con una sección trapezoidal hasta su desembocadura en el rio Bogotá, inmediaciones de la zona franca de Fontibón.

Los canales San Blas, Los Comuneros, Albina, Rio Seco y las quebradas Finca, San José, La Peña, Los Laches, San Cristóbal, San Francisco, Santa Isabel, Honda, entre otras forman parte de esta cuenca. Como ecosistemas asociados se encuentran los humedales de Techo, El Burro, La Vaca, Capellanía y Meandro del Say. Alcaldia Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2008).

Actualmente la cuenca del rio Fucha hace parte del programa de saneamiento del rio Bogotá; construyéndose para ello el interceptor izquierdo del rio fuha cuya función principal es captar las aguas servidas provenientes de los interceptores Kennedy, de la Estación de Bombeo de Fontibón y distintos vertimientos directos hasta su conexión al Interceptor Río Bogotá Fucha- Tunjuelo, el cual fue terminado en el año 2009, esta obra de 9,4 km de extensión atraviesa las localidades de Kennedy y Fontibón a 12 metros de profundidad y su función es captar las aguas servidas de la zona central y parte del sur occidente de Bogotá. Empresa de Acueduto y Alcantarillado de Bogotá (2015).

El rio salitre nace en los cerros orientales, tiene una longitud aproximada de 21,56 km y su cuenca drena 13.964 hectáreas, además tiene la singularidad de cambiar de nombre según el sitio de la ciudad que transite: rio arzobispo en su cuenca alta, el salitre en su cuenca media y el juan amarillo en su desembocadura. (Rodriguez, 2010).

A partir de la carrera séptima es canalizado hasta la trasversal 91, luego continua su recorrido a través de su cauce natural hasta desembocar en el rio Bogotá. También hacen parte de su cuenca los ríos Negro, Córdoba y quebradas como Los Rosales, La Vieja, Las Delicias, La Chochera, Cataluña, La Cañada, Morací, Chico, Callejas, Molinos, Los cerros etc. Además de los humedales Juan Amarillo, Santa María del Lago, El Salitre, Córdoba y el cortijo. Alcaldia Mayor de Bogotá,

Secretaria Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarilldo de Bogotá (2008)

Finalmente el interceptor fucha-tunjuelo entregará sus aguas al interceptor Tunjuelo-canoas que tributará a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) canoas, la cual se espera que entre a funcionar para el segundo semestre del año 2020, tratando un caudal medio de aguas residuales de 14.0 m3/s mediante un Tratamiento primario químicamente asistido (TPQA), durante su fase inicial.

3.2 MARCO TEORICO

3.2.1 Aforo

Medición del volumen de agua que fluye a través de la sección Transversal de una corriente, se mide en metros cúbicos por segundo o litros por segundo generalmente. Alcaldia Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarilldo de Bogotá (2008).

Existen varios métodos de aforo, la elección del método a utilizar depende de las condiciones al momento de su realización y de las características de cada sitio. (Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM, 2002).

3.2.2 Tipos de Aforo

- Aforo por suspensión (Puentes & tarabitas).
- Angular(sextante o tránsito)
- Bote cautivo
- Vadeo
- Volumétrico

- Trazadores– dilución
- Flotadores
- Lancha en movimiento
- Vertedero
- Canaleta parshall

3.2.3 Métodos de Aforo

3.2.3.1 Métodos de aforo

- Químico o del trazador. La Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. CVC (2005) nos dice que el método de aforo por dilución se realiza en corrientes donde el aforo convencional con molinete sea difícil de ejecutarse por condiciones particulares como; alta pendiente, poca profundidad, lechos inestables y líneas de flujo desordenadas en las secciones de aforo. (En un rio con condiciones normales también se puede utilizar este método con el objetivo de determinar el caudal con una mayor exactitud, que la mostrada por los métodos tradicionales.)

La metodología para realizar aforos con trazadores o aforos químicos consiste en medir la fluctuación de la concentración de una sustancia agregada a la corriente en un punto determinado y suficientemente aguas abajo medir la concentración o el grado de dilución del trazador inyectado, para así poder hallar el caudal (no es necesario conocer el área de la sección transversal del punto de medición). Para la medición del caudal con este método se utilizan dos métodos: el método de inyección continua y el método de inyección instantánea. Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. CVC (2005)

Algunos de los trazadores más utilizados son: los sólidos en suspensión, los trazadores químicos solubles en el agua, los colorantes y los elementos radioactivos. No obstante que esta metodología es avalada por muchos especialistas en el tema, pueden existir inconvenientes para su realización como

altas velocidades del agua y la presencia de cuerpos extraños que pueden poner en riesgo la vida del aforador o el bienestar de los equipos hidrométricos utilizados. Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. CVC (2005).

Para realizar un aforo con trazadores se requieren los siguientes equipos: trazador, conductímetro, cronómetro, cinta métrica, probetas, baldes graduados, frascos de 100 cm3, agua destilada, radios portátiles, formato para registro de datos de campo. Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. CVC (2005).

- Características de los trazadores

De acuerdo al Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007), para que las mediciones de caudal mediante aforos con trazadores sean aceptadas a nivel internacional y nacional deben tener algunas características físicas, químicas y ambientales. Como por ejemplo: al ser inyectadas en el agua que es nuestro caso; su velocidad de desplazamiento debe ser igual, es decir no debe existir intercambio iónico y tampoco debe sufrir absorción química o física, en síntesis se debe comportar de igual forma que el medio a medir. Asimismo debe conservar características y condiciones propias del agua como viscosidad, densidad y temperatura.

- ✓ La corriente no debe contener cantidades significativas de la sustancia inyectada de forma artificial.

- ✓ Se debe diluir fácilmente en agua y no precipitarse, de manera que grandes volúmenes de agua sean marcados con una reducida masa del trazador.

- ✓ su medición “insitu” es fundamental.

- ✓ No debe permanecer durante extensos periodos de tiempo en el medio, contaminándolo y posiblemente perjudicando a seres vivos.

- ✓ Es importante que su valor económico sea bajo.

- ✓ Que rápidamente se diluya en el río a temperatura normal y no se encuentre en el agua del rio después de determinado espacio de tiempo y si se encuentra que lo esté en cantidades mínimas.

- ✓ Que no sea retenido o absorbido por sedimentos, plantas y organismos, ni se descomponga.

- ✓ Que su nivel de concentración se pueda detectar por métodos sencillos.

- ✓ Debe ser inocua para seres humanos y animales, en el grado de concentración que alcance en el agua del rio.

Es conveniente conocer de manera práctica cada uno de estos requisitos, para emplear el más adecuado conforme a las características hidráulicas, morfológicas, físicas y químicas del cauce y el agua de la corriente.

- Tipos de trazadores

En Colombia las sustancias más utilizadas para realizar aforos químicos son:

✓ Cloruro de sodio

La sal común (NaCl) es la sustancia trazadora más económica. Después de inyectada en la corriente su detección “in situ” por medio de la conductividad es relativamente sencilla, el grado de disolución es de 600 gramos por litro. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

✓ Dicromato de sodio

Esta sal es utilizada ampliamente en el método de aforo por dilución, por su alta solubilidad (600 gramos por litro). Cumple con la mayoría de requerimientos señalados y en el laboratorio su análisis colorimétrico permite medir concentraciones muy pequeñas de dicromato. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

✓ Cloruro de litio

Su solubilidad es de (600 gramos por litro) y en laboratorio su detección es realizada mediante un análisis fotométrico de la llama detectándose concentraciones de litio de 0.001 gramos por litro (espectrofometría de emisión). Otros trazadores químicos utilizados son el yoduro de sodio, nitrado de sodio y sulfato de manganeso. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

✓ La Rodamina W

Es muy utilizada en los Estados Unidos de América para el aforo por dilución, puesto que sus propiedades de absorción son mejores que las de otras tintas.
Su detección puede ser medida en la estación de aforos usando fluorímetros los cuales puedan detectar concentraciones de 5 a 10 partes Por millón (ppm). Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

✓ Elementos radiactivos

Su uso es limitado, por los peligros que pueden ocasionar para la salud y el medio natural donde se introduzcan. Algunos isótopos radiactivos empleados son la bromina 82, la yodina 131 y el sodio 24; determinándose su concentración con un contador o dosímetro, sumergiendo su sonda en la corriente o en un tanque contador normalizado. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007)

- Cálculo del caudal – método de inyección continúa

El cálculo del caudal (Q) en l/s, sin concentración inicial de trazador en la corriente, se determina a partir de la siguiente expresión:

$$Q = Qtr\ x\ \frac{C1 - C2}{C2 - Co}$$

Qtr = Caudal de inyección

C1 = Concentración de la solución inyectada

C2 = Concentración obtenida en la sección de muestreo

C0 = Concentración inicial de la corriente

- Cálculo del caudal – método de inyección instantánea

$$\boldsymbol{Qtr} = \frac{\boldsymbol{V\ x\ C1}}{\int_0^t \boldsymbol{Cxdt}}$$

Si la corriente no presenta conductividad inicial el caudal (Q) en lt/s. está dado por:

V = Volumen de la solución inyectada en litros

$\int C\ x\ dt$ = Sumatoria de las concentraciones parciales por tiempo parcial.

El caudal (Q), cuando la corriente tiene concentración inicial de trazador se obtiene mediante la fórmula de:

$$\boldsymbol{Q} = \frac{\boldsymbol{V\ x\ (C1\ -\ Co)}}{\boldsymbol{Cx\ dt - Co\ x\ T}}$$

C_0xT = Concentración inicial de la corriente por tiempo total

$$\int_0^T C\ x\ dt - Co\ x\ T = C3$$

T = Tiempo en que toda la solución cruza por el punto de muestreo.

3.2.3.2 Métodos de área velocidad

- Molinete. Conforme a lo expuesto por el Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007), existen dos clases de molinetes el de cazoletas con eje vertical, y el de hélice, de eje horizontal los cuales al momento de ser adquiridos deben ser calibrados con el objetivo de que midan un determinado rango de velocidades de flujo, las revoluciones por segundo se obtienen de la relación dada entre las velocidades de flujo y las velocidades alcanzadas por el rotor. Dichas revoluciones se registran en un contador, el cual por cada giro realizado por el rotor recibe un impulso eléctrico.

Los molinetes pueden ser calibrados individualmente o en conjunto; en la primera modalidad un molinete puede ser calibrado de forma individual cuando la relación velocidad – efecto fue elaborada para ese molinete en particular y en la segunda modalidad el fabricante ofrece una calibración en conjunto para cierto tipo de molinetes, los cuales fueron fabricados de manera uniforme y calibrados individualmente hasta asegurar una calibración estándar para toda la línea de producción. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

De acuerdo a fabricantes de molinetes como SEBA Hidrometrie y A.OOT Kempten, los molinetes calibrados individualmente no deben ser recalibrados, deben tener una tabla o curva de calibración y su fórmula correspondiente, ya que cada hélice tiene su propia ecuación y en caso de que esta se golpee y pierda su forma, lo más recomendable es cambiarla. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007)

Cuando el canal donde se vaya a realizar el aforo tenga poca profundidad, se puede realizar un aforo por vadeo o en caso contrario suspender un cable coaxial desde un puente o embarcación. En este último caso, es decir por ejemplo desde una embarcación, el molinete debe ubicarse en aquel sitio donde el flujo de la corriente sea uniforme y no existan perturbaciones causadas por la misma

embarcación que puedan alterar las mediciones. Una vez elegida la vertical, el rotor del molinete se orientara en dirección de la corriente antes de iniciar las mediciones, si no es posible evitar el arrastre del molinete debido al ímpetu del flujo de agua, se debe medir el ángulo para hacer la corrección de la velocidad medida. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

En uno o más puntos de la vertical se medirá la velocidad, por medio de un contador que registrara las revoluciones en lapsos de tiempo no menores a 50 segundos. En caso de no contar con instrumentos especiales para medir el ángulo y el viento sea depreciable, se debe considerar que el ángulo de toda la vertical, es el observado sobre la superficie del agua. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

El molinete debe revisarse continuamente, normalmente cuando se pasa de una vertical a otra; cuando el molinete que ha sido diseñado para medir un determinado rango de velocidades es sometido a las velocidades mínimas de diseño o cercanas a ellas la probabilidad de error se incrementa significativamente en particular con molinetes corrientes, (la velocidad mínima para velocidades confiables es 0,15 m/s). No obstante es posible realizar mediciones confiables por debajo de esta velocidad con molinetes especiales los cuales hayan sido probados bajo esta escala de velocidades en varias ocasiones hasta alcanzar cierto nivel de precisión, antes de la medición en campo. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

“El eje horizontal del molinete no debe estar situado a una distancia menor que una vez o una vez y media la altura del rotor con respecto a la superficie del agua, ni deberá estar a una distancia menor que tres veces la altura del rotor desde la parte inferior del canal; además, ninguna parte del molinete deberá rozar la superficie del agua” (Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM, 2007, pág. 40).

- Flotador. De acuerdo al Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007), este método de aforo solo es recomendable utilizarlo en casos especiales, como cuando se quiere medir de forma rápida el caudal en una canal natural o artificial cuya lámina de agua sea poco profunda, entonces se utilizan flotadores específicos para realizar este tipo de ejercicios. Estas mediciones nos brindan solo las velocidades superficiales de la corriente objeto de estudio.

Las velocidades generalmente se toman a ¼, ½ y ¾ del ancho de los dos puntos de control elegidos, en los cuales el agua debe correr libremente y las líneas de flujo deben ser paralelas. El punto uno es de salida y el punto dos de llegada, simultáneamente se toma el tiempo de desplazamiento entre cada punto para cada uno de los tres flotadores. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

Seguidamente se realizan los cálculos para hallar la velocidad media en la corriente promediando las tres velocidades de los flotadores lanzados a ¼, ½ y ¾ del ancho del tramo elegido para realizar los aforos. Cabe resaltar que para láminas pequeñas la velocidad en la vertical es homogénea, por la tanto la velocidad superficial es representativa para toda la sección de aforo. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

El área de la sección transversal se obtiene midiendo las profundidades de cada vertical y el ancho del afluente. El caudal se obtiene multiplicando el área por la velocidad media de los flotadores. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM (2007).

$$Q = A \times V$$

Requerimientos para realizar el método de aforo con Flotadores:

- Flotadores, suministrados por casa especializada en hidrometría (norma técnica)
- Cinta métrica
- Cronómetro
- Cartera de aforos y planillero
- Radios portátiles o celulares

3.3 MARCO LEGAL

En Colombia existen diversas normas con respecto al estado, conservación y manejo de las cuencas hidrográficas, pero solo algunas se refieren en particular a la cuenca del rio Fucha; entre ellas podemos resaltar la resolución No 5731 de 2008, el decreto 1106 de 1986, el decreto 1594 de 1984 y la ley 09 de 1979 (código sanitario) entre otras normas de regulación sanitario y ambiental que rigen a nivel nacional, regional o municipal.

3.3.1 Resolución 5731 de 2008

Por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital. Para lo cual se adoptara el documento titulado *"*Concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá - Informe Objetivos de Calidad*",* como información de soporte. Así mismo, este documento servirá como base conceptual del programa de tasas retributivas adelantado por la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA.

3.3.2 Decreto 1106 de 1986

Esta norma define las características de las Rondas o Área Forestal Protectora, su dominio y elementos que la conforman, como lo cita en su artículo número 2.

Artículo 2. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá determinará el acotamiento de todas las Rondas de los ríos, embalses, lagunas, quebradas y canales dentro del territorio del Distrito de Bogotá y en especial las cuencas de Torca, Conejera, Salitre, Jaboque, Fucha, Tintal, Tunjuelo y Soacha.

3.3.3 Decreto 1594 de 1984

Por el cual se reglamentan los usos del agua, se determinan los límites de vertimiento de aguas residuales; sustancias de interés sanitario y ambiental, permisos de vertimientos, estudios de impacto ambiental y procesos

sancionatorios con que las autoridades ambientales deben administrar el recurso para preservar su calidad.

3.3.4 Ley 09 de 1979

Por el cual se dictan medidas sanitarias para el control sanitario de los usos del agua.

3.3.5 Decreto 3440 de 2004

Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones con respecto al cobro de tasas retributivas, formas de pago, metas de reducción de cargas contaminantes en una cuenca, tramo o cuerpo de agua entre otras disposiciones conforme a los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.

3.3.6 Decreto 2811 de 1974

Por el cual se expide el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y protección al medio ambiente. En lo relacionado con los cuerpos de agua, especifica que es responsabilidad del estado garantizar la calidad del agua para consumo humano, clasificar las aguas, fijar su destinación y demás usos; mediante investigaciones y análisis periódicos que permitan determinar los tipos de contaminación que se presentan en la calidad del agua (física, química y biológica).

3.3.7 Resolución 1433 de 2004

Por el cual se dictan los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, se determinan las autoridades competentes que los aprueban y se adoptan otras disposiciones reglamentadas a partir del artículo 12 del Decreto 3100 de 2003.

4. METODOLOGIA

4.1 FASE DE CAMPO

Las mediciones de caudal se realizaron los siguientes días y se denominaron:

2 de mayo (campaña 1)
9 de mayo (campaña 2)

Estas campañas se realizaron en el año 2015 en los ríos Fucha y arzobispo con carrera 7. Estos ejercicios de aforo se realizaron en época de estiaje, y en cada monitoreo se ejecutaron cinco aforos con molinete, cinco aforos con el trazador (Nacl o sal común) y quince aforos con flotadores (bolas de ping pong y tabla de flotante).

El método de aforo con molinete fue con el cual se ejecutaron más mediciones, por ser este el método más preciso y utilizado en este tipo de corrientes por distintas universidades, laboratorios y/o entidades del sector público y privado. Por lo tanto sirvió como método base para determinar la efectividad de los demás métodos de aforo.

4.1.1 Medición de caudal con molinete

Se realizaron cinco aforos con un molinete Global water modelo FP 111 el cual fue prestado por el proyecto curricular de tecnología en saneamiento ambiental de la universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Para las profundidades de aforo se usó la metodología propuesta por Rodríguez (2014), la cual nos sugiere que debemos realizar los aforos al 60% de profundidad (el rango de profundidades de los sitios de monitoreo se encontraban entre 0.01 y 0.20 m).

Tabla 1. Profundidades de aforo

Profundidades
0.6 para profundidades < de 1m.
0.2 – 0.8 profundidades > de 1 m.

Fuente: Rodriguez (2014).

- Las distancias de aforo se efectuaron cada metro y al centro de acuerdo al ancho del afluente monitoreado.

Tabla 2. Selección de verticales

ANCHO DEL RIO (mts)	DISTANCIA DE CADA VERTICAL (mts)
0 – 0.5 m	0.5 del ancho total
0 – 20 m	1.00 m
20 – 30 m	2.00 m

Fuente: Autores del proyecto

4.1.2 Medición de caudal con flotador

En los tramos seleccionados para realizar el aforo; primero se obtuvo el área transversal midiendo el ancho del afluente, el cual se dividió en varias verticales de acuerdo tabla 2. Para el caso del rio Fucha, y en el rio salitre la medición se hizo directamente en el centro de la corriente.

Luego se midió la profundidad de cada vertical y se calculó el promedio. Posteriormente se lanzó el flotador; bola de ping pong y tabla flotante en 15 ocasiones cada uno de ellos, a una distancia suficiente aguas arriba de dos puntos preestablecidos, A (de inicio) y B (de llegada) separados a 10 metros, Simultáneamente se midió el tiempo que demoró el flotador en recorrer la distancia establecida entre el punto de salida y el punto de llegada.

Cabe señalar que la tabla flotante tiene un peso de 202 gramos y para este ejercicio se usó la metodología sugerida por la Organización Meteorológica Mundial. OMM (1994).

- Factor F de ajuste de la velocidad del flotador en función de la relación R, entre la profundidad de inmersión del flotador y la profundidad del agua.

Tabla 3. Ajustes de velocidades

R	F
0.10 o menos	0.86
0.25	0.88
0.50	0.90
0.75	0.94
0.95	0.98

Fuente: OMM (1994)

4.1.3 Medición de caudal con trazador

Primero se preparó la salmuera (agua mezclada con sal) Se agregaron 11 kg de sal en 30 litros de agua (salmuera al 36.67 %) en el rio Fucha y 1 kg en 3.8 litros de agua (salmuera al 26.32 %) en el rio arzobispo. Seguidamente se procedió a dejar homogenizar la disolución por un espacio de 12 horas continuas. Finalmente se realizó el aforo de caudal con la salmuera preparada el día anterior; para ello se utilizó un balde aforado en el cual se vertió 5000 ml de la mezcla en el caso del rio Fucha y en el rio arzobispo se inyectaron 60 ml de la solución. Las dos soluciones se inyectaron en el centro de cada rio. Seguidamente se midió la conductividad 10 metros aguas abajo del punto de inyección en el rio arzobispo y 30 metros aguas abajo en el rio Fucha, se utilizó un conductimetro marca YSI 30 perteneciente al proyecto curricular de tecnología en saneamiento ambiental de la universidad Distrital Francisco José de Caldas.

5. RESULTADOS

5.1 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO ARZOBISPO I

5.1.1 Aforos con molinete



Fotografía 1. Sección transversal del rio arzobispo.

A continuación se presentan los datos obtenidos el día 2 de mayo de 2015, en el cual se realizaron cinco aforos con el molinete de la marca global wáter FP111 (ver tablas 4 - 13). Estudio llevado a cabo en el rio arzobispo con carrera séptima, obteniéndose los siguientes resultados:

- Aforo No 1

Tabla 4. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.40	0.10	60%	3.70
0.40	0.10	60%	3.72
0.40	0.10	60%	3.65
0.40	0.10	60%	3.70
0.40	0.10	60%	3.68
0.40	0.10	60%	3.73

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 5. Cálculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.13	0.04	45.2
1.13	0.04	45.2
1.11	0.04	44.4
1.13	0.04	45.2
1.12	0.04	44.8
1.14	0.04	45.6

Fuente: Autores del proyecto
Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A x V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 45,07 L/s

- Aforo No 2

Tabla 6. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.40	0.10	60%	3.69
0.40	0.10	60%	3.65
0.40	0.10	60%	3.71
0.40	0.10	60%	3.60
0.40	0.10	60%	3.62
0.40	0.10	60%	3.65

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.12	0.04	44.8
1.11	0.04	44.4
1.13	0.04	45.2
1.10	0.04	44
1.10	0.04	44
1.11	0.04	44.4

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

$Q = A \times V$

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 44.47 L/s

- Aforo No 3

Tabla 8. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.40	0.10	60%	3.70
0.40	0.10	60%	3.75
0.40	0.10	60%	3.68
0.40	0.10	60%	3.71
0.40	0.10	60%	3.66
0.40	0.10	60%	3.71

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 9. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.13	0.04	45.2
1.14	0.04	45.6
1.12	0.04	44.8
1.13	0.04	45.2
1.12	0.04	44.8
1.13	0.04	45.2

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 45.13 L/s

- Aforo No 4

Tabla 10. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.40	0.10	60%	3.73
0.40	0.10	60%	3.74
0.40	0.10	60%	3.64
0.40	0.10	60%	3.72
0.40	0.10	60%	3.68
0.40	0.10	60%	3.64

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 11. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.14	0.04	45.6
1.14	0.04	45.6
1.11	0.04	44.4
1.13	0.04	45.2
1.12	0.04	44.8
1.11	0.04	44.4

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 45 L/s

- Aforo No 5

Tabla 12. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 1)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.40	0.10	60%	3.62
0.40	0.10	60%	3.65
0.40	0.10	60%	3.60
0.40	0.10	60%	3.73
0.40	0.10	60%	3.60
0.40	0.10	60%	3.67

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 13. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.10	0.04	44
1.11	0.04	44.4
1.10	0.04	44
1.14	0.04	45.6
1.10	0.04	44
1.12	0.04	44.8

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 44.47 L/s

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{6} \frac{Qi}{5} = \frac{45..07 + 44.47 + 45.13 + 45 + 44.47}{5} = \mathbf{44.83\ L/s}$$

Calculamos la varianza mediante la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum(Qi - \bar{Q})^2}{n - 1}$$

Y finalmente obtenemos una desviación estándar equivalente a:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \mathbf{0.330}$$

5.1.2 Aforo con flotadores

5.1.2.1 Aforos con bolas de Ping Pong

Para realizar este método de aforo (rio arzobispo con carrera séptima) se utilizó bolas de ping pong como flotadores el día 2 de mayo de 2015, se realizaron quince aforos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 1)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	7.00 7.32 7.37	7.23
2	7.07 7.13 7.73	7.31
3	7.34 7.45 8.05	7.61
4	7.50 7.02 7.37	7.30
5	6.59 7.42 7.01	7.00

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad: 0.10 m
Ancho: 0.40 m
Área: 0.04 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 15. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección F (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.383	1.189	0.048	47.56
1.368	1.176	0.047	47.04
1.314	1.130	0.045	45.2
1.370	1.178	0.047	47.12
1.429	1.229	0.049	49.16

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.180 m/s

Caudal promedio: 0.047 m³/s

Caudal promedio: 47.22 L/s

5.1.2.2 Aforos con Tabla Flotante

El día 2 de mayo de 2015 se realizó esta metodología de aforo para lo cual se utilizó una tabla de surf a escala (tabla flotante), la cual fue elaborada artesanalmente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 1)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	7.06 7.37 7.07	7.17
2	7.56 7.66 7.64	7.62
3	7.66 7.54 7.33	7.51
4	7.40 7.10 7.56	7.35
5	7.70 7.42 7.61	7.58

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad: 0.10 m
Ancho: 0.40 m
Área: 0.04 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 17. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 1)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección *F* (0.88)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.395	1.228	0.049	49.12
1.312	1.155	0.046	46.2
1.332	1.172	0.047	46.88
1.361	1.198	0.048	47.92
1.319	1.161	0.046	46.44

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.183 m/s

Caudal promedio: 0.047 m^3/s

Caudal promedio: 47.31 L/s

5.1.3 Aforos con trazador

- Aforo No 1

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	71
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	84
9	96
10	99
11	93
12	85
13	80
14	77
15	74
16	73
17	72
18	71

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 71 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = 40,219 lt/sg ≅ 0,040 m3/seg

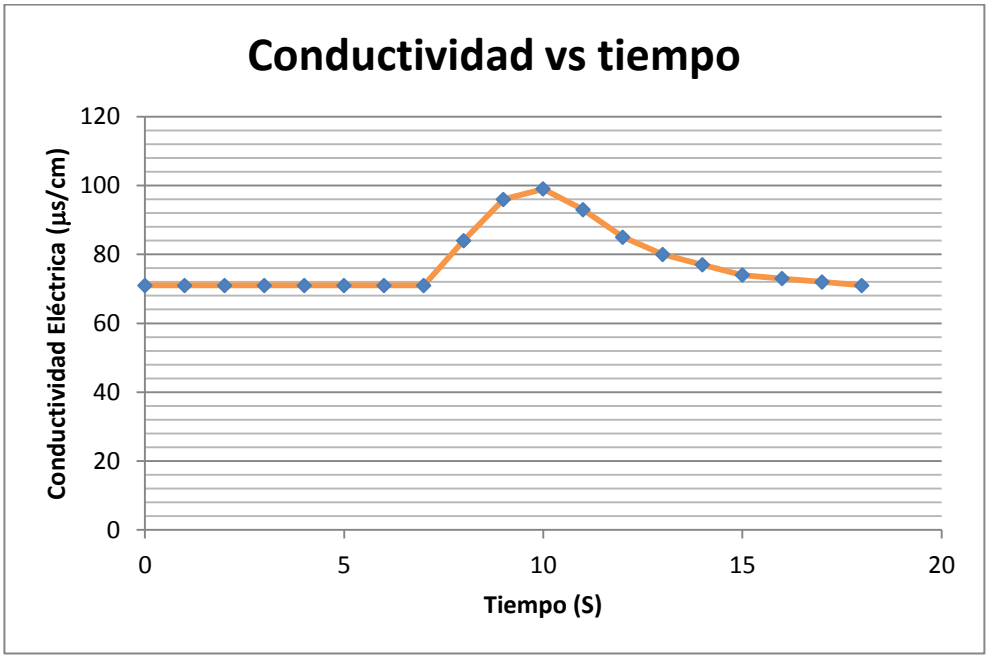


Figura 2. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 2

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	71
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	78
9	86
10	94
11	90
12	85
13	80
14	75
15	73
16	72
17	71
18	71

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 71 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **41,096 lt/sg ≅ 0,041 m3/seg**

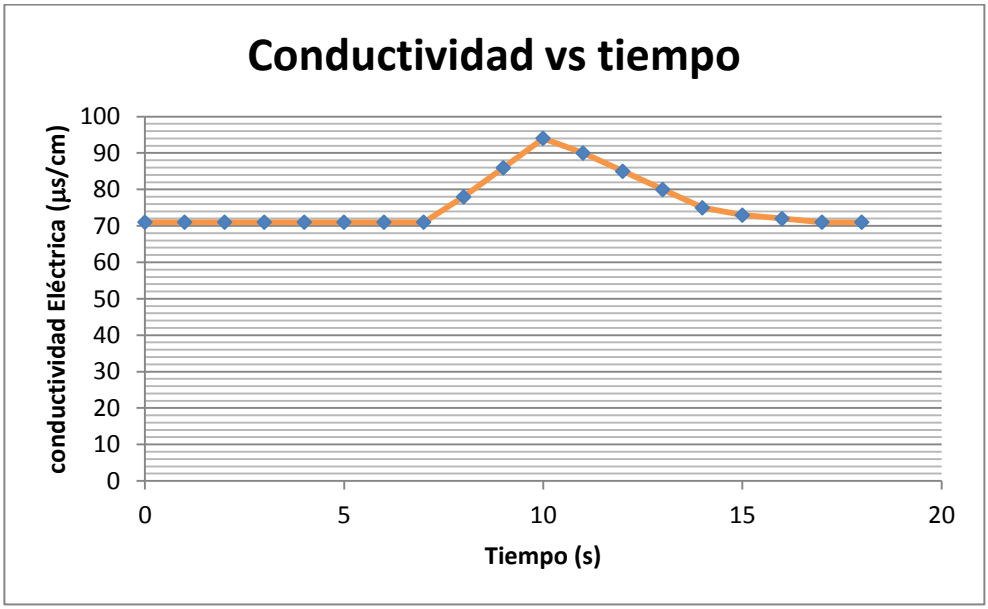


Figura 3. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 3

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 20. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	71
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	80
9	92
10	104
11	97
12	91
13	84
14	76
15	73
16	72
17	71
18	71

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 71 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = 39,976 lt/sg ≅ 0,040 m3/seg

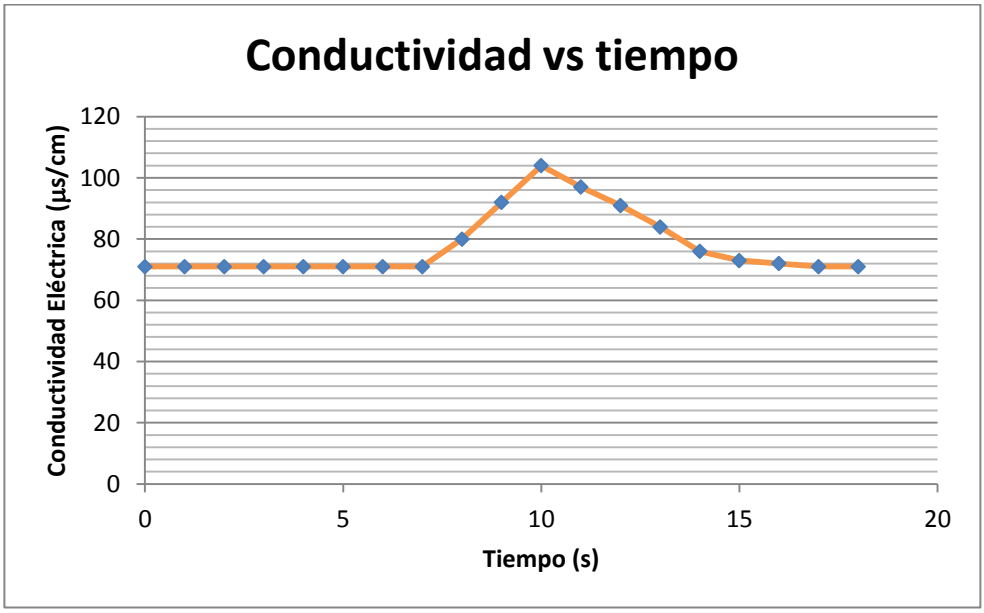


Figura 4. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 4

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 21. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	71
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	85
9	98
10	110
11	101
12	93
13	85
14	78
15	75
16	73
17	72
18	71

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 71 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **39,116 lt/sg ≅ 0,039 m3/seg**

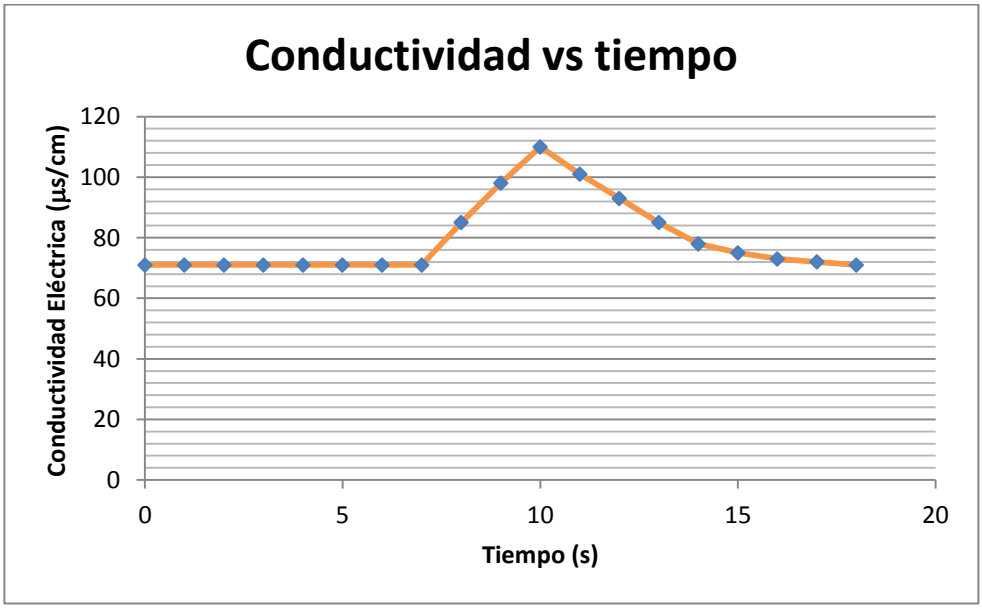


Figura 5. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 5

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 22. Conductividad (rio arzobispo, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	71
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	71
9	81
10	96
11	107
12	94
13	83
14	77
15	75
16	74
17	72
18	71

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 71 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **40,342 lt/sg ≅ 0,040 m3/seg**

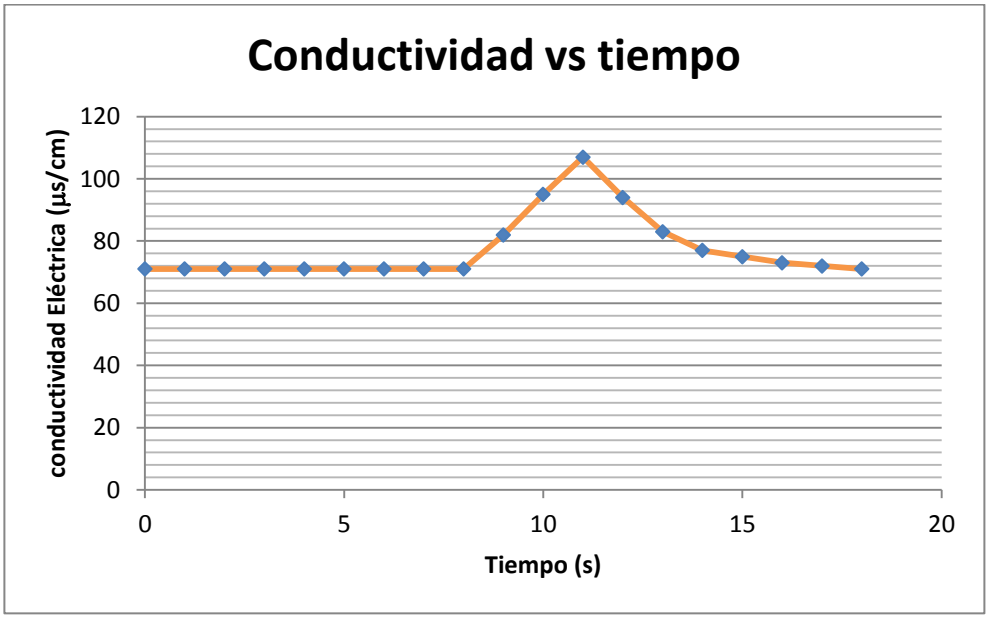


Figura 6. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

Caudal promedio: 0.040 m³/s

Caudal promedio: 40.15 L/s

5.2 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO FUCHA I

5.2.1 Aforos con molinete



Fotografía 2. Sección transversal del rio Fucha.

A continuación se presentan los datos obtenidos el día 2 de mayo de 2015, en el cual se realizaron cinco aforos con el molinete de la marca global wáter FP111 (ver tablas 23 - 32). Estudio llevado a cabo en el rio Fucha con carrera séptima, obteniéndose los siguientes resultados:

- Aforo No 1

Tabla 23. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.01	60%	0.00
1	0.08	60%	2.39
2	0.19	60%	4.49
3	0.14	60%	4.59
4	0.08	60%	2.32
5	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 24. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.37	0.00	0
0.73	1.05	0.08	84
1.37	1.39	0.19	264.1
1.40	1.1	0.14	154
0.71	0.36	0.08	28.8
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

$Q = A \times V$

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 530.9 L/s

- Aforo No 2

Tabla 25. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.01	60%	0.00
1	0.10	60%	2.46
2	0.19	60%	4.65
3	0.16	60%	4.36
4	0.08	60%	2.46
5	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 26. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.38	0.00	0
0.75	1.09	0.10	109
1.42	1.38	0.19	262.2
1.33	1.04	0.16	166.4
0.75	0.38	0.08	30.4
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

$Q = A \times V$

A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 568 L/s

- Aforo No 3

Tabla 27. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.01	60%	0.00
1	0.10	60%	2.52
2	0.19	60%	4.88
3	0.17	60%	4.59
4	0.08	60%	2.62
5	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 28. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.39	0.00	0
0.77	1.13	0.10	113
1.49	1.45	0.19	275.5
1.40	1.10	0.17	187
0.80	0.40	0.08	32
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 607.5 L/s

- Aforo No 4

Tabla 29. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.01	60%	0.00
1	0.10	60%	2.39
2	0.19	60%	4.13
3	0.17	60%	4.26
4	0.08	60%	2.39
5	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 30. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.37	0.00	0
0.73	1.00	0.10	100
1.26	1.28	0.19	243.2
1.30	1.02	0.17	173.4
0.73	0.37	0.08	29.6
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente fórmula:

Q= A X V

A: área mojada

V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 546.2 L/s

- Aforo No 5

Tabla 31. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 1)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.01	60%	0.00
1	0.10	60%	2.52
2	0.19	60%	4.42
3	0.15	60%	4.11
4	0.08	60%	2.46
5	0.00	60%	0.00

.
Fuente: Autores del proyecto

Tabla 32. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.39	0.00	0
0.77	1.06	0.10	106
1.35	1.30	0.19	247
1.25	1.00	0.15	150
0.75	0.38	0.08	30.4
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto
Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente fórmula:

Q= A X V

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 533.4 L/s

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal promedio equivalente a:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{6} \frac{Qi}{5} = \frac{530.9 + 568 + 607.5 + 546.2 + 533.4}{5} = \mathbf{557.2\ L/s}$$

Calculamos la varianza mediante la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum(Qi - \bar{Q})^2}{n - 1}$$

Y finalmente obtenemos una desviación estándar equivalente a:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \mathbf{31.725}$$

5.2.2 Aforo con flotadores

5.2.2.1 Aforos con bolas de Ping Pong

Para realizar este método de aforo (rio Fucha con carrera séptima) se utilizó bolas de ping pong como flotadores el día 2 de mayo de 2015, se realizaron quince aforos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 33. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 1)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	6.93 6.45 6.51	6.63
2	6.36 7.01 7.02	6.80
3	7.00 7.00 7.03	7.01
4	7.01 7.00 7.03	7.01
5	6.59 7.02 7.01	6.87

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad promedio: 0.11 m
Ancho: 5.0 m
Área: 0.55 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 34. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección F (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.508	1.297	0.713	713.35
1.471	1.265	0.696	695.75
1.427	1.227	0.675	674.85
1.427	1.227	0.675	674.85
1.456	1.252	0.689	688.6

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.254 m/s

Caudal promedio: 0.689 m³/s

Caudal promedio: 689.48 L/s

5.2.2.2 Aforos con Tabla Flotante

El día 2 de mayo de 2015 se realizó esta metodología de aforo para lo cual se utilizó una tabla de surf a escala (tabla flotante), la cual fue elaborada artesanalmente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 35. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 1)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	6.34 6.88 6.44	6.55
2	6.53 6.71 7.06	6.77
3	6.27 6.58 6.65	6.5
4	6.27 6.71 7.04	6.67
5	6.29 6.82 6.96	6.69

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad promedio: 0.11 m
Ancho: 5.0 m
Área: 0.55 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 36. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 1)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección *F* (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.527	1.313	0.722	722.15
1.477	1.270	0.699	698.5
1.538	1.323	0.728	727.65
1.499	1.289	0.709	708.95
1.495	1.286	0.707	707.3

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.305 m/s

Caudal promedio: 0.713 m^3/s

Caudal promedio: 712.91 L/s

5.2.3 Aforos con trazador

- Aforo No 1

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 37. Conductividad (rio Fucha, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	140
2	140
4	140
6	140
8	140
10	140
12	176
14	212
16	246
18	221
20	199
22	174
24	154
26	143
28	142
30	140

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 140 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **497,517 lt/sg ≅ 0,498 m3/seg**

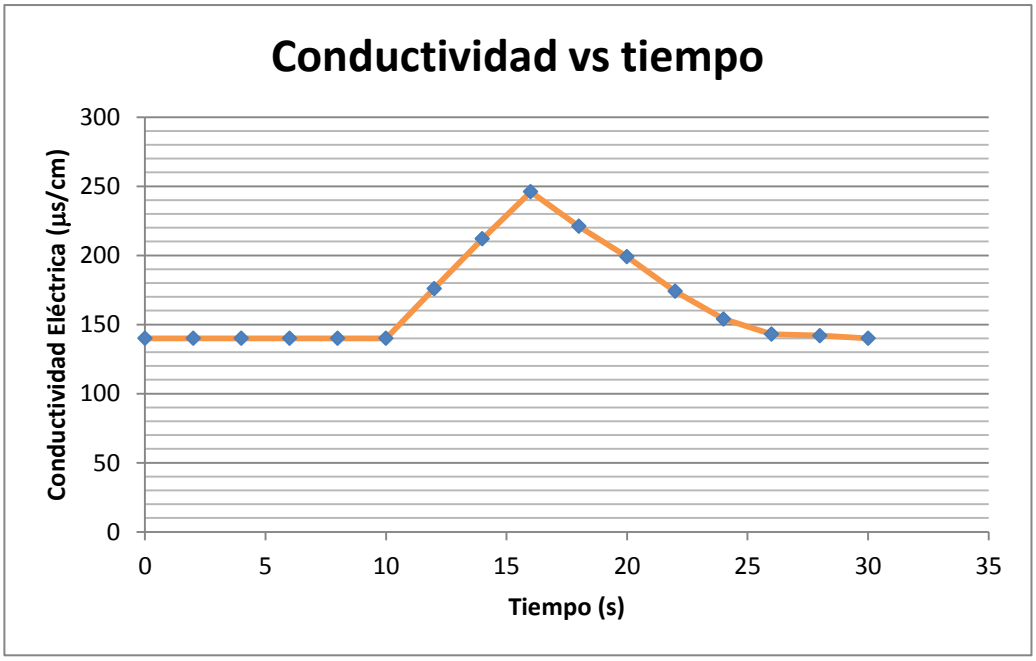


Figura 7. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 2

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 38. Conductividad (rio Fucha, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	142
2	142
4	142
6	142
8	142
10	142
12	181
14	216
16	249
18	224
20	202
22	177
24	158
26	146
28	144
30	142

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 142 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **482,356 lt/sg ≅ 0,482 m3/seg**

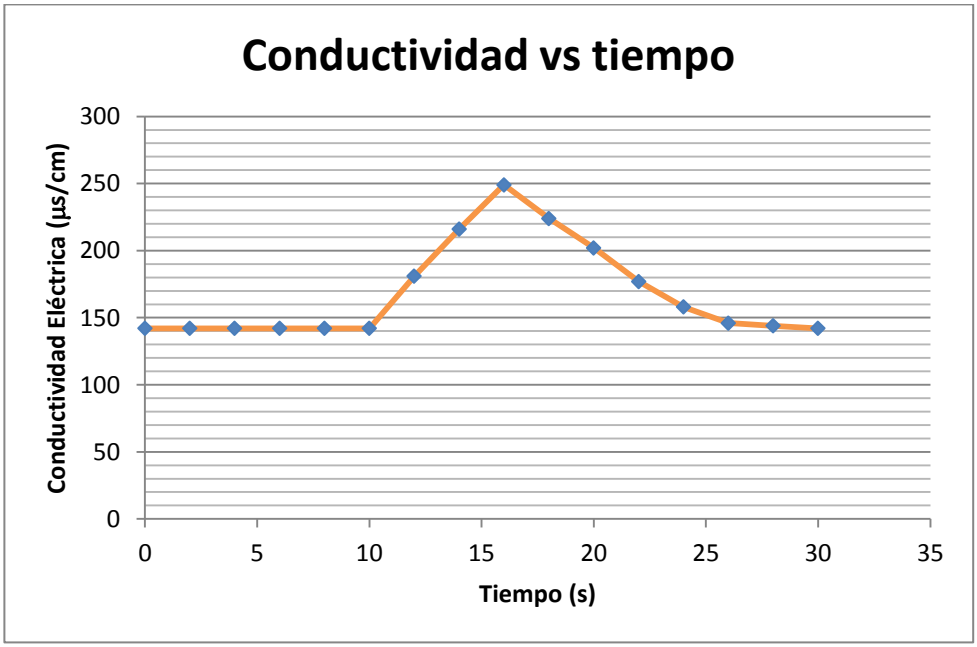


Figura 8. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 3

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 39. Conductividad (rio Fucha, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	139
2	139
4	139
6	139
8	139
10	139
12	174
14	207
16	240
18	218
20	195
22	171
24	153
26	142
28	140
30	139

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 139 μs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **507,981 lt/sg ≅ 0,508 m3/seg**

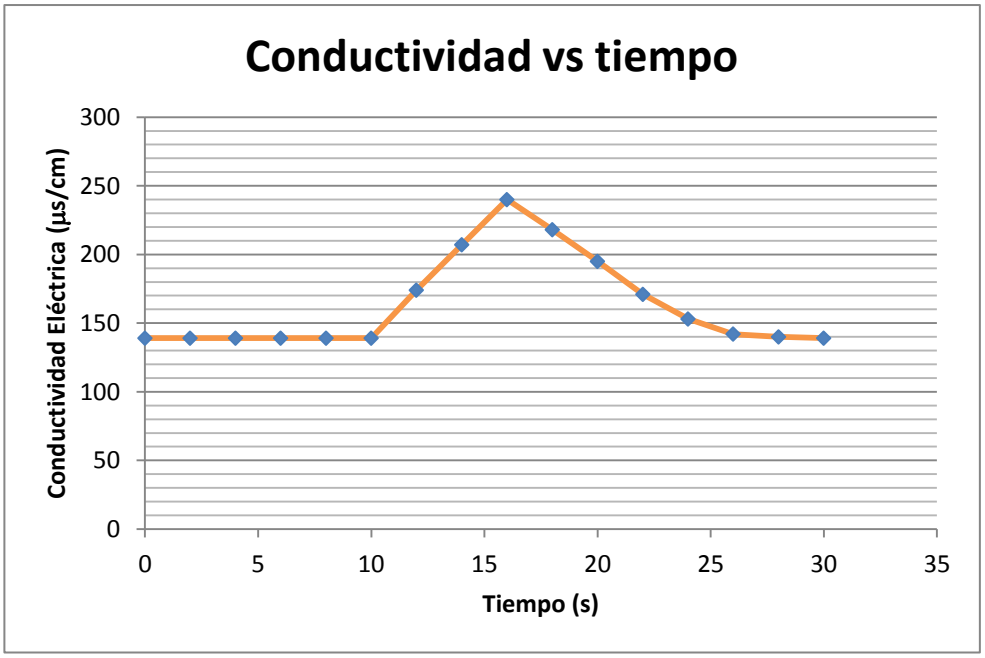


Figura 9. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 4

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 40. Conductividad (rio Fucha, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	140
2	140
4	140
6	140
8	140
10	140
12	172
14	207
16	241
18	218
20	195
22	170
24	151
26	143
28	142
30	140

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 140 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **510,318 lt/sg ≅ 0,510 m3/seg**

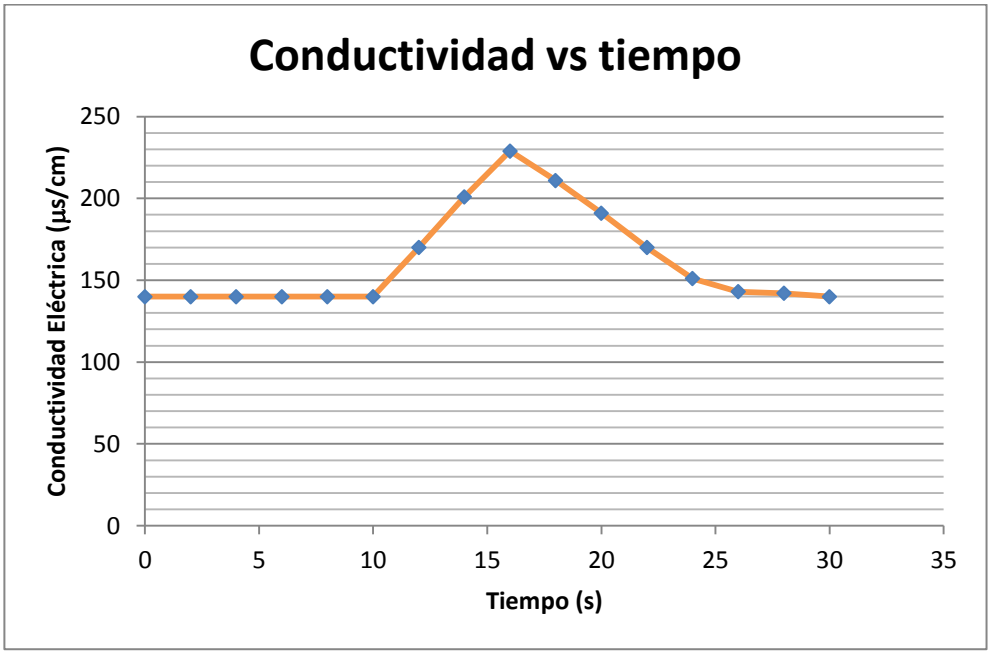


Figura 10. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 5

El día 2 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 41. Conductividad (rio Fucha, campaña 1)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	141
2	141
4	141
6	141
8	141
10	141
12	167
14	196
16	224
18	205
20	184
22	163
24	147
26	143
28	142
30	141

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 141 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **513,895 lt/sg ≅ 0,514 m3/seg**

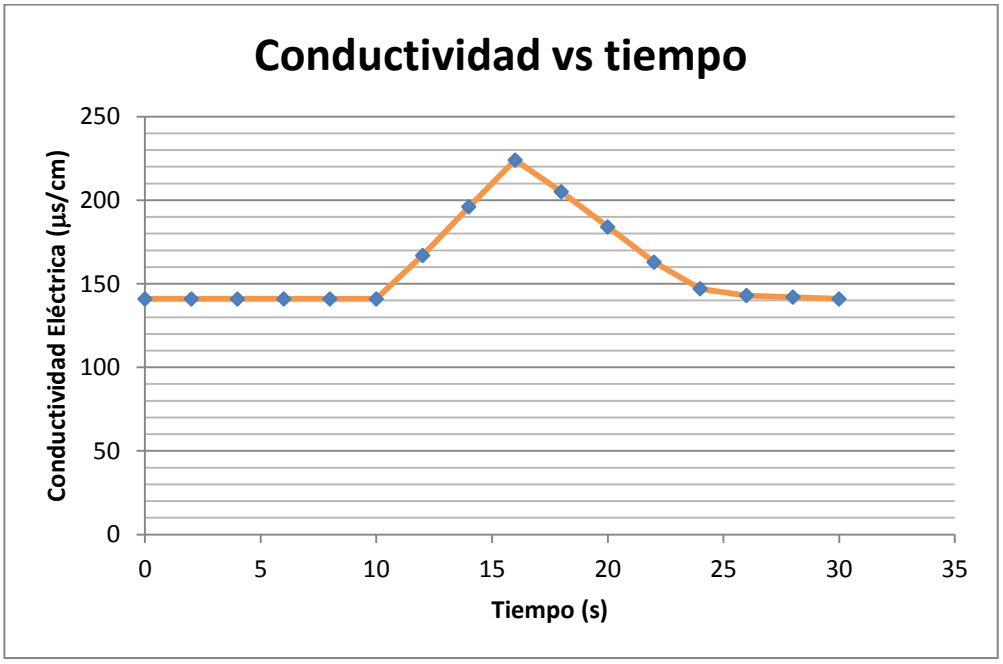


Figura 11. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

Caudal promedio: 0.502 m³/s

Caudal promedio: 502.41 L/s

5.3 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO ARZOBISPO II

5.3.1 Aforos con molinete

A continuación se presentan los datos obtenidos el día 9 de mayo de 2015, en el cual se realizaron cinco aforos con el molinete de la marca global wáter FP111 (ver tablas 42 - 51). Estudio llevado a cabo en el rio arzobispo con carrera séptima, obteniéndose los siguientes resultados:

- Aforo No 1

Tabla 42. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.41	0.11	60%	3.73
0.41	0.11	60%	3.71
0.41	0.11	60%	3.70
0.41	0.11	60%	3.72
0.41	0.11	60%	3.74
0.41	0.11	60%	3.71

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 43. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.14	0.045	51.3
1.13	0.045	50.85
1.13	0.045	50.85
1.13	0.045	50.85
1.14	0.045	51.3
1.13	0.045	50.85

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A x V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 51 L/s

- Aforo No 2

Tabla 44. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.41	0.11	60%	3.72
0.41	0.11	60%	3.68
0.41	0.11	60%	3.66
0.41	0.11	60%	3.70
0.41	0.11	60%	3.65
0.41	0.11	60%	3.67

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 45. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.13	0.045	50.85
1.12	0.045	50.4
1.12	0.045	50.4
1.13	0.045	50.85
1.11	0.045	49.95
1.12	0.045	50.4

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A x V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 50.48 L/s

- Aforo No 3

Tabla 46. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.41	0.11	60%	3.74
0.41	0.11	60%	3.72
0.41	0.11	60%	3.70
0.41	0.11	60%	3.65
0.41	0.11	60%	3.73
0.41	0.11	60%	3.68

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 47. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.14	0.045	51.3
1.13	0.045	50.85
1.13	0.045	50.85
1.11	0.045	49.95
1.14	0.045	51.3
1.12	0.045	50.4

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 50.78 L/s

- Aforo No 4

Tabla 48. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.41	0.11	60%	3.69
0.41	0.11	60%	3.75
0.41	0.11	60%	3.74
0.41	0.11	60%	3.76
0.41	0.11	60%	3.70
0.41	0.11	60%	3.71

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 49. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.12	0.045	50.4
1.14	0.045	51.3
1.14	0.045	51.3
1.15	0.045	51.75
1.13	0.045	50.85
1.13	0.045	50.85

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 51.08 L/s

- Aforo No 5

Tabla 50. Aforo con molinete (rio arzobispo, campaña 2)

ANCHO TOTAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0.41	0.11	60%	3.74
0.41	0.11	60%	3.68
0.41	0.11	60%	3.65
0.41	0.11	60%	3.71
0.41	0.11	60%	3.63
0.41	0.11	60%	3.72

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 51. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL (L/s)
1.14	0.045	51.3
1.12	0.045	50.4
1.11	0.045	49.95
1.13	0.045	50.85
1.11	0.045	49.95
1.13	0.045	50.85

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 50.55 L/s

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal promedio equivalente a:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{6} \frac{Qi}{5} = \frac{51 + 50.48 + 50.78 + 51.08 + 50.55}{5} = \mathbf{50.78\ L/s}$$

Calculamos la varianza mediante la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum(Qi - \bar{Q})^2}{n - 1}$$

Y finalmente obtenemos una desviación estándar equivalente a:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = 0.\mathbf{265}$$

5.3.2 Aforo con flotadores

5.3.2.1 Aforos con bolas de Ping Pong

Para realizar este método de aforo (rio arzobispo con carrera séptima) se utilizó bolas de ping pong como flotadores el día 9 de mayo de 2015, se realizaron quince aforos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 52. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 2)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	6.91 7.39 7.13	7.14
2	7.08 7.21 7.33	7.21
3	7.00 7.13 7.34	7.16
4	7.53 7.24 7.39	7.39
5	7.11 7.04 6.49	6.88

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad: 0.11 m
Ancho: 0.41 m
Área: 0.045 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 53. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección F (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.401	1.205	0.054	54.23
1.387	1.193	0.054	53.69
1.397	1.201	0.054	54.05
1.353	1.164	0.052	52.38
1.453	1.250	0.056	56.25

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.203 m/s

Caudal promedio: 0.054 m³/s

Caudal promedio: 54.12 L/s

5.3.2.2 Aforos con Tabla Flotante

El día 9 de mayo de 2015 se realizó esta metodología de aforo para lo cual se utilizó una tabla de surf a escala (tabla flotante), la cual fue elaborada artesanalmente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 54. Tiempos promedio (rio arzobispo, campaña 2)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	6.96 7.27 7.10	7.11
2	7.36 7.16 7.54	7.35
3	7.35 7.04 7.13	7.17
4	7.53 7.18 7.02	7.24
5	7.19 7.42 7.24	7.28

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad: 0.11 m
Ancho: 0.41 m
Área: 0.045 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 55. Calculo de caudal (rio arzobispo, campaña 2)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección *F* (0.88)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.406	1.237	0.056	55.67
1.361	1.198	0.054	53.91
1.395	1.228	0.055	55.26
1.381	1.215	0.055	54.68
1.374	1.209	0.054	52.41

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.217 m/s

Caudal promedio: 0.054 m³/s

Caudal promedio: 54.38 L/s

5.3.3 Aforos con trazador

- Aforo No 1

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 56. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	66
1	66
2	66
3	66
4	66
5	66
6	66
7	66
8	81
9	95
10	109
11	96
12	84
13	76
14	71
15	69
16	68
17	67
18	66

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 66 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **45,003 lt/sg ≅ 0,045 m3/seg**

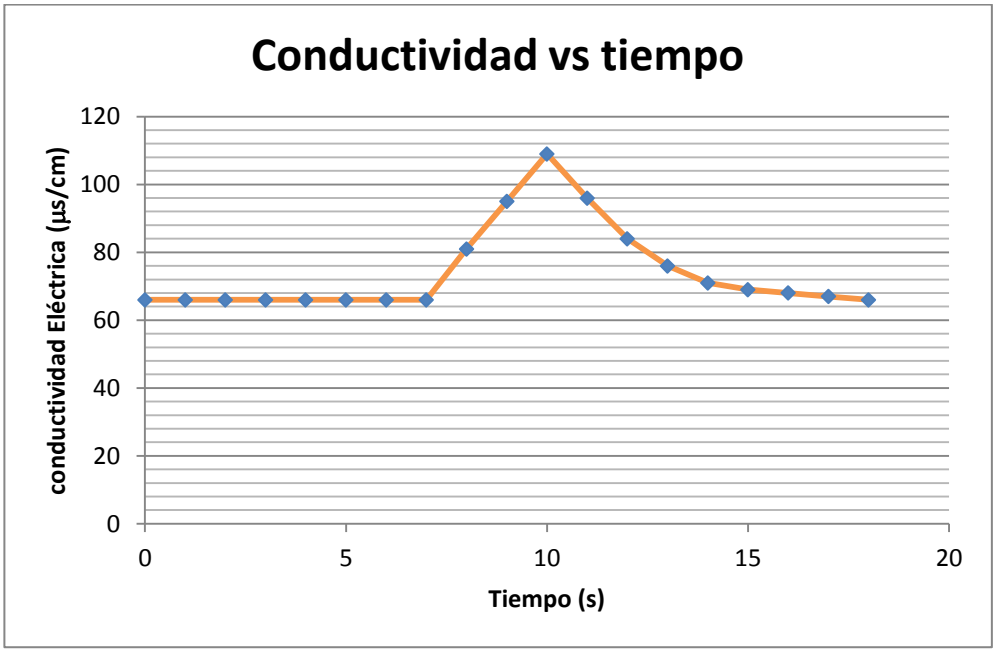


Figura 12. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 2

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 57. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	67
1	67
2	67
3	67
4	67
5	67
6	67
7	67
8	80
9	92
10	103
11	91
12	81
13	75
14	72
15	70
16	69
17	68
18	67

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 67 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **44,625 lt/sg ≅ 0,045 m3/seg**

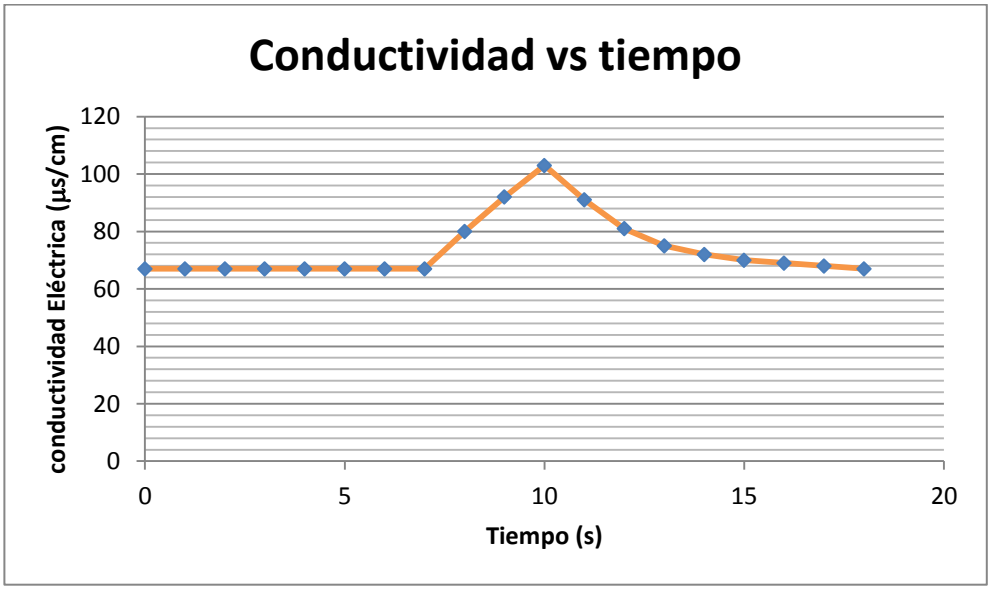


Figura 13. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 3

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 58. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	67
1	67
2	67
3	67
4	67
5	67
6	67
7	67
8	81
9	94
10	107
11	94
12	85
13	77
14	73
15	71
16	68
17	67
18	67

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 67 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **44,028 lt/sg ≅ 0,044 m3/seg**

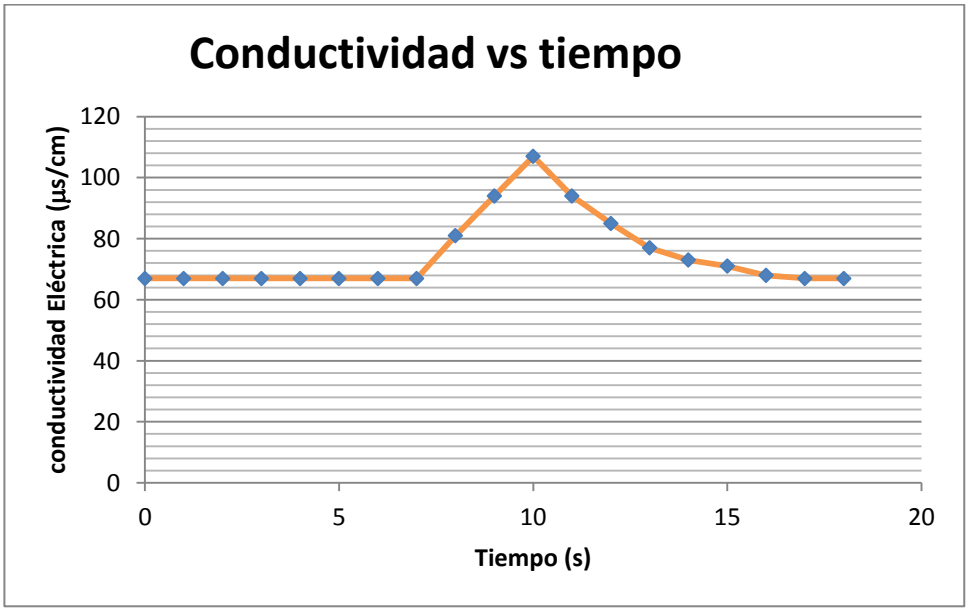


Figura 14. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 4

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 59. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	66
1	66
2	66
3	66
4	66
5	66
6	66
7	66
8	79
9	92
10	105
11	96
12	88
13	80
14	73
15	70
16	68
17	67
18	66

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 66 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **44,932 lt/sg ≅ 0,045 m3/seg**

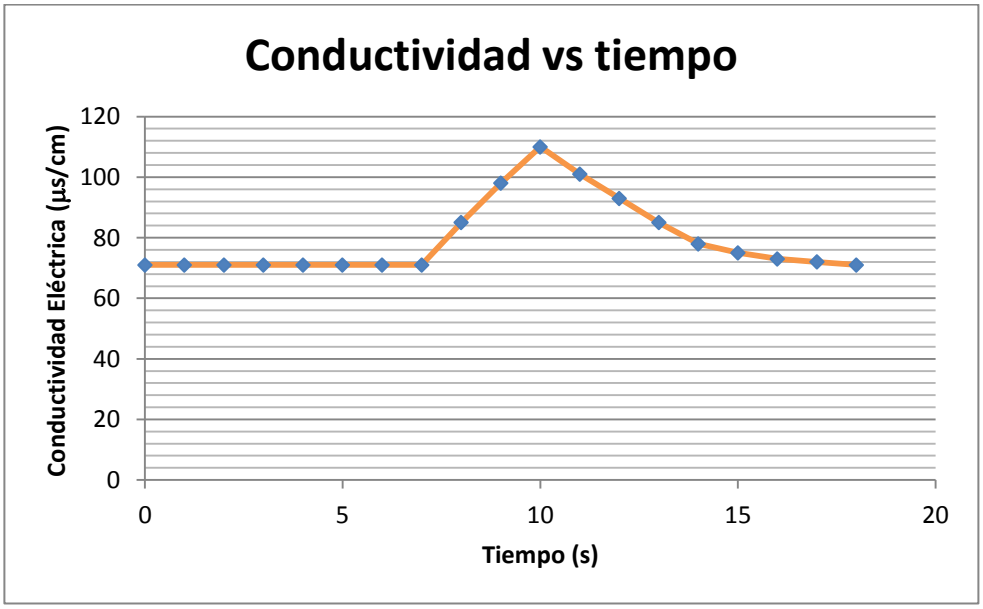


Figura 15. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 5

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 60. Conductividad (rio arzobispo, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	66
1	66
2	66
3	66
4	66
5	66
6	66
7	66
8	77
9	90
10	101
11	88
12	78
13	72
14	70
15	69
16	68
17	67
18	66

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 3.8 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 1000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 66 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **46,327 lt/sg ≅ 0,046 m3/seg**

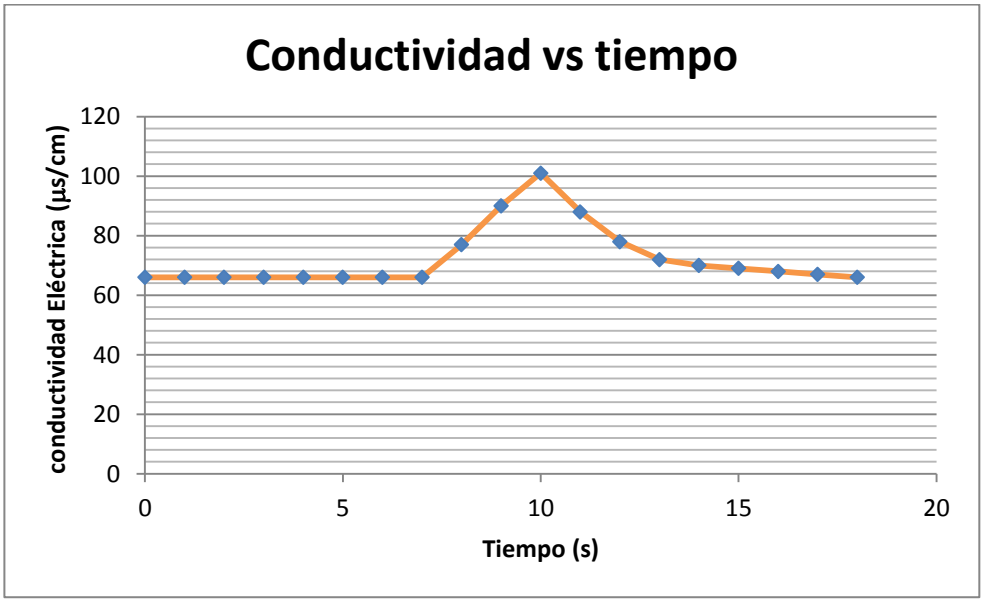


Figura 16. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

Caudal promedio: 0.045 m³/s

Caudal promedio: 44.983 L/s

5.4 AFOROS DE CAUDAL EN EL RIO FUCHA II

5.4.1 Aforos con molinete

A continuación se presentan los datos obtenidos el día 9 de mayo de 2015, en el cual se realizaron cinco aforos con el molinete de la marca global wáter FP111 (ver tablas 61 - 70). Estudio llevado a cabo en el rio Fucha con carrera séptima, obteniéndose los siguientes resultados:

- Aforo No 1

Tabla 61. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.00	60%	0.00
1	0.08	60%	2.41
2	0.20	60%	4.52
3	0.15	60%	4.60
4	0.08	60%	2.34
4.9	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 62. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.37	0.00	0
0.73	1.06	0.08	84.4
1.38	1.39	0.20	278
1.40	1.06	0.15	159
0.71	0.36	0.08	28.8
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A x V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 550.2 L/s

- Aforo No 2

Tabla 63. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.00	60%	0.00
1	0.07	60%	2.40
2	0.19	60%	4.43
3	0.15	60%	4.52
4	0.08	60%	2.44
4.9	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 64. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.37	0.00	0
0.73	1.04	0.07	72.8
1.35	1.37	0.19	260.3
1.38	1.06	0.15	159
0.74	0.37	0.08	29.6
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A x V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 521.7 L/s

- Aforo No 3

Tabla 65. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.00	60%	0.00
1	0.08	60%	2.53
2	0.19	60%	4.28
3	0.14	60%	4.45
4	0.08	60%	2.38
4.9	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 66. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.39	0.00	0
0.77	1.04	0.08	83.2
1.30	1.33	0.19	252.7
1.36	1.05	0.14	147
0.73	0.37	0.08	29.6
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 512.5 L/s

- Aforo No 4

Tabla 67. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.00	60%	0.00
1	0.09	60%	2.49
2	0.20	60%	4.76
3	0.14	60%	4.41
4	0.08	60%	2.59
4.9	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 68. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.38	0.00	0
0.76	1.11	0.09	99.9
1.45	1.40	0.20	280
1.34	1.07	0.14	149.8
0.79	0.40	0.08	32
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V
A: área mojada
V: velocidad del flujo

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 561.7 L/s

- Aforo No 5

Tabla 69. Aforo con molinete (rio Fucha, campaña 2)

DISTANCIA DE AFORO (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE AFORO	VELOCIDADES (ft/s)
0	0.00	60%	0.00
1	0.07	60%	2.32
2	0.19	60%	4.60
3	0.14	60%	4.53
4	0.08	60%	2.38
4.9	0.00	60%	0.00

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 70. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	AREA (m2)	CAUDAL PARCIAL (L/s)
0.00	0.36	0.00	0
0.71	1.06	0.07	74.2
1.40	1.39	0.19	264.1
1.38	1.06	0.14	148.4
0.73	0.37	0.08	29.6
0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Autores del proyecto

Con base en los datos obtenidos, determinamos los caudales mediante la siguiente ecuación:

Q= A X V

Realizando la sumatoria de cada sección hallamos un caudal final equivalente a:

Q = 516.3 L/s

Realizando la sumatoria y promediando los caudales hallamos un caudal promedio equivalente a:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{6} \frac{Qi}{5} = \frac{550.2 + 521.7 + 512.5 + 561.7 + 516.3}{5} = \boldsymbol{532.48\ L/s}$$

Calculamos la varianza mediante la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum(Qi - \bar{Q})^2}{n - 1}$$

Y finalmente obtenemos una desviación estándar equivalente a:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \boldsymbol{20.70}$$

5.4.2 Aforo con flotadores

5.4.2.1 Aforos con bolas de Ping Pong

Para realizar este método de aforo (rio Fucha con carrera séptima) se utilizó bolas de ping pong como flotadores el día 9 de mayo de 2015, se realizaron quince aforos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 71. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 2)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	7.03 6.58 7.09	6.90
2	7.11 7.04 7.14	7.10
3	6.60 6.81 7.02	6.81
4	7.05 7.12 7.04	7.07
5	7.02 6.78 7.06	6.95

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad promedio: 0.1 m
Ancho: 4.9 m
Área: 0.49 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 72. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección F (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.449	1.246	0.611	610.54
1.408	1.211	0.593	593.39
1.468	1.262	0.618	618.38
1.414	1.216	0.596	595.84
1.439	1.237	0.606	606.13

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.234 m/s

Caudal promedio: 0.605 m³/s

Caudal promedio: 604.86 L/s

5.4.2.2 Aforos con Tabla Flotante

El día 9 de mayo de 2015 se realizó esta metodología de aforo para lo cual se utilizó una tabla de surf a escala (tabla flotante), la cual fue elaborada artesanalmente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 73. Tiempos promedio (rio Fucha, campaña 2)

Número de aforo por rondas	Tiempo de recorrido(s)	Tiempo promedio (s)
1	6.52 6.34 6.50	6.45
2	6.43 7.05 6.78	6.75
3	6.40 6.95 6.39	6.58
4	6.80 6.54 7.15	6.83
5	6.31 7.01 6.84	6.72

Fuente: Autores del proyecto

Longitud del tramo: 10 m
Profundidad promedio: 0.1 m
Ancho: 4.9 m
Área: 0.49 m2

La ecuación principal empleada para calcular las velocidades será:

$$\boldsymbol{v} = \frac{longitud\ del\ tramo\ (m)}{tiempo\ de\ recorrido\ (s)}$$

Ahora el caudal será igual a:

$$Q = a * v$$

Tabla 74. Calculo de caudal (rio Fucha, campaña 2)

Velocidad (m/s)	Factor de corrección *F* (0.86)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1.550	1.333	0.653	653.17
1.481	1.274	0.624	624.26
1.520	1.307	0.640	640.43
1.464	1.259	0.617	616.91
1.488	1.280	0.627	627.2

Fuente: Autores del proyecto

Velocidad promedio: 1.305 m/s

Caudal promedio: 0.632 m³/s

Caudal promedio: 632.39 L/s

5.4.3 Aforos con trazador

- Aforo No 1

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 75. Conductividad (rio Fucha, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
0	145
2	145
4	145
6	145
8	145
10	145
12	181
14	217
16	251
18	226
20	204
22	179
24	160
26	148
28	146
30	145

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 145 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **466,593 lt/sg ≅ 0,466 m3/seg**

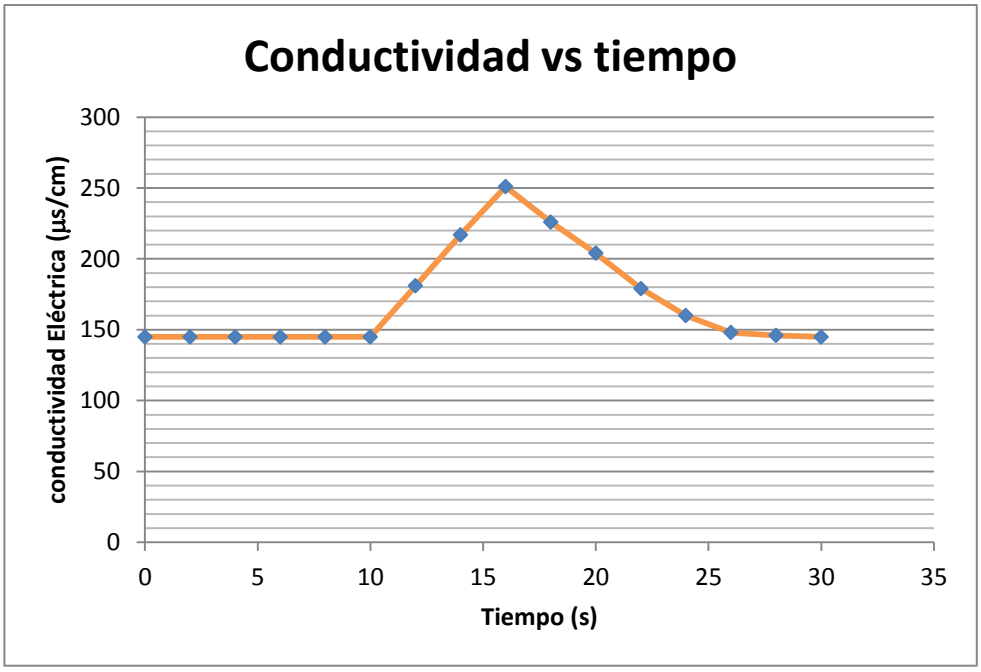


Figura 17. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 2

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 76. Conductividad (rio Fucha, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	145
2	145
4	145
6	145
8	145
10	145
12	185
14	225
16	265
18	235
20	205
22	180
24	161
26	147
28	145
30	145

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 145 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **459,574 lt/sg ≅ 0,459 m3/seg**

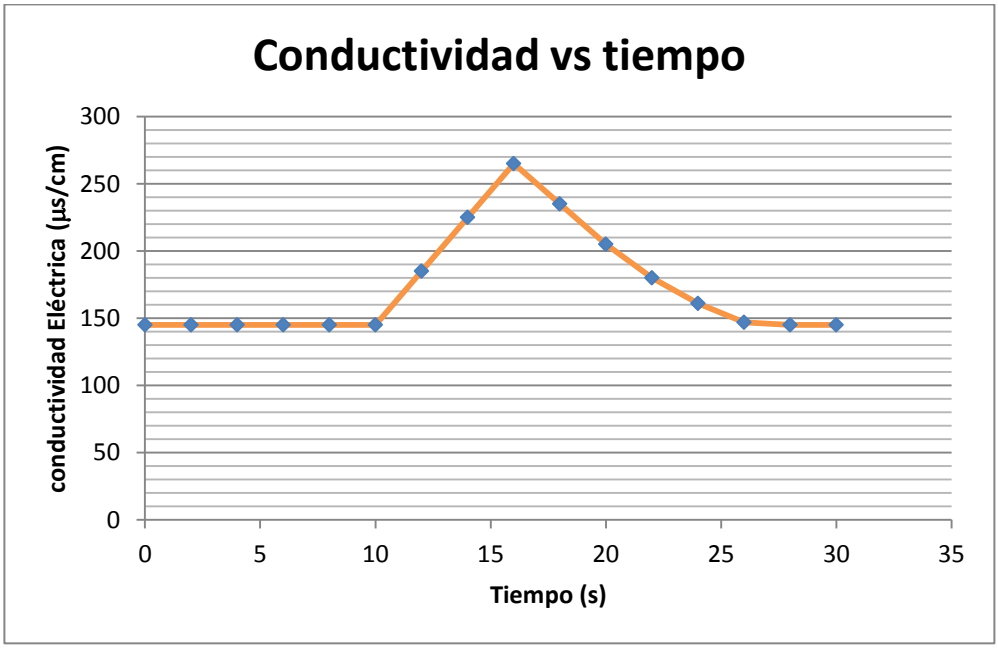


Figura 18. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 3

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 77. Conductividad (rio Fucha, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	146
2	146
4	146
6	146
8	146
10	146
12	181
14	214
16	247
18	225
20	202
22	178
24	160
26	149
28	147
30	146

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 146 μs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = 464,186 lt/sg ≅ 0,464 m3/seg

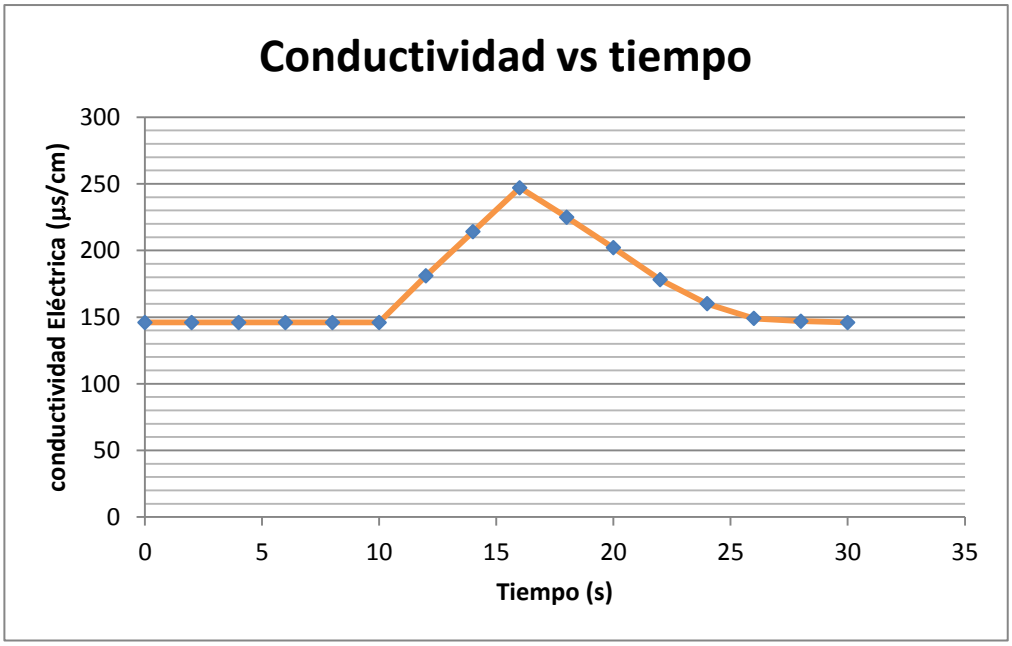


Figura 19. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 4

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 78. Conductividad (rio Fucha, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	146
2	146
4	146
6	146
8	146
10	146
12	176
14	207
16	235
18	217
20	197
22	176
24	157
26	149
28	148
30	146

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 146 μs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = **472,192 lt/sg ≅ 0,472 m3/seg**

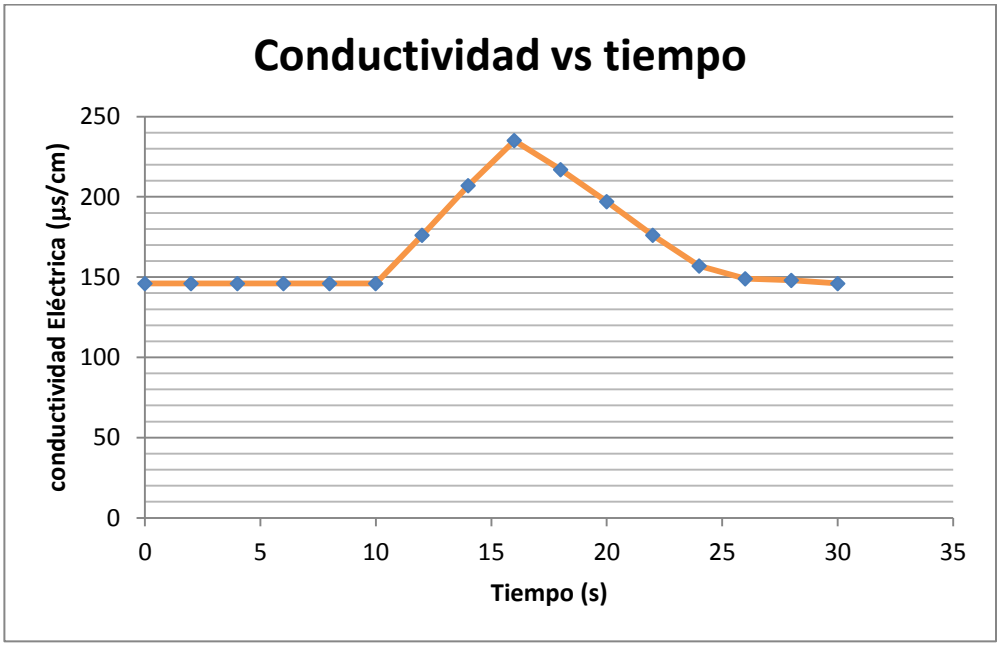


Figura 20. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

- Aforo No 5

El día 9 de mayo de 2015 en el tramo de estudio se realizaron cinco aforos con este método, utilizándose una concentración conocida de sal diluida en agua la cual fue inyectada a la corriente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 79. Conductividad (rio Fucha, campaña 2)

Tiempo (s)	Conductividad Eléctrica (ms/cm)
0	146
2	146
4	146
6	146
8	146
10	146
12	172
14	201
16	229
18	210
20	189
22	168
24	152
26	148
28	147
30	146

Fuente: Autores del proyecto

Volumen del trazador (V): 11 Lts

Concentración del trazador en la solución (C_1): 11000000 mg/lt

Conductividad inicial de la corriente: 146 µs/cm

$$Q = \frac{V\ x\ C1}{\int_0^t Cxdt}$$

Donde $\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$, representa el área bajo la curva:

$\int_{t1}^{t2}(C2 - C0)xdt$ =

$Q =$ = 481,510 lt/sg ≅ 0,482 m3/seg

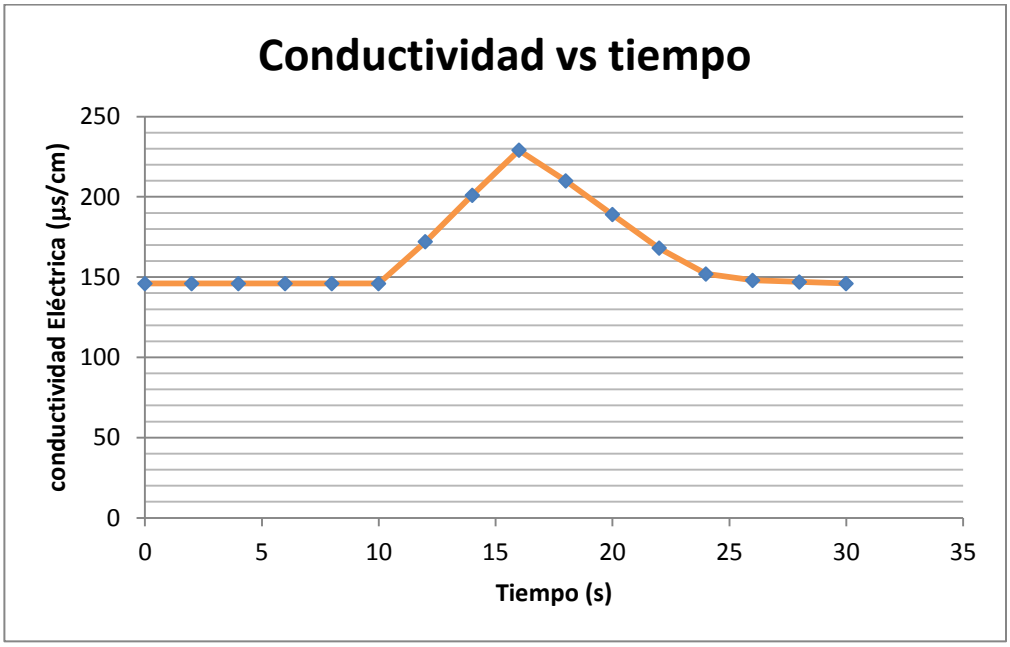


Figura 21. Curva de concentración vs tiempo. Fuente: Los autores

Caudal promedio: 0.469 m³/s

Caudal promedio: 468.811 L/s

6. CONCLUSIONES

6.1 RIO FUCHA

Para el punto de monitoreo sobre la cuenca del rio fucha con carrera séptima, los tres métodos de aforo propuestos (molinete, flotadores y el trazador) fueron apropiados conforme a las características de la sección aforada. Los aforos realizados con el molinete fueron los más eficientes, puesto que los valores obtenidos con este método son los más cercanos a los registros históricos de caudal.

Los aforos realizados con la metodología del flotador proporcionaron valores considerablemente altos en comparación a los aforos ejecutados con el molinete, el cual es el método base o de referencia con respecto a las otras dos metodologías objeto de estudio de este proyecto de investigación. Estas diferencias estuvieron entre los 72.38 y 132.28 L/s, para un error del 13% al 23% en el caso de las bolas de ping pong. En el caso de la tabla flotante se obtuvieron diferencias de entre los 99.91 y 155.71 L/s, para un error estimado del 18% al 27%.

La otra metodología empleada en este ejercicio de aforo fue el trazador NaCl (sal común), con la cual también se obtuvieron registros de caudal más altos que los obtenidos con el molinete diferencias de entre los 54.79 y los 63.66 L/s, lo que significa un error entre un 9% y un 11%.

En síntesis los rangos de error encontrados entre los aforos con molinete y los aforos con los otros dos métodos, los flotadores y el trazador; alcanzaron niveles mayores de entre el 9% al 27%, lo cual se presume que es debido a que este rio: el rio fucha en este punto de su recorrido, está compuesto por un canal trapezoidal cuya área ocupa un espacio significativo y sus corrientes pueden transportar caudales de agua variables (452 L/s a los 756 L/s) por lo tanto es más vulnerable a que corrientes de aire que circundantes por esta zona, hayan podido afectar las mediciones de caudal ejecutados con los flotadores, en particular los realizados con los pimpones.

6.2 RIO ARZOBISPO

Para el punto de monitoreo ubicado en el rio arzobispo con carrera séptima, los tres métodos de aforo propuestos (molinete, flotadores y el trazador) también fueron viables; es decir se pudo utilizar cada uno de ellos sin mayores inconvenientes en el tramo del rio seleccionado para efectuar este ejercicio de aforos. Los aforos realizados con el molinete fue la metodología de aforo más confiable, ya que los caudales obtenidos con este método fueron los más cercanos a los registros históricos de caudal.

Los aforos realizados con la metodología del flotador proporcionaron valores considerablemente altos en comparación a los aforos ejecutados con el molinete. Estas diferencias estuvieron entre los 2.3 y 3.3 L/s, para un error del 5% al 6% en el caso de las bolas de ping pong y en el caso de la tabla flotante se obtuvieron diferencias de entre los 2.4 y 3.6 L/s, para un error estimado del 5% al 7%.

La otra metodología empleada en este ejercicio de aforo fue el trazador NaCl (sal común), con la cual se obtuvieron caudales por encima de los valores registrados con el molinete diferencias de entre los 4.6 y los 5.8 L/s, lo que significa un error entre un 10% al 11%.

Cabe resaltar que para el rio arzobispo los rangos de error encontrados entre los aforos con molinete y los aforos con los otros dos métodos, los flotadores y el trazador; fueron solo de entre el 5% al 11%, lo cual se presume que es debido a que este es un canal con un régimen de escurrimiento estable, puesto que transporta una pequeña cantidad de agua en particular en época de estiaje, el cual fue el periodo que se escogió para realizar estas campañas de aforo. También al encontrarse ubicado por debajo del nivel de las vías de transporte y edificios aledaños impide que el viento haya incidido significativamente en los aforos ejecutados con los flotadores, especialmente los realizados con los pimpones.

El aforo con el método del molinete permite conocer el comportamiento del flujo, es decir las isovelas o líneas de igual velocidad, virtud que no se puede saber utilizando la metodología de aforo con flotadores ni la metodología de aforos con trazadores.

El trazador utilizado, es decir la sal común: es un método de aforo que permitió conocer el caudal en un menor tiempo en comparación a las otras dos metodologías de aforo (molinete y trazador), esto se debió a las características de

los puntos de aforo que se seleccionaron para realizar este estudio y al hecho de que con esta metodología no se requiere conocer el área para hallar el caudal; no obstante el equipo necesario para desarrollar este tipo de aforo es costoso y su uso es limitado a corrientes con poca cantidad de sedimentos o contaminantes, ya que al mayor número de estas sustancias en el agua se deben utilizar mayores cantidades de este trazador y también la cooperación de más personal.

7. RECOMENDACIONES

El rio fucha con carrera séptima presentó márgenes de error significativamente mayores, entre los aforos con molinete y los aforos con los flotadores, por lo cual se sugiere conforme a los registros obtenidos, realizar este tipo de aforos con flotadores como aforos previos o de estimación que puedan proveer al aforador de un valor relativamente aproximado del caudal.

El aforo con trazador, mostró diferencias relativamente pequeñas frente al aforo con el molinete, por consiguiente se sugiere continuar experimentado con esta metodología de aforo sobre este punto del rio fucha, con el fin de poder caracterizar el comportamiento de esta sustancia (NaCl o sal común) en el tramo objeto de estudio de este proyecto. No obstante se debe Tener en cuenta que el caudal en este punto del rio varía significativamente, pudiendo llevar caudales superiores a los 756 L/s. Por lo tanto también se recomienda experimentar con otro tipo de trazadores como la rodamina u otro tipo de tintas que no requieran grandes cantidades de esta al realizar los ejercicios de aforos, y de esta manera evitar inconvenientes de tipo logístico (almacenamiento, transporte) y además el consecuente aumento del número de las personas que se necesiten para realizar este tipo de prácticas.

Como observación adicional se recomienda que la persona que efectué los aforos tenga experiencia como aforador de caudales, si es posible en este tramo del rio fucha, ya que como se ha mencionado puede llevar grandes cantidades de agua; por lo que se deben tomar todas las medidas de seguridad necesarias, comenzando por contar con un aforador experimentado.

En el caso del rio arzobispo con carrera séptima, este mostró diferencias de caudal entre el molinete y los aforos con los flotadores relativamente pequeño, por lo cual este último método también puede ser tenido en cuenta como un caudal estimado de la corriente objeto de estudio.

La metodología aforo con trazadores seleccionada fue el aforo químico con inyección instantánea, y aunque su margen fue significativo (contra el método de referencia que es el molinete), se sugiere repetir varios aforos con este tipo de trazador con el objetivo de poder caracterizar la curva de respuesta de este

trazador en su totalidad y aprobar o no, su uso como un método valido para la cuantificación de caudal en este tramo del rio arzobispo. Sin embargo y de acuerdo a la bibliografía la metodología del aforo químico con inyección constante es más preciso por lo cual también se recomienda realizar este tipo de aforo; aunque se debe tener en cuenta que esta metodología de aforo requiere el uso de más equipos y mayor número de colaboradores, además de aumentar la probabilidad de generar problemas de tipo logístico, como: transporte, almacenamiento e inyección de grandes masas del trazador. Por ende la aplicabilidad de estas dos técnicas de aforo, tanto el aforo químico con inyección instantánea como el aforo químico con inyección constante se aconsejan utilizarlos en cuerpos de agua relativamente pequeños o medianos con tal de que su uso sea viable de manejar, o si se desea aforar cauces de mayores dimensiones se debe estudiar la posibilidad de utilizar otro tipo de trazadores como los radiactivos o las tintas fluorescentes.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldia Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente : Empresa de Acueducto y Alcantarilldo de Bogotá. (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. CVC. (2005). *Manual de procedimientos hidrometricos.* Cali.

Empresa de Acueduto y Alcantarillado de Bogotá. (2015). Recuperado el 22 de julio de 2015, de http://sistec.acueducto.com.co/EAABWF/ArchivoFi.nsf/a43808a0e0d1c863052575230054de3c/91d131307c812a45052575fb006a20d1?OpenDocument&TableRow=1.2.2

Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM. (2002). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y aguas subterráneas.* Bogotá.

Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. IDEAM. (2007). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1997). Recuperado el 24 de Septiembre de 2012, de www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm.

Organización Meteorológica Mundial. OMM . (1994). *Guía de prácticas hidrológicas.* Ginebra.

Rodriguez, S. M. (2010). *Calidad del Recurso Hidrico de Bogotá.* Bogotá: Uniandes.

Rodriguez, S. M. (2014). *Calidad del recurso hídrico de bogotá.* Bogotá: Uniandes.

Trujillo, U. P., Pescador, P. L., Parra, H. F., Peña, C. D., & Colmenares, F. R. (2006). *Bogotá y la Crisis Ambiental.* Bogotá: Edienda.

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRAFICO EN EL RIO ARZOBISPO



Fotografía 3. Preparación de materiales y equipos para la práctica de aforos.



Fotografía 4. Inicio de medición aforo con flotadores (bolas de ping pong)



Fotografía 5. Finalización de medición aforo con flotadores (bolas de ping pong)



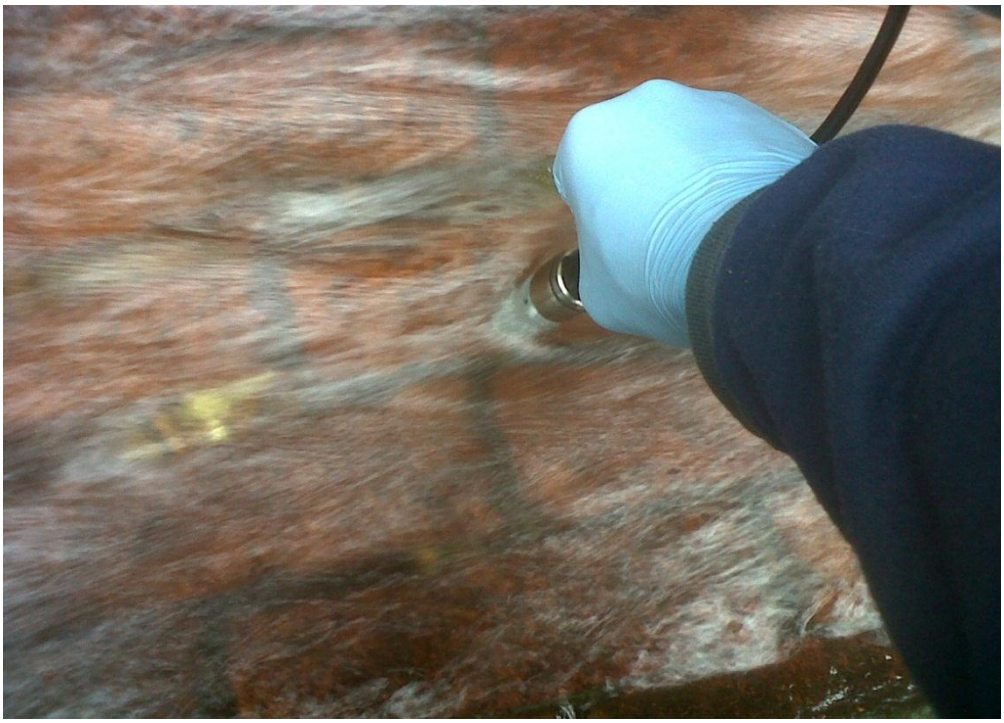
Fotografía 6. Imagen del segundo flotador utilizado (tabla flotante)



Fotografía 7. Finalización de medición aforo con flotadores (tabla flotante)



Fotografía 8. Inyección del trazador (NaCl)



Fotografía 9. Medición del paso de la nube generada por el trazador.



Fotografía 10. Medición de caudal con molinete.

ANEXO B

REGISTRO FOTOGRAFICO EN EL RIO FUCHA



Fotografía 1. Inicio de medición aforo con flotadores (bolas de ping pong)



Fotografía 2. Finalización de medición aforo con flotadores (bolas de ping pong)



Fotografía 3. Aforo con flotadores (tabla flotante)