



**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y EVALUACIÓN DE  
LA CALIDAD DEL AGUA EN EL TRAMO 3 DEL RÍO  
BOTELLO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ**

**Edgar Marulanda**  
**Claudia Viviana Rodríguez López**

**Universidad de Cundinamarca**  
**Ciencias Agropecuarias, Facatativá, Cundinamarca.**  
**Facatativá, Colombia**  
**Mayo 2020**

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y EVALUACIÓN DE  
LA CALIDAD DEL AGUA EN EL TRAMO 3 DEL RÍO  
BOTELLO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ**

**Edgar Marulanda**  
**Claudia Viviana Rodríguez López**

Trabajo de investigación presentada como requisito para optar al  
título de:

**Ingeniero(a) Ambiental**

**Directora:**

Angélica Bravo  
Licenciada en Física

**Codirector:**

Karel Sánchez  
Ingeniero Ambiental

**Línea de Investigación:**

Modelación matemática

**Grupo de Investigación:**

Axioma

**Universidad de Cundinamarca**  
**Ciencias Agropecuarias, Facatativá, Cundinamarca.**  
**Facatativá, Colombia**  
**Mayo 2020**



## Resumen

La presente investigación planteó el estudio del comportamiento hidrodinámico en 1D y se evaluó la calidad del agua en la fuente en el tramo 3 (comprendiendo desde la finalización de la zona urbana en dirección al municipio de Albán hasta el Alto de la Tribuna) del río Botello, ubicado en la zona rural del municipio de Facatativá con una distancia aproximada de 8,3 km. El proyecto se dividió en tres fases. En la fase I se realizó el modelo hidrodinámico y se determinaron variables como el área transversal, velocidad del cauce y el caudal. En la segunda fase se determinaron algunas variables fisicoquímicas y se evaluaron a la luz del marco normativo legal vigente. En la tercera fase se realizó el análisis estadístico del modelo e interpretación de los resultados del comportamiento del río en el tramo 3. Finalmente, los resultados obtenidos ayudaron a la determinación de las condiciones del cauce y usos del recurso atados a sus características.

**Palabras clave:** Cauce, coliformes, modelación, parámetros fisicoquímicos calidad del agua, riesgo sanitario, tratamiento de agua.

## **Abstract**

This research proposed the study of hydrodynamic behavior in 1D and evaluated the quality of water at the source in section 3 (from the completion of the urban area towards the municipality of Albán to the Alto de la Tribuna) of the Botello river, located in the rural area of the municipality of Facatativá with an approximate distance of 5.4 km. The project is divided into three phases. In the first phase, the hydrodynamic model was carried out and variables such as the cross-sectional area, riverbed speed and flow rate were determined. In the second phase, some physicochemical variables were determined and evaluated in the light of the current legal regulatory framework. In the third phase, the statistical analysis of the model and interpretation of the results about the behavior of the river in section 3 was carried out. Finally, the results obtained helped to determine the conditions of the channel and uses of the resource tied to its characteristics.

**Keywords:** Riverbed, coliforms, hydrodynamic modeling, sanitary risk, water quality, water quality index – WQI, water treatment, physico-chemical parameters

## **TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>4</b>
<b>Delimitación</b>	<b>5</b>
▪ Delimitación espacial:	5
▪ Delimitación temporal:	9
<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>13</b>
<b>MARCO REFERENCIAL</b>	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>
MARCO DE ANTECEDENTES	14
<b>MODELACIÓN HIDRODINÁMICA</b>	<b>16</b>
<b>MARCO LEGAL</b>	<b>28</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>30</b>
Fase 2: Evaluación de calidad en la fuente	38
<b>RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>CARACTERIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>41</b>
<b>MODELACIÓN HIDRODINÁMICA</b>	<b>49</b>
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>76</b>
<b>TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS</b>	<b>97</b>
ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA DE UNA VÍA	97

---

<b>ESTRATEGIA PARA EL ÁREA DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>	<b>102</b>
Estrategia: "Uso de modelos hidrodinámicos y de calidad del agua para la toma de desiciones"	104
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>116</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1:</i> Mapa de Colombia. ....	6
<i>Figura 2:</i> Ubicación del Departamento de Cundinamarca.....	7
<i>Figura 3:</i> Red Hídrica y límites geográficos de Facatativá.....	8
<i>Figura 4:</i> Área de estudio (estaciones) <b>Fuente:</b> Autores.....	32
<i>Figura 5:</i> Modelo general de la distribución de las velocidades.....	34
<i>Figura 6:</i> Limite de la microcuenca del Río Botello.....	42
<i>Figura 7:</i> Área de estudio.....	43
<i>Figura 8:</i> Perfil longitudinal del cauce principal.....	44
<i>Figura 9:</i> Esquema del proceso de operación que sigue Hec-Ras.....	50
<i>Figura 10:</i> Levantamiento de secciones transversales y cotas mediante GPS, Estación total y prisma para la altimetría. ....	51
<i>Figura 11:</i> Levantamiento de secciones transversales y cotas mediante GPS, Estación total y prisma para la altimetría. ....	52
<i>Figura 12:</i> Levantamiento de secciones transversales y cotas, mediante nivelación y batimetría..	52
<i>Figura 13:</i> Manning’s valúes del tramo 3 del río Botello, 2020. ....	55
<i>Figura 14:</i> Estabilidad de la simulación. ....	56
<i>Figura 15:</i> Levantamiento de las secciones transversales.....	58
<i>Figura 16:</i> Meandro y eutrofización del cauce. ....	66
<i>Figura 17:</i> Proceso Análisis de varianza de un factor.....	98
<i>Figura 18:</i> ANOVA para el hierro Total.....	99
<i>Figura 19:</i> Estación 1 Sección transversal No.1. ....	123
<i>Figura 20:</i> Estación 2 Sección transversal No.2. ....	124
<i>Figura 21:</i> Estación 3 Sección transversal No.3. ....	125
<i>Figura 22:</i> Estación 4 Sección transversal No.4. ....	126
<i>Figura 23:</i> Estación 5 Sección transversal No.5. ....	127
<i>Figura 24:</i> Estación 7 Sección transversal No.7 ....	128
<i>Figura 25:</i> Estación 9 Sección transversal No.9. ....	129
<i>Figura 26:</i> Estación 10 Sección transversal No.10.....	130
<i>Figura 27:</i> Estación 11 Sección transversal No.11. ....	131
<i>Figura 28:</i> Curvas de nivel del tramo 3 del Río Botello.....	132
<i>Figura 29:</i> Curvas de nivel a cada 1 y 5 metros del tramo 3 Río Botello.....	133
<i>Figura 30:</i> Perfil longitudinal del tramo 3 Río Botello. ....	133



---

<b>Figura 31:</b> Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del rio Botello de Facatativá. ....	154
<b>Figura 32:</b> Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del rio Botello de Facatativá. ....	155
<b>Figura 33:</b> Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del rio Botello de Facatativá. ....	156

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> <i>Coordenadas de los puntos asignado para el estudio.</i> .....	32
<b>Tabla 2:</b> <i>Valores de coeficientes de distribución de velocidad para diferentes velocidades.</i> .....	35
<b>Tabla 3:</b> <i>Parámetros a evaluar por el laboratorio de la EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP.</i> .....	38
<b>Tabla 4:</b> <i>Características morfométricas del tramo 3 del Río Botello.</i> .....	45
<b>Tabla 5:</b> <i>Características de la red de drenaje de la Microcuenca Río Botello.</i> .....	47
<b>Tabla 6:</b> <i>Error del modelo frente al caso de estudio.</i> .....	72
<b>Tabla 7:</b> <i>Error estándar del modelo.</i> .....	73
<b>Tabla 8:</b> <i>Error estándar del modelo %.</i> .....	73
<b>Tabla 9:</b> <i>Resumen de los parámetros evaluados.</i> .....	95
<b>Tabla 10:</b> <i>ANOVA para los parámetros de la calidad del agua en el tramo 3 del río Botello.</i> ....	100
<b>Tabla 11:</b> <i>Primer muestreo época sequía.</i> .....	134
<b>Tabla 12:</b> <i>Segundo muestreo época sequía.</i> .....	135
<b>Tabla 13:</b> <i>Tercer muestreo época sequía.</i> .....	136
<b>Tabla 14:</b> <i>Primer muestreo época de lluvia.</i> .....	137
<b>Tabla 15:</b> <i>Segundo muestreo época de lluvia.</i> .....	138
<b>Tabla 16:</b> <i>Tercer muestreo época de lluvia.</i> .....	139
<b>Tabla 17:</b> <i>Primer muestreo época sequía.</i> .....	140
<b>Tabla 19:</b> <i>Segundo muestreo época de sequía.</i> .....	141
<b>Tabla 20:</b> <i>Tercer muestreo época de sequía.</i> .....	142
<b>Tabla 21:</b> <i>Primer muestreo época de lluvia.</i> .....	143
<b>Tabla 22:</b> <i>Segundo muestreo época lluviosa.</i> .....	144
<b>Tabla 23:</b> <i>Tercer muestreo época lluvia.</i> .....	145
<b>Tabla 24:</b> <i>Primer muestreo época de sequía.</i> .....	146
<b>Tabla 25:</b> <i>Segundo muestreo época de sequía.</i> .....	147
<b>Tabla 26:</b> <i>Tercer muestreo época de sequía.</i> .....	148
<b>Tabla 27:</b> <i>Primer muestreo época de lluvia.</i> .....	149
<b>Tabla 28:</b> <i>Punto 1 Parte baja del tramo 3 del río Botello.</i> .....	151
<b>Tabla 29:</b> <i>Punto 2 Parte media del tramo 3 del río Botello.</i> .....	152
<b>Tabla 30:</b> <i>Punto 3 Parte alta del tramo 3 del río Botello.</i> .....	152
<b>Tabla 31:</b> <i>Análisis ANOVA para pH.</i> .....	157
<b>Tabla 32:</b> <i>Análisis ANOVA para turbiedad.</i> .....	158
<b>Tabla 33:</b> <i>Análisis ANOVA para Cloruros.</i> .....	159
<b>Tabla 34:</b> <i>Análisis ANOVA para Oxígeno Disuelto.</i> .....	159
<b>Tabla 35:</b> <i>Análisis ANOVA para Fosfatos.</i> .....	160
<b>Tabla 36:</b> <i>Análisis ANOVA para Color Aparente.</i> .....	160
<b>Tabla 37:</b> <i>Análisis ANOVA para Coliformes Totales.</i> .....	161

<b>Tabla 38:</b> <i>Análisis ANOVA para Alcalinidad Total.</i> .....	161
<b>Tabla 39:</b> <i>Análisis ANOVA para Nitritos.</i> .....	162
<b>Tabla 40:</b> <i>Análisis ANOVA para Hierro Total.</i> .....	162

## Lista de Gráficas

	<b>Pág.</b>
<i>Gráfica 1:</i> Geometría del tramo 3 del río Botello. ....	53
<i>Gráfica 2:</i> Geometría del tramo 3 del río Botello. ....	53
<i>Gráfica 3:</i> Geometría del río Botello con interpolaciones a cada 5m. ....	54
<i>Gráfica 4:</i> Parte media alta del río Botello .....	54
<i>Gráfica 5:</i> Cross Section- sección transversal típica. ....	57
<i>Gráfica 6:</i> “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en época de lluvia.....	58
<i>Gráfica 7:</i> “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en temporada media.....	59
<i>Gráfica 8:</i> “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en época de sequía.....	60
<i>Gráfica 9:</i> Velocidades de flujo a lo largo del tramo de estudio. ....	61
<i>Gráfica 10:</i> Velocidades de flujo a lo largo del tramo de estudio. ....	63
<i>Gráfica 11:</i> Morfología del río Botello tramo 3. Sección alta, época de sequía. ....	63
<i>Gráfica 12:</i> Morfología del río Botello tramo 3. Sección media, época de sequía.....	64
<i>Gráfica 13:</i> Morfología del río Botello tramo 3. Sección media, época de sequía.....	64
<i>Gráfica 14:</i> Morfología del río Botello tramo 3. Sección baja, época de sequía.....	65
<i>Gráfica 15:</i> Tramo del río en época de sequía.....	66
<i>Gráfica 16:</i> Modelación de las tres temporadas en la sección 1.....	68
<i>Gráfica 17:</i> Tres escenarios en la sección 7.....	69
<i>Gráfica 18:</i> Tres escenarios en la sección 11. ....	71
<i>Gráfica 19:</i> pH del tramo 3 del río Botello. ....	78
<i>Gráfica 20:</i> Turbiedad del tramo 3 del río Botello.....	79
<i>Gráfica 21:</i> Cloruros en el tramo 3 del río Botello. ....	81
<i>Gráfica 22:</i> Oxígeno Disuelto en el tramo 3 del río Botello.....	83
<i>Gráfica 23:</i> Fosfatos en el tramo 3 del río Botello.....	85
<i>Gráfica 24:</i> Color aparente del tramo 3 del río Botello. ....	87

<b>Gráfica 25:</b> Coliformes totales en el tramo 3 del río Botello.....	88
<b>Gráfica 26:</b> Alcalinidad total en el tramo 3 del río Botello. ....	91
<b>Gráfica 27:</b> Nitratos en el tramo 3 del río Botello. ....	92
<b>Gráfica 28:</b> Hierro total en el tramo 3 del río Botello. ....	94
<b>Gráfica 29:</b> Estación Sección transversal No.1 en temporada media.....	116
<b>Gráfica 30:</b> Estación 2 Sección transversal No.2 en temporada media. ....	117
<b>Gráfica 31:</b> Estación 3 Sección transversal No. 3 en temporada media. ....	118
<b>Gráfica 32:</b> Estación 4 Sección transversal No.4 en temporada media. ....	118
<b>Gráfica 33:</b> Estación 5 Sección transversal No. 5 en temporada media. ....	119
<b>Gráfica 34:</b> Estación 6 Sección transversal No. 6 en temporada media. ....	119
<b>Gráfica 35:</b> Estación 7 Sección transversal No. 7 en temporada media. ....	120
<b>Gráfica 36:</b> Estación 8 Sección transversal No. 8 en temporada media. ....	120
<b>Gráfica 37:</b> Estación 9 Sección transversal No. 9 en temporada media. ....	121
<b>Gráfica 38:</b> Estación 10 Sección transversal No. 10 en temporada media.....	121
<b>Gráfica 39:</b> Estación 11 Sección transversal No. 11 en temporada media.....	122
<b>Gráfica 40:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2009. ....	163
<b>Gráfica 41:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte media. Fenómeno de la niña año 2009.....	164
<b>Gráfica 42:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte baja. Fenómeno de la niña año 2009 inundaciones ocasionadas por los grandes caudales. ....	165
<b>Gráfica 43:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2011. ....	165
<b>Gráfica 44:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2011. ....	166
<b>Gráfica 45:</b> Perfil del tramo 3 del rio Botello parte baja. Fenómeno de la niña año 2011 inundaciones ocasionadas por los grandes caudales. ....	166

# INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para el ser humano, los ecosistemas naturales la reciclan de manera continua; en el planeta Tierra 2,5% es agua dulce y tan solo el 1% aproximadamente es agua de fácil accesibilidad (Fernández Cirelli, 2012); la cual se encuentra en humedales, lagos y ríos; a lo largo de los años los asentamientos humanos se han ubicado cerca a estos ecosistemas generando influencia en el ciclo natural del agua, disminuyendo la cantidad disponible para consumo humano y demás actividades que generan desarrollo económico.

El Río Botello como uno de los principales afluentes hídricos presentes en la zona, ha sido usado como fuente de abastecimiento para llevar a cabo actividades productivas en el sector floricultor, el sector industrial, la agricultura y el consumo humano; teniendo en cuenta las actividades económicas anteriormente mencionadas, este cuerpo hídrico puede verse afectado con la disposición de residuos tanto líquidos como sólidos, modificando su calidad y disponibilidad. Estas características se hacen notorias en épocas de sequía, los sedimentos, la remoción de cobertura vegetal ribereña y el asentamiento humano en zonas en la ronda del río hacen esta zona vulnerable por inundaciones en épocas de alta precipitación a la comunidad y diferentes sistemas productivos (Askoa Ibisate González de Matauco, 2004).

El modelamiento matemático de cuerpos de agua permite estudiar y conocer su dinámica, la influencia de diversos factores como el clima, los impactos sociales, las cargas contaminantes, los factores económicos, los cuales permiten entre otros, determinar la disponibilidad del recurso en diferentes escenarios. De igual forma, conocer la calidad del agua, por medio de parámetros físicos-químicos como el oxígeno disuelto (OD) y la demanda biológica de oxígeno (DBO5) (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) permiten complementar la caracterización del estado en el que se encuentra el cuerpo natural, y determinar que estrategias se requieren para su manejo.

Las diversas modelaciones numéricas que se han realizado en diferentes cauces naturales hacen que tenga sentido las teorías hidráulicas de los comportamientos de los flujos libres, además, de los métodos numéricos teniendo como fin resolver ecuaciones de conservación de masa y de momento. Teniendo que, los diferentes modelos numéricos son muestras en prototipos de la realidad, un aspecto de gran importancia que tienen los modelos de flujo libre de los ríos son la adecuada representación de la topografía de las zonas, por lo que, si se alteran los valores no serán aptos para la modelación real según Ochoa (2016). En la actualidad se cuenta con herramientas para el modelamiento numérico que permiten efectuar simulaciones con una aproximación unidimensional (1D), bidimensional (2D) o tridimensional (3D) (Delgado, 2016).

La importancia del Rio Botello en el municipio de Facatativá motivó el interés en los investigadores, no obstante, la falta de información sobre su dinámica, calidad e influencia de los factores climáticos, se podría evidenciar una afectación de forma considerable en la

---

disponibilidad del recurso tanto para las actividades económicas como para el consumo humano. En el siguiente documento se encuentra una caracterización del tramo 3 del río Botello, en el capítulo 1 se realiza la definición del problema a abordar, luego en el capítulo 2 se puede encontrar la justificación, en los capítulos 3 y 4 se encuentra el marco Teórico y la metodología utilizada para resolver el problema, en el capítulo 5 se encuentran los resultados y finalmente en el capítulo 6 se propone una estrategia ambiental con base en los resultados y análisis realizados.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El desarrollo económico y social de la población del municipio de Facatativá ha llevado consigo una expansión poblacional hacia el territorio rural, además, los asentamientos de viviendas y la ejecución de actividades agro productivas en la ronda de los ríos, han generado disposiciones inadecuadas de los residuos tanto sólidos como líquidos; que por escorrentía y/o disposición directa llegan a los cuerpos hídricos sin el adecuado tratamiento, representando una problemática social.

La población de Facatativá es alrededor de 136.041 habitantes (DANE, 2018), lo que resulta significativo a la hora de analizar los usos e impactos ejercidos sobre los recursos necesarios para el abastecimiento de la población rural y urbana, el municipio cuenta con varios afluentes como el Río Pava, la quebrada El Vino y el Río Botello siendo éste último el más cercano al municipio, el cual actúa como proveedor y lugar de vertimientos para algunas de las actividades productivas (Alcaldía de Facatativá, 2018), generando una constante interacción entre el municipio y el Río Botello, todas las actividades que se desarrollan a nivel industrial, comercial y domiciliario están a su vez impactando de alguna manera el cauce principal, en aspectos de estabilidad, calidad y cantidad del recurso hídrico; como



efecto de este inadecuado uso, la microcuenca presenta fenómenos de sequías e inundaciones en diversas zonas y épocas del año que afectan directamente al municipio y a poblaciones aledañas. Una caracterización de esta afluyente resulta de gran interés para la comunidad académica dado que representa una problemática social y de impacto directo a la población riverense. De tal contexto surgió la pregunta de investigación.

**¿CÓMO ES EL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO Y LA CALIDAD DEL AGUA QUE TIENE EL TRAMO 3 DEL RÍO BOTELLO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ CUNDINAMARCA?**

## **Delimitación**

- **Delimitación espacial:**

El municipio de Facatativá, se encuentra ubicado en el centro de Colombia, en la cordillera central donde existe una zona geográficamente rica en páramos y de cuyas montañas y macizos nacen ríos que abastecen a gran parte de la población de la región andina.



*Figura 1:* Mapa de Colombia.

**Fuente:** Google Earth, 2020.

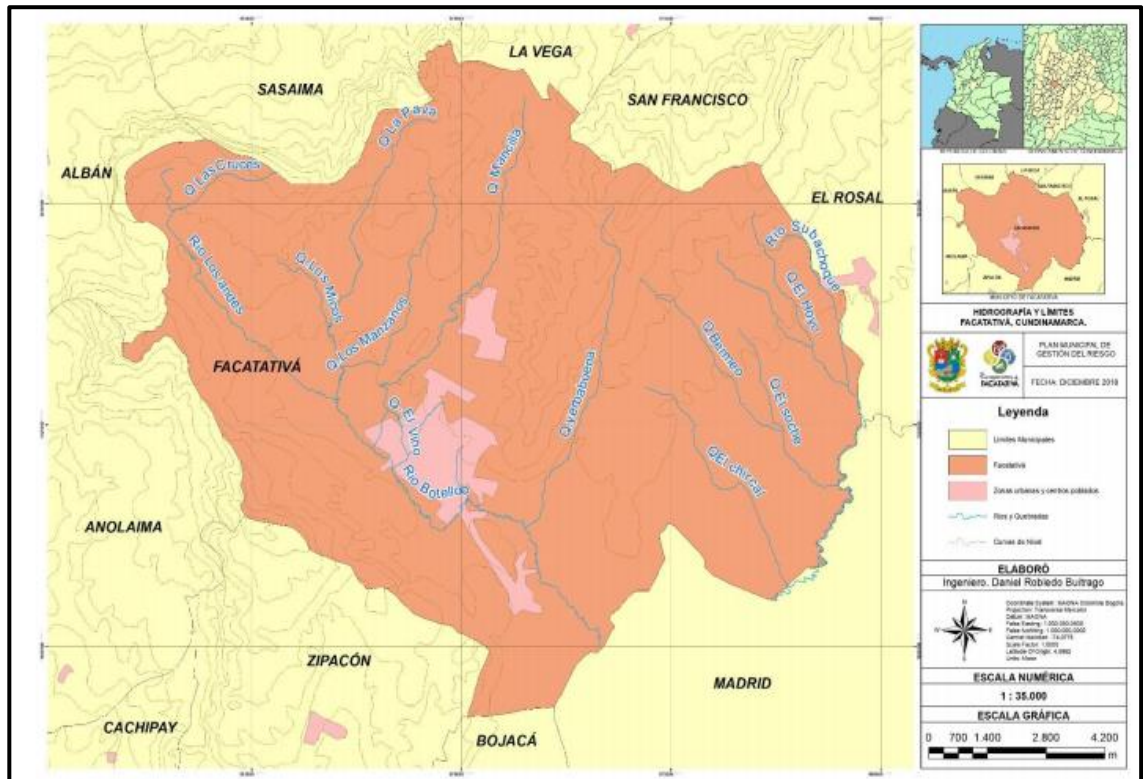
En la **Figura 1** se puede observar la delimitación de Colombia la cual tiene 4 de las 214 cuencas del mundo, con más de 100.000 Km<sup>2</sup>, que corresponden a los ríos Magdalena, Guaviare, Casanare y Meta; posee tres cuencas de 50.000 y 100.000 Km<sup>2</sup>, de los ríos Cauca, Inírida y Putumayo y un registro de 700.000 microcuencas con áreas menores de 10 Km<sup>2</sup>. Esta red se complementa con aguas subterráneas y almacenamientos superficiales, que entre lagos, lagunas, embalses, ciénagas y pantanos alcanzan 17.000 cuerpos de agua, convirtiéndolo así en un país rico en fuentes hídricas (Zamudio Rodríguez, 2012).



**Figura 2:** Ubicación del Departamento de Cundinamarca

**Fuente:** Google Earth, 2020.

Entre los departamentos de Colombia se encuentra Cundinamarca, el cual está situado en la parte central del país como se observa en la **Figura 2**, éste cuenta con una superficie de 24.210 Km<sup>2</sup>, el sistema hidrográfico del departamento comprende dos grandes cuencas, la del río Magdalena y la del río Meta donde desembocan 11 subcuencas. El río Magdalena recibe aguas de los ríos Bogotá, Negro, Sumapaz, Minero y Ubaté; por otra parte, el río Meta recibe los ríos Guavio, Negro, Humea, Guatiquia y Macheta.



**Figura 3:** Red Hídrica y límites geográficos de Facatativá

**Fuente:** Basado en Cartografía 1:100.000 Instituto geográfico Agustín Codazzi - Alcaldía de Facatativá.

En el departamento de Cundinamarca se localiza el municipio de Facatativá como puede denotarse en la **Figura 3**, el cual se abastece de agua del Río Botello y fuentes alternas, tales como el “Río Subachoque y quebradas afluentes como: Mancilla, San Rafael y La Pava”. (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019), que suplen la demanda hídrica en época de sequía o períodos con baja precipitación, y tienen “cobertura de servicio de acueducto de aproximadamente un 95%” (Ministerio de Vivienda, 2014). El río Botello al sureste de Facatativá se convierte en el río Bojacá, que luego de confluir al Serrezuela

forman el río Balsillas, nombre con el cual desemboca al río Bogotá, cerca de Soacha a una altitud de 2.531 msnm (CAR, 2006).

- **Delimitación temporal:**

El desarrollo de esta investigación comenzó en el mes de agosto de 2019 cuando se realizó el estudio de la zona y de las problemáticas del municipio de Facatativá se anticipó la parte teórica teniendo en cuenta las temporadas de sequía y lluvia correspondientes al año 2020 dando inicio al trabajo de campo en enero de 2020, el proyecto culminó en el mes de mayo de 2020.

## **JUSTIFICACIÓN**

La simulación de eventos hidrodinámicos logra establecerse como una forma de predicción de posibles fenómenos ambientales que pueden llegar a afectar el desarrollo normal de la cotidianidad de un entorno. Esta investigación arrojó resultados que beneficiaran estudios y/o proyectos en pro de una mejor comprensión de la hidrodinámica y calidad del agua del río Botello, esto fortalecerá el conocimiento para la toma de decisiones en momentos en que se necesiten planes de contingencia, mitigación u ordenamiento territorial en un futuro.

Los diversos eventos naturales en la parte hidráulica son extremadamente complejos de abordar y predecir, además, en muchos casos resulta muy complejo proporcionar una solución que resuelva correctamente el comportamiento de los elementos ante un evento, como lo son las lluvias torrenciales que vienen acompañadas de fuertes ráfagas de viento. Este es el caso de los ríos, donde el comportamiento de las diferentes estructuras y del propio

cauce es extremadamente difícil de proyectar a un futuro y de establecer qué alcance puede tener el evento en determinados momentos. En la actualidad, existen diversas metodologías que permiten conocer una aproximación real del comportamiento de los fenómenos en ciertos lugares y de esta forma poder anticipar alternativas para su amortiguación. Por lo tanto, con este tipo de información se podrá proteger y reducir la peligrosidad y los riesgos asociados a una inundación futura en las diversas zonas según Delgado Parra, (2016). El software HEC-RAS (Hydrological Engineering Center-River Analysis System) es un software muy conocido en esta área y su uso está generalizado al tratarse de un software libre y en constante actualización, completo y de fácil manejo. Su uso permite la simulación de flujos naturales y canales artificiales los cuales ayudan a determinar futuros comportamientos hidrodinámicos y ejecutar estudios de inundabilidad, además, realizar cálculos bidimensionales y unidimensionales que dan una aproximación muy real de los diferentes estudios que se llevan a cabo según Delgado Parra (2016).

El software libre HEC-RAS se basa en una serie de ecuaciones diferenciales, parciales, entre estas las de Saint Venant, en concreto en las leyes de conservación de la masa y el momento. Desarrollando las ecuaciones se calcula la superficie libre de agua para un flujo de agua estacionario y no estacionario (Delgado Parra, 2016). Dentro de las ventajas que se tiene de la modelación en 1D, es su bajo tiempo de resolución del problema, lo que simplifica considerablemente respuestas requeridas del objeto de estudio. Además, un modelo unidimensional bien realizado puede conseguir un nivel de estabilidad mucho mayor y de una manera más sencilla que con los otros tipos de modelos que existen.

La actividad antrópica del municipio conlleva a presencia de impactos ambientales, resaltando los causados al río Botello por la agricultura y el crecimiento demográfico que presenta a sus alrededores ocasionando conflictos sociales, los cuales surgen por la escasez del recurso hídrico y por el mal uso al que es sujeto, de igual forma, las emergencias a causa de los fenómenos de inundación en diferentes épocas del año alertan a la comunidad a causa de las precipitaciones en épocas de lluvia, al que es sometido el cauce, afectando así a la estabilidad y equilibrio del río. La caracterización del río, inició en el año 2015 en la cabecera municipal, y se desarrolló en el trabajo de grado titulado, “Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia” donde se realiza una modelación del comportamiento del río Botello en zona urbana del Municipio (Antonio Paiba & Monroy Avila , 2015). La investigación realizada por los Ingenieros Paiba y Monroy, se convierte en una base para ésta investigación, donde se estudia un segundo tramo del río, que pretende ampliar la comprensión del mismo.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar una caracterización del tramo 3 del río Botello, como soporte en la toma de decisiones de Gestión Ambiental, teniendo en cuenta la calidad de la fuente y empleando herramientas computacionales.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el modelamiento hidrodinámico del tramo 3 del río Botello.
- Evaluar la calidad del recurso hídrico por medio de parámetros fisicoquímicos.
- Generar estrategias en el área de Gestión Ambiental

## **MARCO REFERENCIAL**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **MARCO DE ANTECEDENTES**

Los avances de la modelación hidrodinámica y simulación de eventos naturales en el país han logrado evidenciar el uso de nuevas tecnologías que optimizan procesos o facilitan toma de decisiones, por ejemplo, en sistemas de alertas tempranas en eventos posiblemente desastrosos. A continuación, se pueden observar algunos de los estudios realizados.

- **“MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL TRAMO MEDIO DEL RÍO CTALAMOCHITA, PROVINCIA DE CÓRDOBA”**

Por medio de esta investigación se identificaron las áreas inundables para prevenir catástrofes y con el fin de facilitar la toma de decisiones en que puedan encontrarse en riesgo en un tramo del río Ctalamochita ubicado en la provincia de Córdoba en argentina (Ochoa, y otros, 2016).

- **“LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ANÁLISIS DE RIESGO DE AMÉRICA LATINA”**

En esta investigación se analizaron y determinaron los riesgos para determinado territorio el cual pueda verse afectado por los cambios climáticos y los fenómenos naturales que esté presente, esto mediante la implementación de SIG (Sistemas de Información Geográfica)

donde se generaron mapas de riesgo (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1998).

- **“LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA GESTIÓN HÍDRICA DEL EMBALSE DEL GUÁJARO, COLOMBIA”**

El embalse del Guájaro, el cual se encuentra ubicado al norte de Colombia, es alimentado por el canal del Dique, el cual durante las últimas décadas ha mostrado grandes cambios, en vista de mejorar las estructuras hidráulicas que lo alimentan se ejecutó un modelo hidrodinámico en el programa Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) (Torres Bejarano, Padilla Coba, Rodríguez Cuevas, Ramirez Leon, & Cantero Rudelo, 2015).

- **“TERRITORY VULNERABILITY ASSESSMENT FRAME IN COLOMBIA: DISASTER RISK MANAGEMENT”**

En este artículo se observó la evaluación para la vulnerabilidad de un territorio mediante metodologías para evaluar el riesgo y de vulnerabilidad; “Comisión económica para América Latina y el Caribe, el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción” es una de las entidades que desarrollan metodologías para la evaluación del riesgo y manejo de emergencias. En este estudio se hace un análisis de cómo los seres humanos generan un impacto al medio ambiente, donde se evalúan impactos generados por desastres como: Armero-Guayabal (1985), Bosa-Bogotá (2011) (Torres Bejarano, Padilla Coba, Rodríguez Cuevas, Ramirez Leon, & Cantero Rudelo, 2015).

- **“MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO BOTELLO, FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA, COLOMBIA”**

Investigación donde se estudió el comportamiento hidrodinámico del tramo 1 del río Botello en el municipio de Facatativá, se determinó la calidad del agua teniendo en cuenta variables como temperatura, acidez, color, coliformes, sólidos disueltos, DBO5, DQO, nitratos, nitritos, manganeso y hierro y en cuanto la parte hidrodinámica se tuvo en cuenta velocidades, áreas transversales, y batimetría, para finalmente generar el modelo hidrodinámico del tramo 1 del río Botello (Antonio Paiba & Monroy Avila , 2015).

## **MODELACIÓN HIDRODINÁMICA**

A lo largo de toda su historia el hombre se ha servido de la naturaleza y de los recursos, esto con el ánimo de mejorar su calidad de vida y desarrollarse a través del tiempo cambiando así su entorno dando como resultado cambios positivos y negativos. Anteriormente, la naturaleza era capaz de proporcionarle al hombre todos los recursos que éste necesitaba para el desarrollo de su vida y de sus allegados con una serie de comodidades que lo hacen diferente a otros seres vivos, estos recursos naturales se recuperaban de forma continua sin intervención de la mano del hombre, manteniendo un equilibrio. Sin embargo, factores como

la expansión demográfica, las tendencias consumistas de materiales y energía predominante en el siglo XX, la globalización y el afán por tener más valor de plusvalía entre otros, llevaron a una sobreexplotación de algunos recursos hasta el punto de dudar de la disponibilidad de estos hacia un futuro según (Herrero, 2016).

Debido a la variedad de problemas ambientales que han surgido a través del tiempo, siendo afectados componentes como el agua, suelo, aire y que directamente están perjudicando al componente social, surge la importancia de conocer el estado y la dinámica de las corrientes y la calidad del agua de los cauces. Es importante crear más sistemas de monitoreo como los parámetros que caracterizan la parte ambiental para el control de la contaminación, la evaluación de riesgos por problemas sanitarios a la población, etc (Palacio , Garcia , & Garcia , 2010). Desde esta perspectiva el IDEAM y otras organizaciones gubernamentales y nacionales establecen que medir las variables del sistema en estudio es importante en los ámbitos económicos para todos los involucrados incluyendo así a los múltiples intereses sociales y en el sector ambiental que llevaran una dinámica del ciclo hidrológico normal. Ya que de estas actividades dependen las acciones de proporcionar, a través de la modelación los resultados que soportan las decisiones sobre el aprovechamiento de los recursos naturales en las zonas de influencia, las medidas de prevención y atención de desastres y en algunos casos de mitigación a todos los impactos negativos que puedan afectar al buen comportamiento de las dinámicas de los ecosistemas que están dentro de esta actividad, por ello se considera que al ver a través de las redes de observación y medición de variables

ambientales se constituye la base primordial de todo pronóstico que puede ser clave para el buen desarrollo de los centros poblados.

Es por esta razón, que la prevención de desastres relacionados con la contaminación del agua y otros comportamientos diferentes a los normales se suelen predecir con algunos días y hasta semanas de anterioridad, la dinámica en cuanto al comportamiento y forma de los caudales y los parámetros de calidad del agua a lo largo de un determinado tramo con diferentes estaciones de monitoreo a través del río, con el propósito de identificar las medidas para evitar la contaminación causada por la población o especies que son de propiedad de los mismos habitantes de los diferentes ecosistemas involucrados (Delgado Parra , 2016). La medición de la calidad del agua se suele realizar, en el mejor de los casos, con una frecuencia mensual o en determinados momentos bimestral, mientras que en la gran mayoría de las entidades se realiza cada semestre, restricción que vuelve imposible desarrollar una aproximación científica de modelación en términos de días o semanas, lo cual harían los datos muy reales para cada época y tiempo del año (IDEAM, 2008).

Como seguimiento de esta actividad el IDEAM en su informe anual sobre el estado del medio ambiente establece que el municipio de Facatativá presenta un índice de escasez hídrica medio para época de sequía lo cual indica el grave problema que enfrenta la población y la empresa de aguas de Facatativá a la hora de abastecer a los usuarios que se benefician del recurso hídrico, y la realización de actividades que se encuentran a lo largo de los sistemas

hídricos. De acuerdo a esta problemática, la modelación hidrodinámica es apropiada para el pronóstico de inundaciones en algunas zonas que pueden ser propensas durante el año, especialmente como orientación para la toma de decisiones en cuanto a medidas preventivas y en caso de que ocurriera el fenómeno de mitigación, para que no vuelva a presentarse con daños a la comunidad involucrada, o presencia de un evento extraordinario donde se indique la probabilidad de amenaza inminente con efectos adversos para el normal desarrollo de las actividades de la población asentada en las áreas aledañas al río (Torres Quintero & González Naranjo, 2010).

Los distintos modelos hidrodinámicos existentes son capaces de analizar el movimiento de la masa de agua en diferentes ámbitos y condiciones de flujo. Con ellos se puede profundizar en el conocimiento de la hidráulica de redes de saneamiento, del flujo en canales y cauces naturales, de la dispersión de contaminantes en medios acuáticos y aéreos (Delgado Parra, 2016), etc. Los resultados de los mismos constituyen el punto de partida para abordar cualquier diseño hidráulico y para conocer la respuesta de los sistemas naturales frente a diversos problemas ambientales. Siendo este un campo de investigación de gran importancia tanto social como económica debido al impacto que puede generar en la prevención de fenómenos como inundaciones o sequías extremas que afectan a la población circundante.

Por esta razón se planteó una investigación en búsqueda de mayor información en particular del río Botello en Facatativá, Cundinamarca, puesto que es importante el sistema hídrico para

el municipio. De igual forma, por medio del éxito de este proyecto se busca estimular a la comunidad universitaria para continuar investigando en temas similares con el fin de mejorar la calidad de vida y mantener el bienestar humano a través del tiempo.

Teniendo en cuenta herramientas que existen en la actualidad y la base de ellas para su desarrollo, como lo son las ecuaciones de Saint-Venant:

$$\left(\frac{\partial h}{\partial t}\right) + u \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right) + h \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) = 0, \quad (1)$$

dónde:  $h$  es la profundidad de flujo que varía a lo largo del río con el tiempo, y  $v$  es la velocidad de flujo que varía a lo largo del río y se basan en los principios de conservación de la masa y conservación de cantidad de movimiento para describir el comportamiento de un flujo permanente o no permanente gradualmente variado (Castro, 2015).

Por otro lado, las fuerzas de arrastre creadas por las pérdidas de energía dependen de la densidad, gravedad, el área transversal como se evidencia en la ecuación (2)

$$F_e = -\rho g A S_e dx, \quad (2)$$

donde  $S_e$  es la pendiente de pérdida que se depende de el caudal y  $K_e$  es el coeficiente de expansión gradual.



$$S_e = \frac{K_e}{2g} \frac{\partial (Q/A)^2}{\partial x}. \quad (3)$$

Tomando la ecuación de momentum unidimensional:

$$\left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial A}{\partial t} \right) = 0, \quad (4)$$

donde  $Q$  es el caudal y  $A$  es el área transversal. Y la Ecuación de velocidad media longitudinal:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + (S_f - S_o) = 0, \quad (5)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $h$  es la profundidad de flujo,  $v$  es la velocidad de flujo,  $S_f$  es la pendiente de fricción y  $S_o$  es la pendiente de fondo. Realizando la aproximación y simplificación de onda difusiva sobre la ecuación (5) que desprecia los términos de aceleración, como sigue:

$$g \frac{\partial h}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0, \quad (6)$$

esta ecuación se puede adecuar de una forma más conveniente reemplazando en la ecuación de Manning

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}}, \quad (7)$$

algunos términos de manera que quede en función del caudal  $Q$ , así (Ponce, 2015):

$$\frac{1}{T} \frac{\partial A}{\partial x} + mQ^2 - S_o = 0 \quad , \quad (8)$$

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad , \quad (9)$$

En la ecuación (8), donde  $A$  es el área transversal,  $Q$  es el caudal,  $S_o$  es la pendiente de fondo,  $T$  es el ancho de la superficie y  $m$  es el recíproco de la conducción  $K$ .  $R$  es el Radio hidráulico y  $n$  es la constante de Manning en la ecuación de Manning (7) Ésta, junto con la ecuación de continuidad no permanente (9), se conforman en un conjunto de ecuaciones diferenciales que describen las ondas difusivas (Ponce, 2015). Ya finalmente para lograr una aproximación de los escenarios de fenómenos hidrodinámicos que existen en software libre como HEC-RAS, EFDC Explorer y el modelo bidimensional IBER, entre otros, estos mediante la aplicación de los principios que ya se mencionaron y otros complementarios que son característicos de cada modelo (Torres Bejarano, Padilla Coba , Rodríguez Cuevas , Ramirez Leon , & Cantero Rodelo, 2016), como la ecuación de la energía, la ecuación y constante de Manning, el coeficiente de Coriolis. Todas estas variables permiten evaluar los posibles escenarios hidrodinámicos mediante los parámetros hidráulicos, los cuales, según (Blade, 2009) son: Caudal, condiciones de frontera u orilla, datos de geometría y de las secciones transversales de cada área. Los modelos desarrollados para este objetivo pueden ser analíticos y numéricos.

Las aproximaciones por diferencia finitas se derivan por una función  $u(x)$  (11). Una expansión en series de Taylor de  $u(x)$  en  $x + \Delta x$  produce:

$$u(x + \Delta x) = u(x) + \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) + \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \quad (10)$$

Donde  $u'(x) = \partial u / \partial x$ ,  $u''(x) = \partial^2 u / \partial x^2$ , ..., y así repetidamente. La expansión en series de Taylor en  $x - \Delta x$  es:

$$u(x - \Delta x) = u(x) - \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) - \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \quad (11)$$

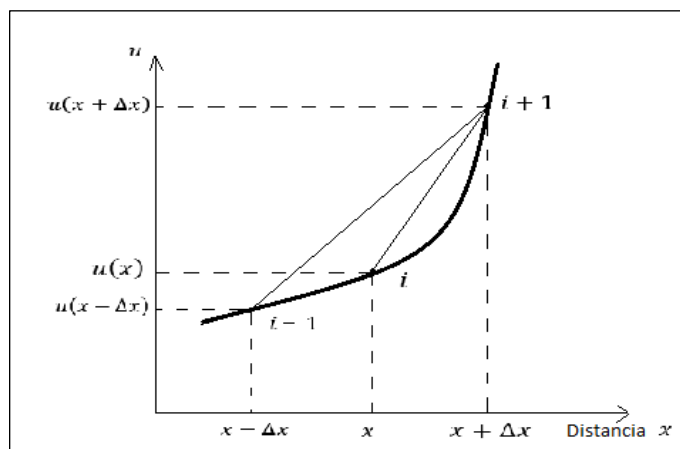
restando la ecuación (11) de (10) se obtiene:

$$u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x) = 2\Delta x u'(x) + 0(\Delta x^3), \quad (12)$$

donde  $0(\Delta x^3)$  simboliza un residuo que contiene los términos de tercer orden y superiores.

Satisfaciendo para  $u'(x)$  y suponiendo que  $0(\Delta x^3) = 0$  se obtiene:

$$u'(x) \approx \frac{u(x+\Delta x) - u(x-\Delta x)}{2\Delta x} \quad (13)$$



**Diagrama 1:** Aproximación por diferencias finitas para la función  $u(x)$

**Fuente:** Autores, 2020.

Teniendo un error de aproximación del orden de  $\Delta x^2$ . Este error de aproximación, ya que se ignoran los términos de orden superior, asimismo se conoce como el *error de truncamiento*.

Una aproximación por diferencia hacia adelante (progresiva) se precisa sustrayendo  $u(x)$  de (10).

$$u(x + \Delta x) - u(x) = \Delta x u'(x) + 0(\Delta x^2) \quad (14)$$

Presumiendo que los términos de segundo orden y órdenes superiores son despreciables, y solucionando para  $u'(x)$  se obtiene:

$$u'(x) \approx \frac{u(x+\Delta x) - u(x)}{\Delta x} \quad (15)$$

Lo cual tiene un error de aproximación del orden de  $\Delta x$ .

Una aproximación por diferencia hacia atrás (regresiva), usa la diferencia determinada mediante la resta de (11) de  $u(x)$  de la siguiente forma:

$$u(x) - u(x - \Delta x) = \Delta x u'(x) + 0(\Delta x^2) \quad (16)$$

Y solucionando para  $u'(x)$  se obtiene la derivada:

$$u'(x) \approx \frac{u(x) - u(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad (17)$$

El método de diferencias finitas puede utilizar bien sea un esquema explícito o un esquema implícito para su solución.

La modelación hidrodinámica se conformó en tres etapas, la primera etapa consistió en el reconocimiento minucioso del área de trabajo, permitiendo así determinar los 11 puntos de muestreo los cuales fueron monitoreados a lo largo de la investigación, como un agregado se realizaron reportes fotográficos para la evidencia de problemáticas encontradas.

Los puntos de referencia seleccionados para la simulación fueron tomados a partir de la entrada del Hotel los Amoblados, hasta el Alto de la Tribuna vía Albán. Teniendo en cuenta las características de la microcuenca hidrográfica del río Botello la cual presenta cobertura vegetal arbustiva y arbórea de diferentes tamaños en gran parte del tramo, se opta por seleccionar coeficientes de rugosidad de Manning que varían entre los valores de 0.0025 y 0.98 siguiendo las condiciones particulares del sistema de drenaje.

En el desarrollo de un ejemplo sencillo en HEC-RAS, se puede sintetizar de la siguiente manera según (Gullén, 2015)

- 1. Crear un nuevo proyecto**
- 2. Introducir la geometría y de los valores de cada una de las secciones transversales**
- 3. Agregar los valores de caudales y condiciones de contorno en las secciones transversales.**
- 4. Generar los cálculos hidráulicos**
- 5. Visionar, calibrar el modelo y validar los resultados.**

Por medio de la modelación en el programa HEC-RAS se logró obtener diferentes escenarios de comportamiento y variando los caudales, se obtuvieron las secciones transversales a lo

largo del tramo 3 del río Botello; resultando distintos niveles y velocidades de agua entre otros valores como el número de Froude y la rugosidad.

## **UTILIDAD DEL MODELO EN HEC-RAS**

El modelo en HEC-RAS 5.0.3 ofrece la utilidad para poder realizar diferentes simulaciones con las características previstas en el estudio, este cuenta con una de las mejores funciones antes y después de diversos procesamientos, ofrece la oportunidad de poder visualizar el levantamiento topográfico en pantalla digital. El modelo permite la simulación de diferentes flujos de agua, como es el caso de esta fuente natural con la cual se puede identificar las cotas máximas y mínimas con respecto al nivel del agua variando los caudales según sea el tiempo de la época de sequía, media o lluviosa, se tiene en presente que el objetivo principal de la modelación es identificar diversos escenarios de inundabilidad y las posibles zonas inundables, teniendo esta información es posible determinar varios pronósticos futuros que podrían determinar el comportamiento hídrico en un cauce.

Otra de las ventajas que ofrece el modelo en HEC-RAS 5.0.3 es el suministro de información sobre el comportamiento hidrológico del cauce determinando de esta manera valores aproximados a la realidad en cualquier eventualidad futura, basándose en la coherencia de la información hidráulica y de la geometría proporcionada al modelo para su adecuada

ejecución, este sistema de modelación da a conocer la dinámica de drenaje para así tener el conocimiento en otros escenarios de tener la posible probabilidad de ocurrencia de eventos de inundación que se pueden presentar por las variaciones de caudales máximos horario en épocas de lluvia.

Por otra parte, es importante para los temas de planeación y ordenamiento territorial, para la construcción de vías y cascos urbanos en sitios de posibles inundaciones por las diferentes fuentes naturales como herramienta de pronóstico en situaciones de calamidad.

Las emergencias por inundaciones están asociadas primordialmente, a factores climáticos, físicos, urbanísticos y de uso del suelo, como la utilización de rondas de inundación, el desborde de canales, la obstrucción de redes de alcantarillado, escorrentía concentrada en áreas urbanizadas y en laderas deforestadas. Facatativá es un municipio propenso a tener algún tipo de riesgos considerables por inundaciones en las zonas planas y cercanas a los ríos con mayor cauce como el Río Andes (Botello), que sería el tramo 3 al cual se realizó el estudio, de la misma manera presenta un grado de inestabilidad por los procesos de meteorización a los que es sometido por las actividades que se desarrollan para el beneficio de la estabilidad del ser humano. Estos podrán generar deslizamientos y represamientos, aguas abajo, avalanchas e inundaciones ocasionando desastres ambientales a la comunidad. Por otra parte, la remoción de la cobertura vegetal en ladera, realizada para preparar tierras para cultivos y/o construcción de viviendas, ocasiona que las aguas de escorrentía lleven consigo gran cantidad de sedimentos hacia los cauces, generando colmatación en zonas de

baja pendiente, lo que disminuiría el área efectiva del cauce, esto, en condiciones de época de lluvia, traería consigo que puedan ocasionar inundaciones. De aquí la importancia del modelo hidrodinámico para prever posibles catástrofes ambientales en un futuro por causa del río (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres CMGRD, 2019).

## **MARCO LEGAL**

El marco normativo formalizado aplicado para el presente proyecto de investigación es:

- **Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**, Dictado por la WHO (World Health Organization) organismo de NN. UU. (National United); donde se establecen los parámetros admisibles para calidad del agua superficial y subterránea.
- **Constitución política de Colombia:**

**Artículo 78:** Dicta, la ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización.

Serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. El Estado garantizará la participación de



las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen. Para gozar de este derecho las organizaciones deben ser representativas y observar procedimientos democráticos internos. (Const, 1991)

**Artículo 79:** Estipula, Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. (Const, 1991)

**Artículo 366:** Dicta, El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación (Asamblea Nacional Constituyente, 2019).

- **Resolución 0650 de 02 de octubre del 2017:** Por la cual se adiciona el artículo 259 como artículo transitorio a la resolución 0330 de 2017.
- **Resolución 0330 de 17 de junio de 2017:** Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1495 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.
- **Decreto 2811 de 1974:** Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

**Artículo 132:** se dicta, sin permiso no se podrán alterar los cauces, ni el régimen y la calidad de las aguas, ni intervenir su uso legítimo.

**Artículo 133:** Se dictan obligaciones por parte de los usuarios del servicio de agua para el uso y aprovechamiento adecuado del recurso.

**Artículo 134:** Dicta, corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

## **METODOLOGÍA**

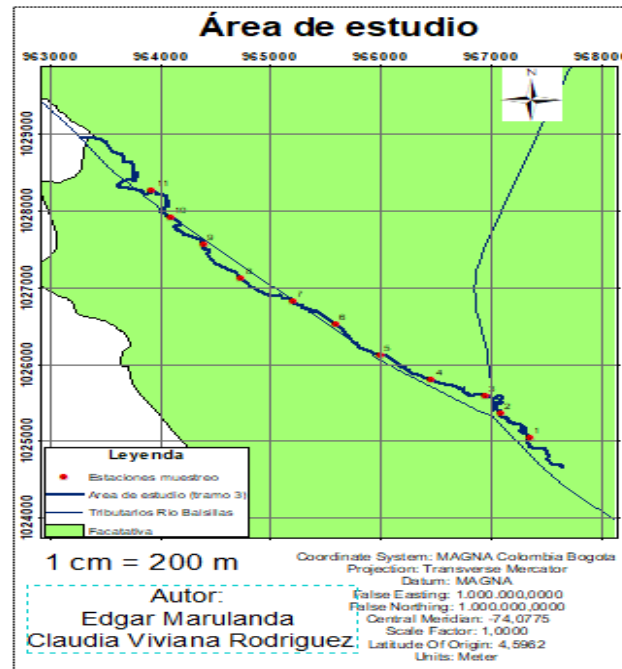
El proyecto de investigación es de tipo descriptivo en el ámbito experimental aplicada. El desarrollo se llevó a cabo por medio de 3 fases, en la primera fase (Modelación Hidrodinámica 1D) se realizó un levantamiento de información topográfica, análisis y correcciones estadísticas de los datos, estudio y solución del modelo matemático, selección del software, calibración del modelo, obtención los posibles escenarios de comportamiento, evaluación de resultados y la fiabilidad del modelo teniendo en cuenta las incertidumbres de éste. En la segunda fase (Evaluación de Calidad en la Fuente), se tomó la normativa legal vigente y se seleccionaron los parámetros fisicoquímicos a evaluar, se realizaron la toma de

muestras compuestas e integradas a lo largo del tramo 3, luego se enviaron las muestras al laboratorio AGUAS DE FACATATIVA S.A.S. ESP, se obtuvieron los resultados y se realizó la evaluación de estos. En la tercera fase (Recomendaciones para una Gestión Ambiental), se analizaron los resultados obtenidos de la fase 1 (niveles de caudal para las temporadas de sequías y húmeda) y fase 2 (evaluación frente a la norma) y se realizaron algunas recomendaciones en el marco de Gestión Ambiental.

### **Fases de la investigación.**

#### **Fase I:**

Se realizó el reconocimiento detallado del área objeto de estudio, en un recorrido aproximado de 8.3 km de la parte alta tramo 3 de la microcuenca Río Botello. Se determinó la topografía del área y facilidad de acceso, con el fin de elegir el número de estaciones necesarias y ubicación de las mismas.



*Figura 4:* Área de estudio (estaciones)

**Fuente:** Autores

**Tabla 1:** *Coordenadas de los puntos asignado para el estudio.*

<b>COORDENADAS DE LAS ESTACIONES</b>		
<b>Punto</b>	<b>N</b>	<b>E</b>
<b>1</b>	1025037,06392	967346,370223
<b>2</b>	1025358,26207	967077,777294
<b>3</b>	1025594,10823	966939,760951
<b>4</b>	1025794,5633	966455,796062
<b>5</b>	1026121,51377	965989,265787

<b>6</b>	1026524,98678	965583,417296
<b>7</b>	1026816,02972	965196,925823
<b>8</b>	1027121,99878	964732,984899
<b>9</b>	1027552,3294	964394,623038
<b>10</b>	1027908,61892	964094,168637
<b>11</b>	1028753	963379,0

**Fuente:** Autores

Para esta primera fase de investigación se determinaron las variables hidrodinámicas: caudal ( $Q$ ), velocidad ( $V$ ), profundidad ( $h$ ) y ancho de la superficie libre de agua en las estaciones definidas y se definen como se muestra a continuación:

**Velocidad (V):**

1. En cada una de las estaciones se tomó un tramo recto de 20 m.
2. En la parte de arriba (0 m) se ubicó una persona que lanzó un ping-pong plástico y abajo (a los 20 m) se ubicó otra persona que tomó el tiempo que tardó en llegar el ping-pong. Este procedimiento se repitió 3 veces en cada sección para disminuir el error.
3. Los datos se procesaron según la ecuación 18,

$$V = \frac{x}{t}. \quad (18)$$

Donde:

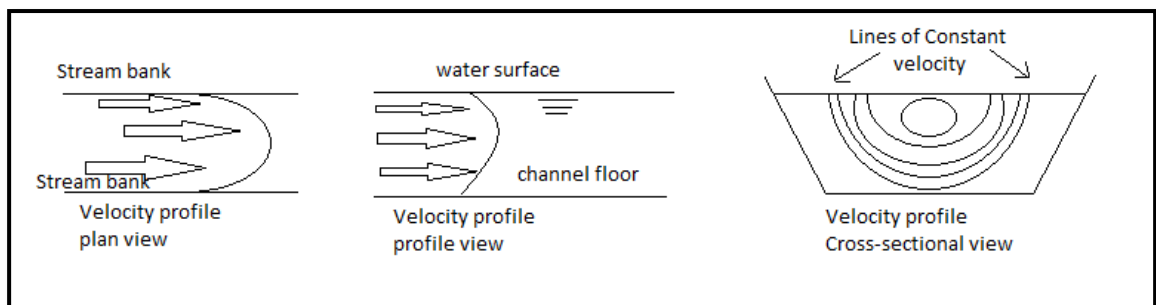
$V$ : es la velocidad en (metros/segundo) del ping-pong,

$x$ : es la distancia recorrida por el ping-pong, y

$t$ : es el tiempo en que tarda el ping-pong desde el punto 1 hasta el punto 2.

### Corrección de velocidades

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección transversal. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 m a 0.25 m de la profundidad. En la **Figura 5** se ilustra el modelo general de la distribución de las velocidades en canales irregulares naturales. Esta distribución también depende de otros factores, como la forma inusual de la sección, la rugosidad del canal y presencia de curvas (Chow, 2004).



**Figura 5:** Modelo general de la distribución de las velocidades

**Fuente:** Autores, 2020.

Debido a la distribución no uniforme de velocidades en una sección del canal, la carga de velocidad de un flujo en canales abiertos es por lo general mayor que el valor calculado a partir de la expresión  $V^2/2g$ , por lo que es conveniente multiplicarla por un coeficiente  $\alpha$  conocido como coeficiente de energía (Hernandez, 2012) y se obtiene esta ecuación para la corrección de velocidad (19)

$$K_v = \alpha \frac{V^2}{2g}, \quad (19)$$

donde, el valor de  $\alpha$  para canales prismáticos relativamente rectos, varía desde 1.03 hasta 1.36, así, el valor alto se asocia con canales pequeños y el valor bajo con corrientes grandes y de profundidad considerables.

Del mismo modo, el coeficiente de momentum o coeficiente de Boussinesq, da cuenta del momentum de un fluido que pasa a través de una sección de canal por unidad de tiempo, se expresa por  $\beta = \gamma QV /g$ , donde  $\beta$  es conocido como coeficiente de momentum o coeficiente de Boussinesq, en honor a J. Boussinesq quien lo propuso por primera vez;  $\gamma$  es el peso unitario del agua,  $V$  es la velocidad media del agua y  $Q$  el caudal.

**Tabla 2:** Valores de coeficientes de distribución de velocidad para diferentes velocidades.

Canales	valores de $\alpha$	valores de $\beta$
---------	---------------------	--------------------

	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
<b>Canales regulares, canaletas y vertederos.</b>	1.1	1.15	1.20	1.03	1.05	1.07
<b>Canales regulares, canaletas y vertederos.</b>	1.15	<b>1.30</b>	1.50	1.05	<b>1.10</b>	1.17
<b>Canales regulares, canaletas y vertederos.</b>	1.2	1.5	2.0	1.07	1.17	1.33
<b>Canales regulares, canaletas y vertederos.</b>	1.5	1.75	2.0	1.17	1.25	1.33

**Fuente:** de (Chow, 2004)

Ya teniendo los datos, con estos valores y las velocidades obtenidas del muestreo se procedió a corregir de la siguiente manera:

$$V \text{ corregida} = V * \text{promedio } \alpha * \text{promedio } \beta \quad (20)$$

$$V \text{ corregida} = V * 1.30 * 1.10 \quad (21)$$

**Profundidad (h):**



1. Inicialmente se midió el ancho del río.
2. Luego, se definió el punto 0 del perfil de profundidades.
3. Con un balón aforado se determinó la profundidad del río cada metro de orilla a orilla.
4. Con los datos obtenidos se realizó el perfil de profundidad del cuerpo de agua.

### **Caudal ( $Q$ ): MÉTODO DEL FLOTADOR Y LA SECCIÓN TRANSVERSAL**

1. Con los datos obtenidos para profundidad se determinó el área transversal del río (cada metro).
2. Se halló el área de cada sección de la siguiente forma:

- Si es rectángulo:  $A = b \times h$  (22)

- Si es paralelogramo:  $A = \left(\frac{\text{base mayor} + \text{base menor}}{2}\right) * h$  (23)

3. Se realizó la sumatoria de todas las áreas obtenidas:

$$\text{Área total} = A_1 + A_2 + \dots + A_n. \quad (24)$$

4. Se halló el caudal  $Q$  de la siguiente forma:

$$Q = \text{área total} * \text{velocidad corregida del flujo de agua}, \quad (25)$$

donde:

$b$ : Distancia de la cinta métrica que está templada = 1m cada medición,

$h$ : Profundidad de cada uno de los puntos tomados,

$V$ : velocidad del flujo del agua: es la velocidad media que se tomó con el ping-pong.

**Ancho de la superficie libre de agua:**

Allí se midió todo el tramo transversal del río entre las orillas que no tuvieran agua.

1. Con la cinta métrica templada se midió de orilla a orilla
2. Al dato obtenido en el paso anterior se le restó el ancho del río que contenía agua para obtener el ancho de la superficie sin agua.

**Fase 2: Evaluación de calidad en la fuente**

- **Evaluación de parámetros físico-químicos**

La calidad del agua del sistema hídrico de estudio se analizó por medio de la guía de la World Health Organization (W.H.O.) “*A Guide to use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*” la cual toma en cuenta los siguientes parámetros: coliformes totales, oxígeno disuelto, PH, turbiedad, color aparente, cloruros, fosfatos, alcalinidad total, nitritos, hierro total.

**Tabla 3:** *Parámetros a evaluar por el laboratorio de la EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP.*

PARAMETRO	UNIDADES	EQUIPO	METODO DE DETERMINACION
-----------	----------	--------	-------------------------

PH	Unidades de pH.	Potenciómetro	Electrométrica
Turbiedad	UNT	Turbidímetro	Nefelometría
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulación	Volumétrico
Cloruros	mg/L Cl	Titulación	Volumétrico
Oxígeno disuelto	mg OD/L	Oxímetro	Electrométrica
Fosfatos	mg P/L	Espectrofotómetro	Espectrofotometría
color aparente	UPC	Espectrofotómetro	Espectrofotometría
Coliformes totales	UFC/100 ml		Filtración por membrana
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulación	Volumétrico
Nitritos	mg NO <sub>2</sub>	Espectrofotómetro	Espectrofotometría
Hierro total	mg Fe/L	Espectrofotómetro	Espectrofotometría

**Fuente:** Autores

- Se realizó la toma de muestras compuestas e integradas en la parte alta ó punto 11, parte media ó punto 7 y parte baja ó punto 1 del tramo 3 del rio Botello.

**En una muestra compuesta:** se tomaron varias submuestras de 100 ml en distintos momentos, se depositaron en el mismo recipiente durante un intervalo de tiempo de 8 horas (empezando a las 8 am y terminado a las 4 pm), cada 2 horas (8am,10am,12m,2pm,4pm), así una muestra general de un punto estuvo compuesta por 5 sub-muestras. En total en cada temporada (invierno y verano) se tomaron 6 muestras de 500 ml en cada uno de los 3 puntos propuestos.

**En una muestra integrada:** se tomaron las sub-muestras cada una de 200 ml de los 3 puntos establecidos, se depositaron en un mismo recipiente para formar la muestra general de 600 ml. Éste proceso se hizo en verano e invierno 2 veces en cada temporada. Así una muestra estuvo formada por 3 sub-muestras de 200 ml, en total se tomaron 4 muestras integradas de los 3 puntos propuestos en las épocas de estudio.

- Se enviaron las muestras al laboratorio del Acueducto Aguas de Facatativá, se obtuvieron los resultados.

### **Fase 3: Procesamiento de la información y recomendaciones Gestión Ambiental**

En la tercera fase:

- Se analizaron los resultados obtenidos de la fase 1 (niveles de caudal para las temporadas de sequías y de lluvia).
- Para la fase 2 (evaluación frente a la norma) se compararon los resultados obtenidos según la normatividad.
- Se realizaron algunas recomendaciones en el marco de Gestión Ambiental.

## **RESULTADOS**

### **CARACTERIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Se determinó la zona de estudio como la microcuenca hidrográfica del río Botello, perteneciente a:

- Área hidrográfica: MAGDALENA- CAUCA
- Cuenca hidrográfica: RÍO BOGOTA
- Sub-cuenca hidrográfica: RÍO BALSILLAS
- Microcuenca: RÍO BOTELLO



*Figura 6:* Limite de la microcuenca del Río Botello.

**Fuente:** Google Earth Pro. Editada por Autores, 2020.

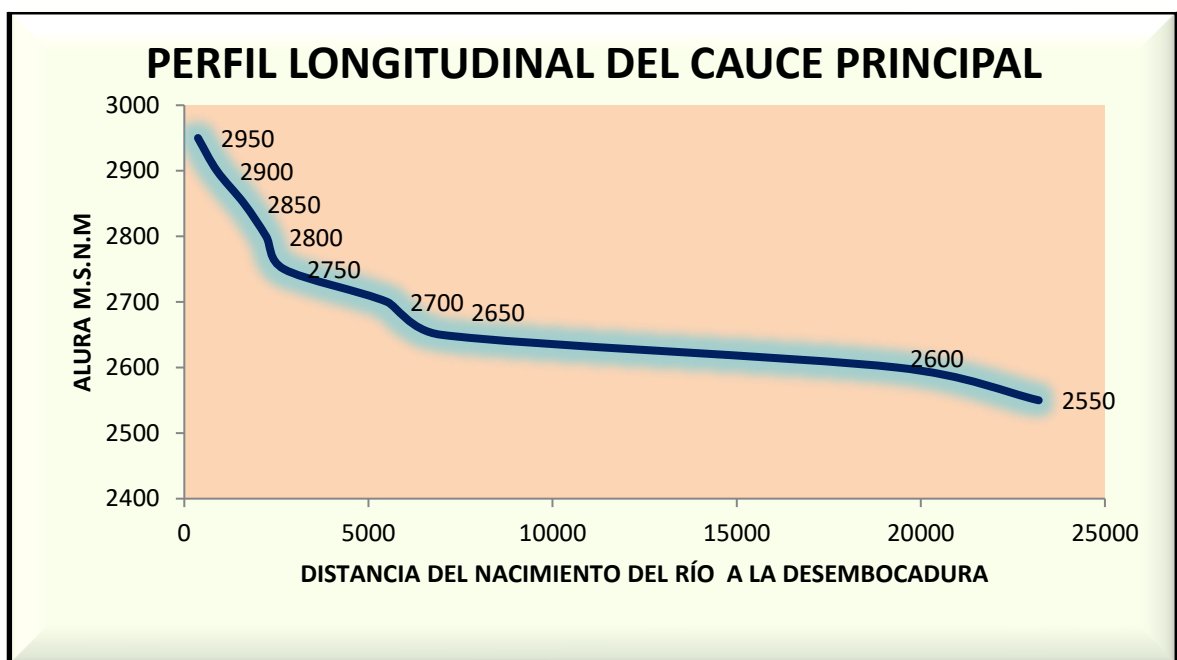


**Figura 7:** Área de estudio

**Fuente:** Autores, 2020.

En la **Figura 6 y 7**, se observa la zona de estudio donde se representan los tres tramos en los cuales se dividió el río para la caracterización, el tramo 1 ya estudiado en la parte urbana del municipio de Facatativá (Antonio Paiba & Monroy Avila , 2015), el tramo 2 y tramo 3 se están caracterizando actualmente; siendo el tramo 3 el objeto de estudio para esta investigación, el cual está ubicado en la parte alta de la cabecera municipal, este corresponde al nacimiento del río y va hasta la zona urbana, con un recorrido aproximado de 8,3 km.

A continuación, en la **Figura 8** se presentan los datos que permitieron determinar el perfil longitudinal del cauce principal de la microcuenca el Botello: adicionalmente se presenta la gráfica del perfil longitudinal del cauce principal dado por Google Earth pro, el cual representa las distintas elevaciones del fondo del río, desde la parte más alta que es donde nace hasta la parte final en la microcuenca el Botello, así describe una forma logarítmica.



*Figura 8:* Perfil longitudinal del cauce principal.

**Fuente:** Autores, 2020.

En la **Tabla 4** se relacionan las características morfométricas a evaluar para el tramo 3 del río Botello y su información respectiva.



**Tabla 4:** Características morfométricas del tramo 3 del Río Botello.

MORFOMETRÍA	FÓRMULA	RESULTADO	CLASIFICACIÓN
Área	---	113,99 km <sup>2</sup>	Microcuenca
Perímetro	---	52,85 km	-
Longitud del cauce principal	---	23,20 km	-
Ancho máximo de la cuenca	---	11,7 km	-
Altura máxima microcuenca		2.950 m.s.n.m	-
Longitud axial de la cuenca		15,6 km	-
Área vertiente derecha	$AVD = (AT - AVI)$	32,66 km <sup>2</sup>	Vertiente mayor
Área vertiente izquierda	$AVI = (AT - AVD)$	81,34 km <sup>2</sup>	Vertiente menor
Índice de Compacidad (k <sub>c</sub> )	$K_{c=0.28 \times \left(\frac{p}{\sqrt{A}}\right)}$	1,38	Oval Redonda a oval oblongada.

Factor de Forma (F)	$F = \left( \frac{A}{Lm^2} \right)$	2,15	Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas
Índice de Alargamiento (I <sub>a</sub> )	$I_{as} = \left( \frac{A_{may}}{A_{men}} \right)$	1,98	Moderadamente alargada
Índice Asimétrico (I <sub>as</sub> )	$I_a = \left( \frac{L_M}{L_m} \right)$	2,49	Cauce principal se encuentra más recargado sobre una vertiente
Pendiente media de la cuenca (S <sub>m</sub> )	$S_m = \left( \frac{D \times L_c}{A} \right)$	1,64 %	Plano (p1)
Elevación de la cuenca (E <sub>m</sub> )	$E_m = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times e_i)}{A_t} \right)$	2700 msnm	-
Coefficiente de Masividad (K <sub>m</sub> )	$K_m = \left( \frac{Hm(m.s.n.m.)}{A(Km)^2} \right)$	23,86	Moderadamente montañosa

**Fuente:** Autores, 2020.

En la **Tabla 5** se relacionan las características de la red de drenaje de la microcuenca del río Botello.

**Tabla 5:** Características de la red de drenaje de la Microcuenca Río Botello.

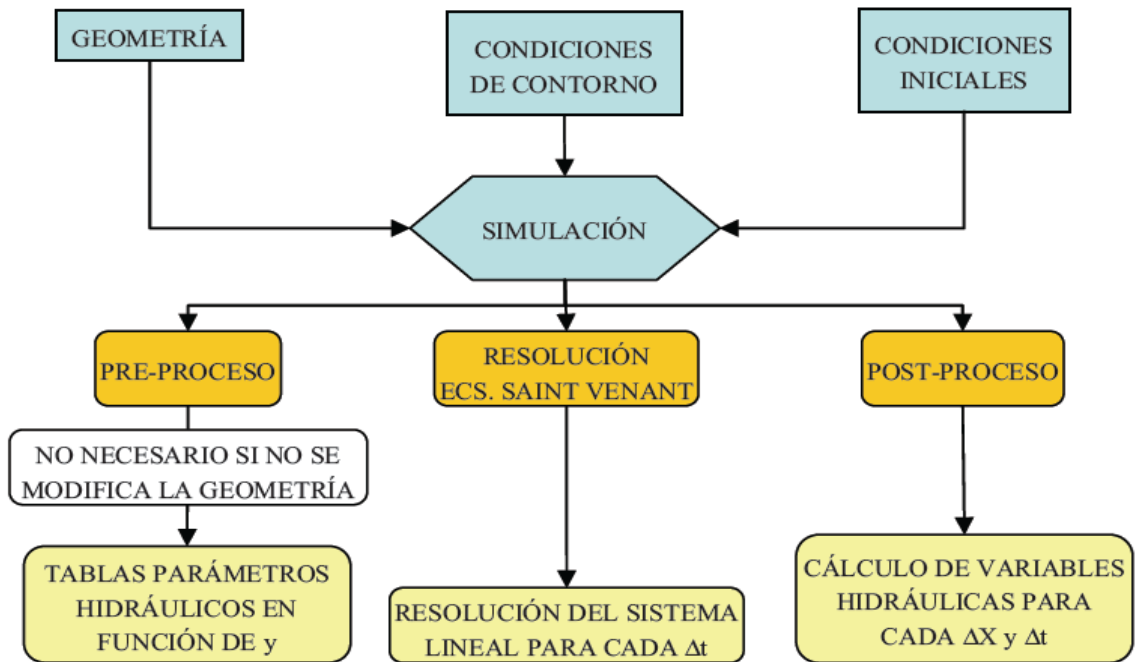
<b>RED DE DRENAJE</b>	<b>FORMULA</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
Constancia en la Escorrentía	-----	Cauce Perenne, efímeros e intermitentes	Los tres tipos
Forma	-----	meándrico irregular	Presentan meandros irregulares y un flujo curvilíneo con áreas de erosión y deposito
Tipo	-----	Detrítico	Ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal

			formando ángulos agudos
Longitud Total de la red	-----	166,22 km	-
Altura máxima respecto al cauce	-----	3585 msnm	-
Altura mínima respecto al cauce	-----	2552 msnm	-
Densidad (D <sub>d</sub> )		1,45 km/km <sup>2</sup>	-----
Constante de Estabilidad (C)	$C = \left( \frac{A}{\sum L_i} \right)$	0,68 km <sup>2</sup> /km	Bajo
Índice de Torrencialidad (C <sub>T</sub> )	$C_T = \left( \frac{n}{\sum L_i} \right)$	0,49 km <sup>-2</sup>	Bajo
Elevación Extrema (S)	$S = \left( \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \right)$	1,73 %	-----
Tiempo de Concentración (T <sub>c</sub> )	$T_c = \left  \frac{0,870 \times L^3}{H} \right ^{0,385}$	2,2 a 3,8 horas	Bajo

Fuente: Autores, 2020.

## MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

El proyecto se basó en la metodología planteada por Blade Bladé. E (2009) como se ve en la **Figura 9**, teniendo en cuenta la interacción del sistema de información geográfico Arc-Gis 10.4 y Google Earth pro. donde se procedió a incluir la geometría del tramo 3 del río Botello en HEC-RAS, **Figura 6** las Cross section, los valores de rugosidad de Manning para cada sección. Se puede evidenciar en la **Figura 13**, las llanuras de inundación *left over bank* y *right over bank*, además de definir la geometría de cada una de las secciones y las condiciones de contorno. Luego de insertar los datos al programa y teniendo en cuenta la metodología planteada, se procede a realizar las interpolaciones para todo el tramo.



**Figura 9:** Esquema del proceso de operación que sigue Hec-Ras.

**Fuente:** (Bladé, 2009)

En las **Figuras 10, 11 y 12** se relacionan las evidencias de los puntos de levantamiento de secciones transversales y cotas mediante GPS, Estación total y prisma para la altimetría.



**Figura 10:** Levantamiento de secciones transversales y cotas mediante GPS, Estación total y prisma para la altimetría.

**Fuente:** Autores, febrero 2020.



**Figura 11:** Levantamiento de secciones transversales y cotas mediante GPS, Estación total y prisma para la altimetría.

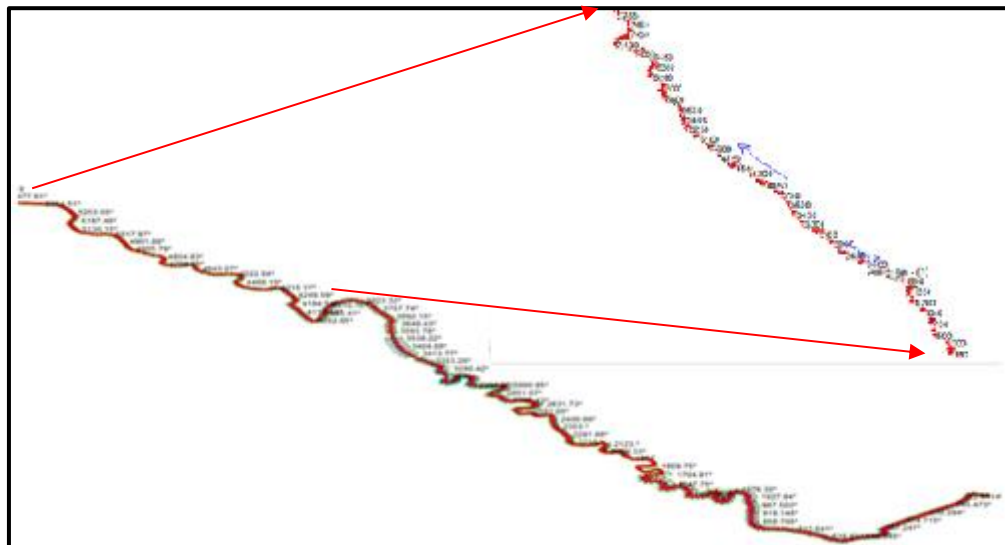
**Fuente:** Autores, febrero, 2020.



**Figura 12:** Levantamiento de secciones transversales y cotas, mediante nivelación y batimetría.

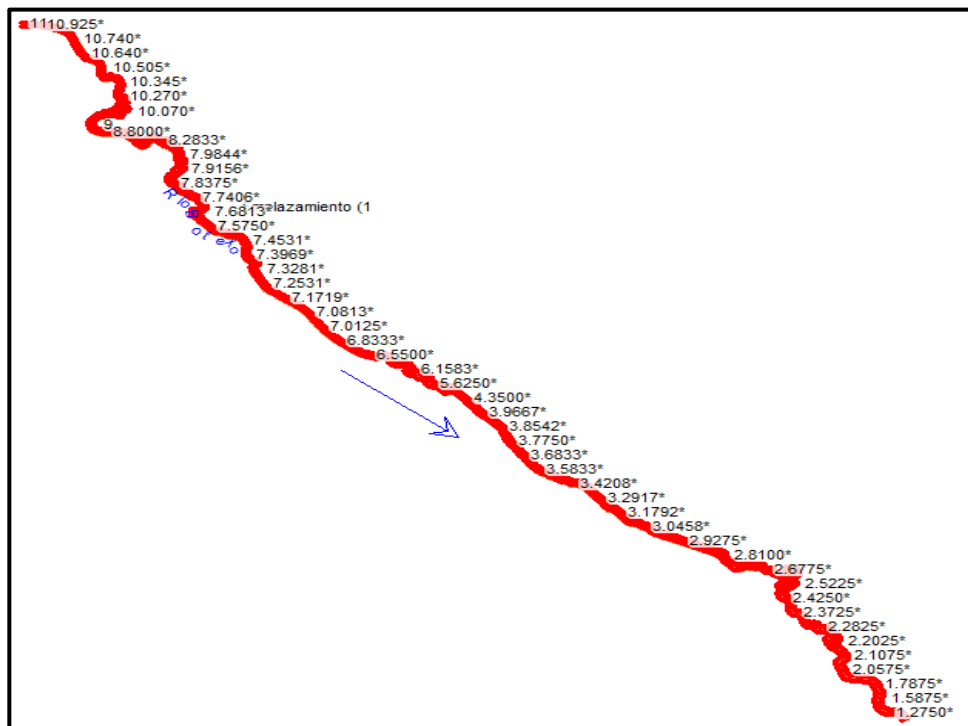
**Fuente:** Autores, enero 2020.





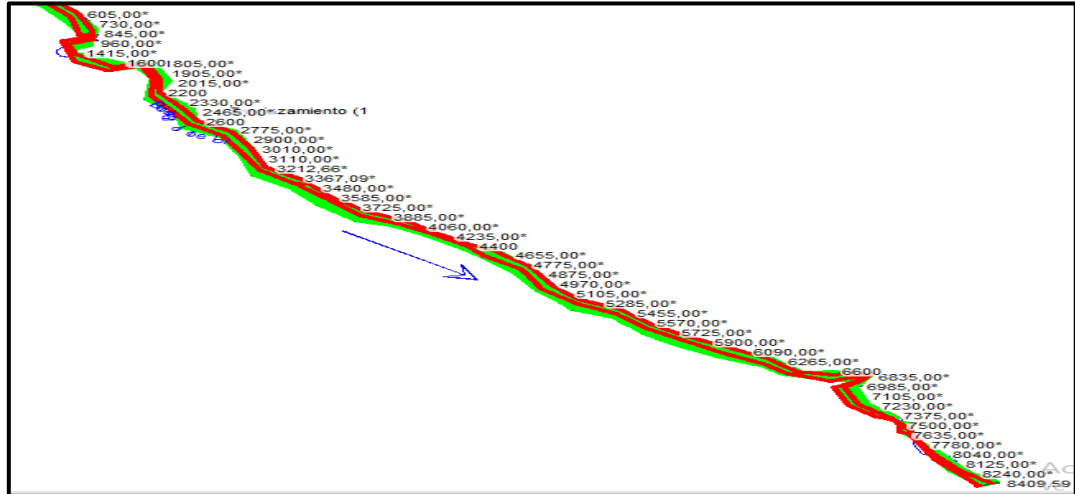
*Gráfica 1:* Geometría del tramo 3 del río Botello en contraste con la geometría del río completo.

**Fuente:** Autores, Hec-ras 5.0.3, 2020.



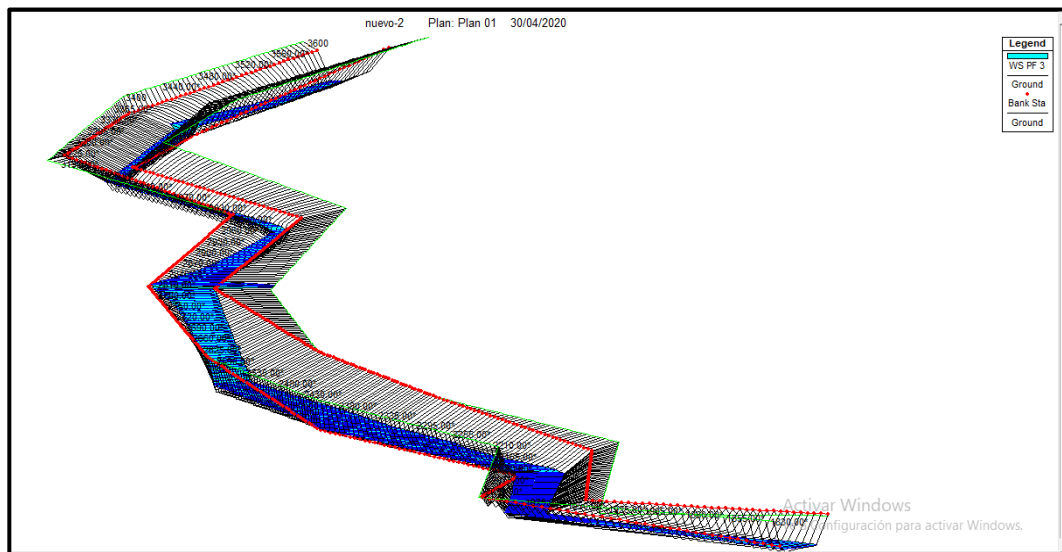
*Gráfica 2:* Geometría del tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, Hec-ras 5.0.3, 2020.



Gráfica 3: Geometría del río Botello con interpolaciones a cada 5m.

Fuente: Autores, Hec-ras 5.0.3, 2020.



Gráfica 4: Parte media alta del río Botello

Fuente: Autores, HEC- RAS 4.1, 2020.

Edit Manning's n or k Values

River: **Rio Botello**  Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: **Emplazamiento (1)** **All Regions**

Selected Area Edit Options

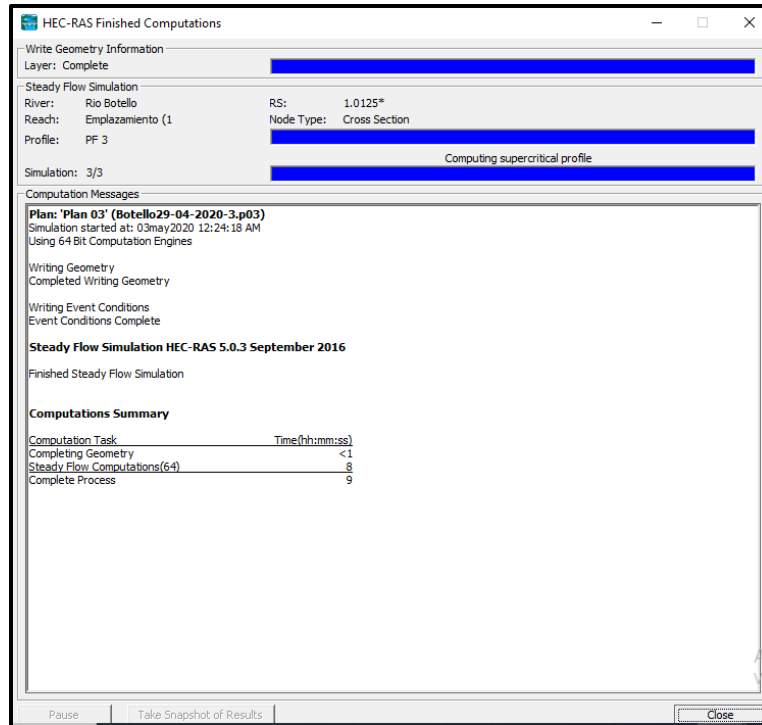
	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	11	n	0.035	0.03	0.038
2	10.995*	n	0.035	0.03	0.038
3	10.990*	n	0.035	0.03	0.038
4	10.985*	n	0.035	0.03	0.038
5	10.980*	n	0.035	0.03	0.038
6	10.975*	n	0.035	0.03	0.038
7	10.970*	n	0.035	0.03	0.038
8	10.965*	n	0.035	0.03	0.038
9	10.960*	n	0.035	0.03	0.038
10	10.955*	n	0.035	0.03	0.038
11	10.950*	n	0.035	0.03	0.038
12	10.945*	n	0.035	0.031	0.038
13	10.940*	n	0.035	0.031	0.038
14	10.935*	n	0.035	0.031	0.038
15	10.930*	n	0.035	0.031	0.038
16	10.925*	n	0.035	0.031	0.038
17	10.920*	n	0.035	0.031	0.038
18	10.915*	n	0.035	0.031	0.038
19	10.910*	n	0.035	0.031	0.038
20	10.905*	n	0.035	0.031	0.038
21	10.900*	n	0.035	0.031	0.038
22	10.895*	n	0.035	0.031	0.038
23	10.890*	n	0.035	0.031	0.038

*Figura 13:* Manning's valúes del tramo 3 del río Botello, 2020.

**Fuente:** Autores, Hec-ras 5.0.3.

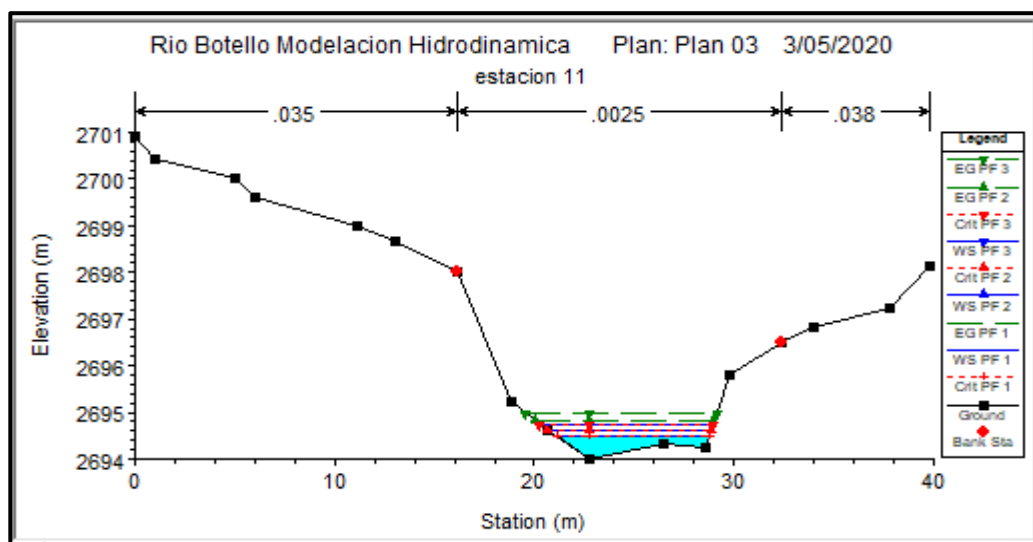
Luego de tener los datos de las secciones, condiciones de contorno y cumplido con los tres pasos metodológicos de la simulación, por último, se realizaron los escenarios de comportamiento en flujo variable (Flow unsteady), en la **Grafica 1** se evidencia la geometría del río Botello completo, tomando la sección del tramo 3 y amplificándola en la **Grafica 2**. **La Gráfica 3** muestra las interpolaciones realizadas en el tramo cada 5 metros, finalmente,

en la **Gráfica 4** se encuentra una sección transversal típica, que permite ver los niveles del agua de todo el cauce del río.



**Figura 14:** Estabilidad de la simulación.

**Fuente:** Autores, HEC- RAS 5.0.3, 2020.



*Gráfica 5:* Cross Section- sección transversal típica.

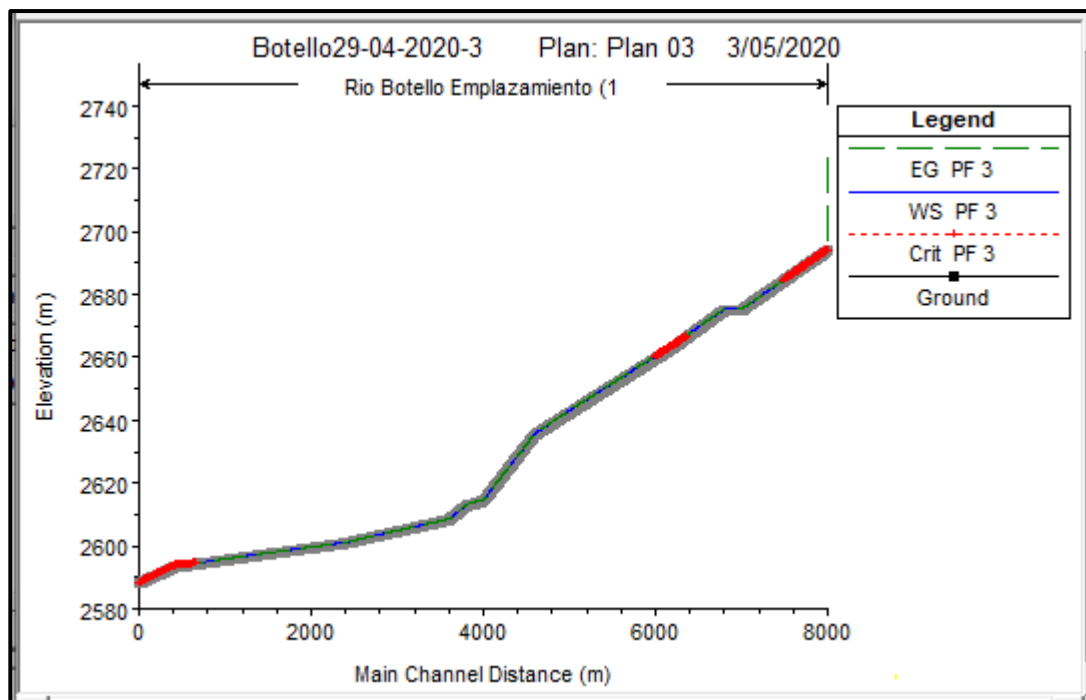
**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

Las estaciones se determinaron de acuerdo con el acceso, el cambio morfológico del río, además, de la presencia de los meandros a lo largo del tramo 3, como se puede evidenciar en la **Gráfica 5** y en el **Anexo 1** de las secciones transversales, se observa una de las morfologías de las 1670 secciones transversales que se interpolaron cada 5 metros, para las cuales se tomaron en cuenta los levantamientos topográficos que se realizaron en los 11 puntos con estación total, prisma, GPS y una cinta métrica.



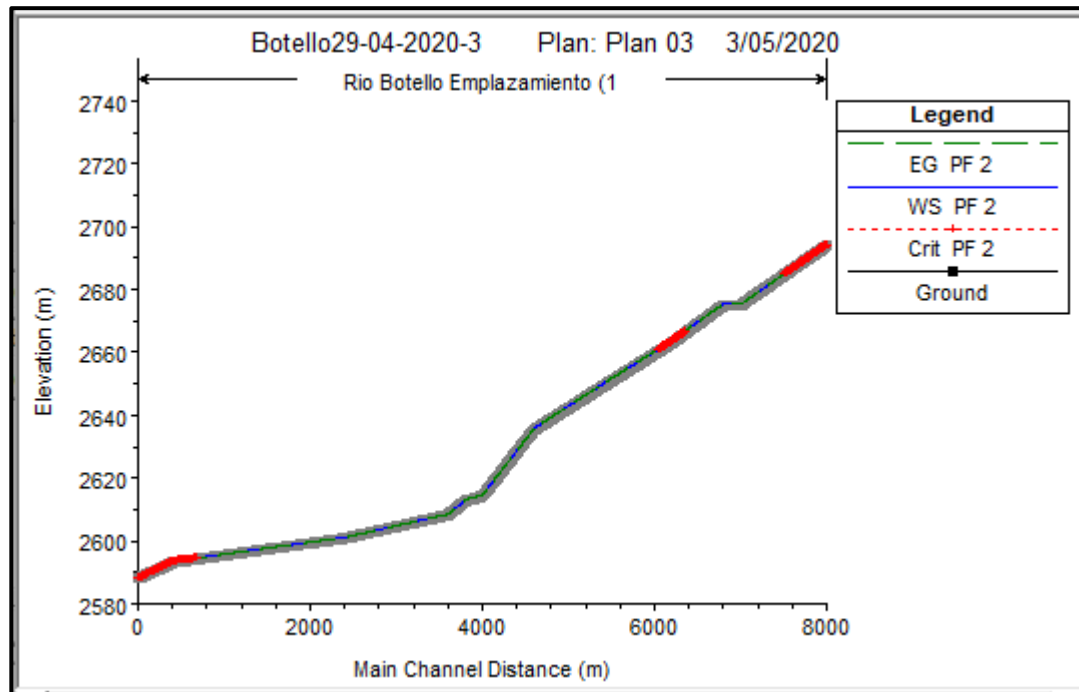
*Figura 15:* Levantamiento de las secciones transversales.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



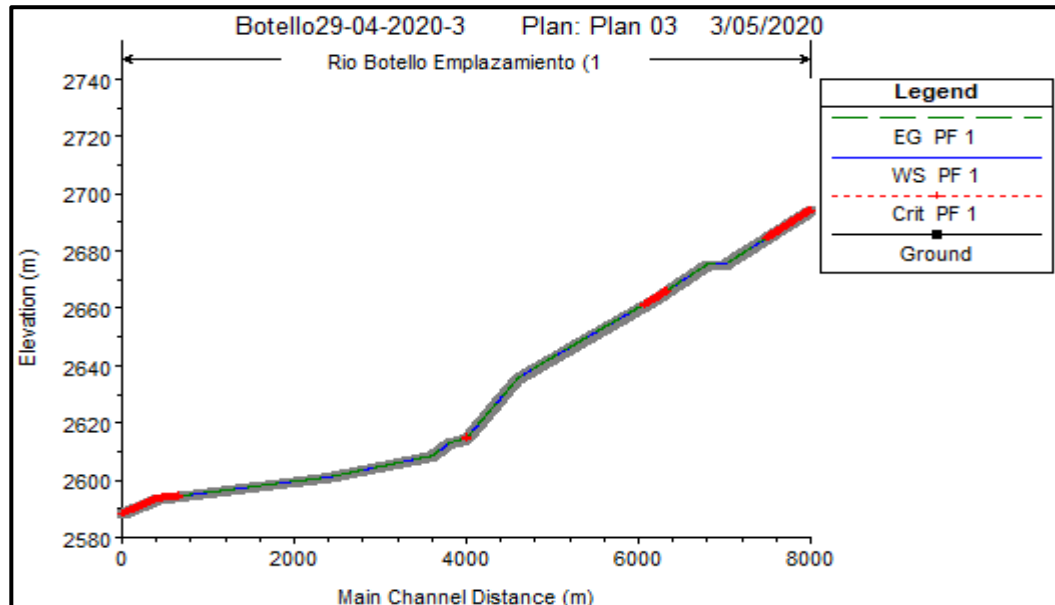
*Gráfica 6:* “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en época lluviosa.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



Gráfica 7: “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en época media.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

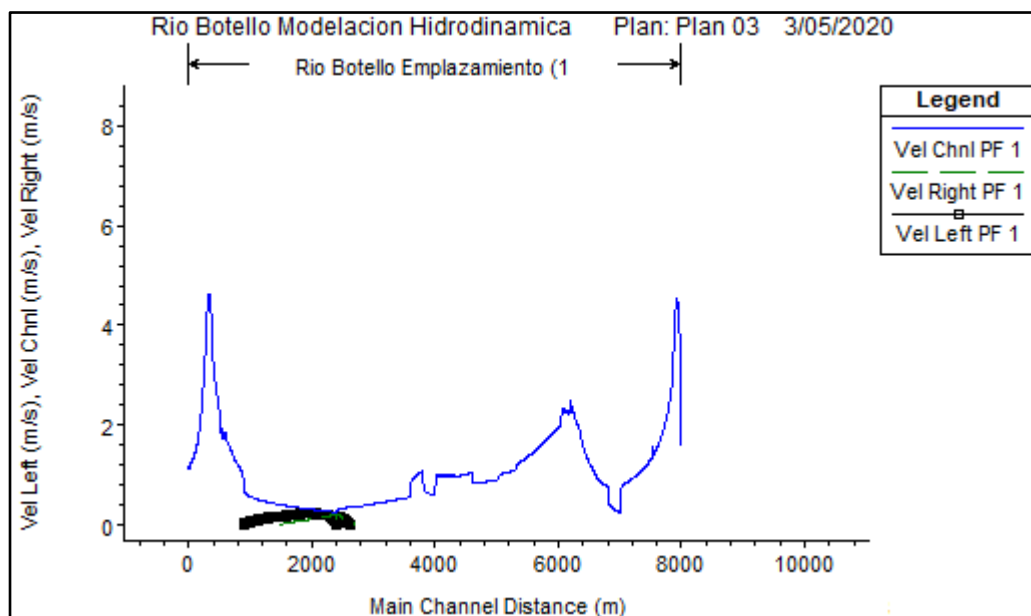


**Gráfica 8:** “Water Surface Profiles” Perfil del cauce en época de sequía.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

En esta caracterización se encontró el gradiente de energía de la superficie del agua (EG Max WS), esta representa la superficie máxima (WS Max WS) en el momento de medir la profundidad o  $h$  que sería la profundidad del agua junto con el (Crit Max WS) que sería la superficie crítica del agua a lo largo del cauce, esto representa la variación del caudal a lo largo del río. La variación del perfil del agua a lo largo del cauce del río, desde el punto 1 hasta el 11 se evidencian en las gráficas 6, 7 y 8, donde los colores rojo significan bajos niveles de agua, el azul indica altos niveles de agua, en la **Gráfica 6** el perfil del río y del agua en época de lluvia, en la **Gráfica 7** en época media y por último la **Gráfica 8** en época de sequía, donde no se evidencia un cambio significativo en los puntos de bajo nivel del agua, esto puede deberse a la pendiente del mismo.





**Gráfica 9:** Velocidades de flujo a lo largo del tramo de estudio.

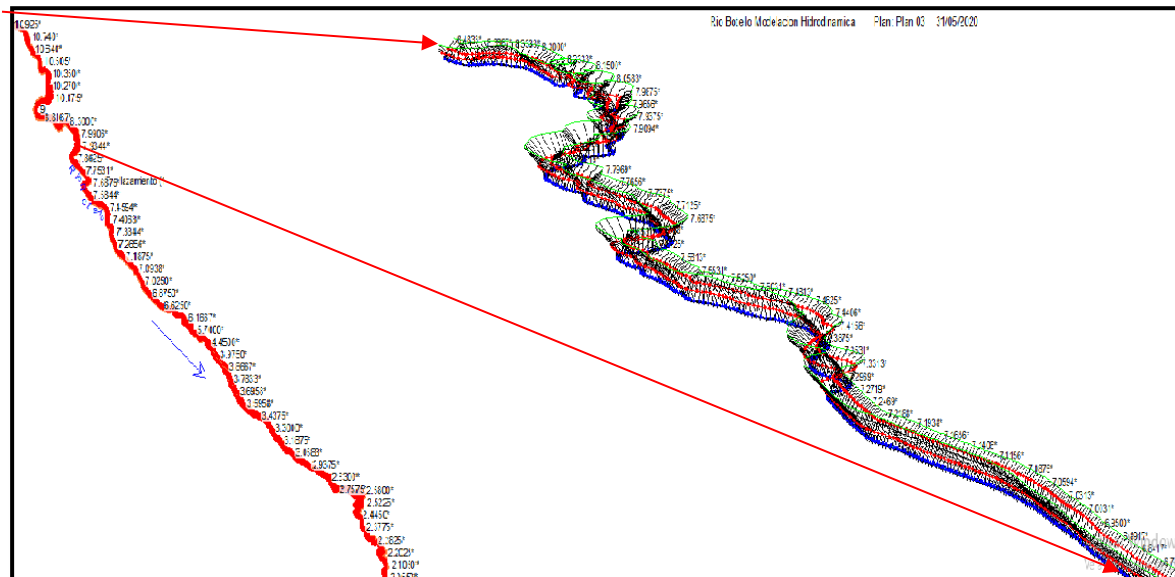
**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

En el **Gráfica 9**, se encuentran las distintas velocidades del flujo presentadas: a la derecha línea verde, a la izquierda línea negra y por el centro del canal la línea azul que representa la velocidad que tiene el flujo a través del tramo por el centro del río, esto es, debido a que tiene una mayor profundidad en esa parte, de igual manera también presenta disminución y aumentos constantes de velocidad debido a la topografía y a la superficie del cauce (Rodriguez, 2012), que en muchos lugares presentan barreras de piedras que acumulaban el agua en algunas secciones (ver en el anexo 2) .

Como primer análisis estas velocidades se encuentran aproximadas a la realidad, ya que como se observa en el registro fotográfico de la **Figura 15**, la eutrofización disminuye notablemente las velocidades en el río, además de ser influenciada directamente por la

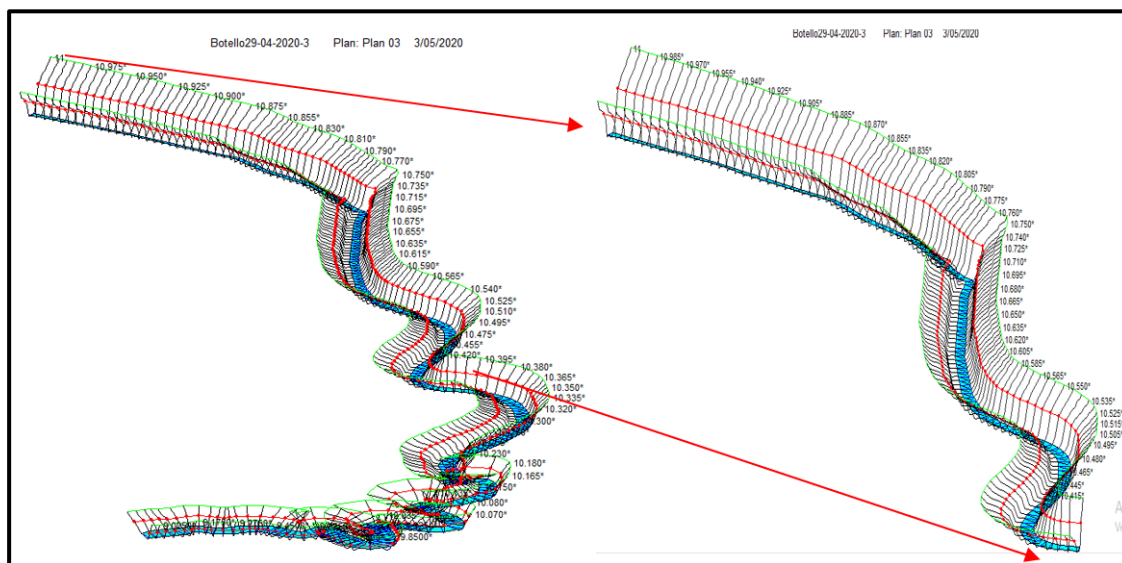
topografía del terreno. En la línea azul de la **Gráfica 9** *vel chnl Max Ws* se analiza de derecha a izquierda ya que el modelo trabaja desde aguas abajo a aguas arriba es decir a los 8400 metros queda el punto 11 que sería aguas arriba, la variación de la velocidad del punto 11 al 9 que sería en la parte alta del tramo se puede evidenciar que empieza con una velocidad de 1.8 m/s y termina con 2.2 m/s aproximadamente a las 6600 m del punto 1, pero la parte media derecha del tramo tiene un ascenso de velocidad significativo alrededor de 2 m/s, y en la parte izquierda casi llegando a los 5.5 m/s en el punto 0, esto es debido a la topografía que tiene el lugar y a la baja sedimentación de sólidos por las corrientes que allí presenta.

Del punto 8 al 4 tiene una velocidad constante y baja esto se debe a la parte recta que presenta el cauce, además de la baja sinuosidad que tiene este sector del tramo 3 variando así la velocidad de 1.1 a 1.6 m/s entre los 2000 y 5000 m desde el punto 1 a una altura promedio de 2600 msnm. En la parte baja del tramo la velocidad aumenta al igual de las velocidades de la izquierda y derecha, esto es debido a la topografía y a los meandros que abundan en este sector del tramo, es esta parte del tramo se utiliza para agricultura y en sistemas de bombeo para riego. Esto hace que el fluido tenga alteración en la velocidad y partes de sedimentación.



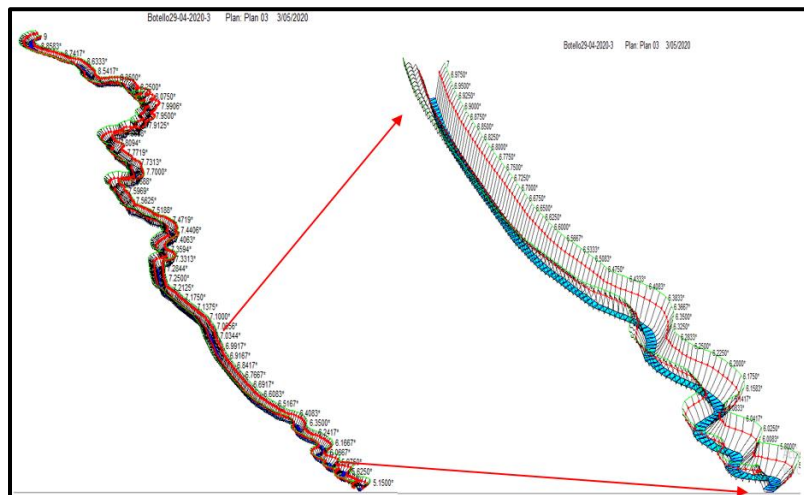
Gráfica 10: Velocidades de flujo a lo largo del tramo de estudio.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



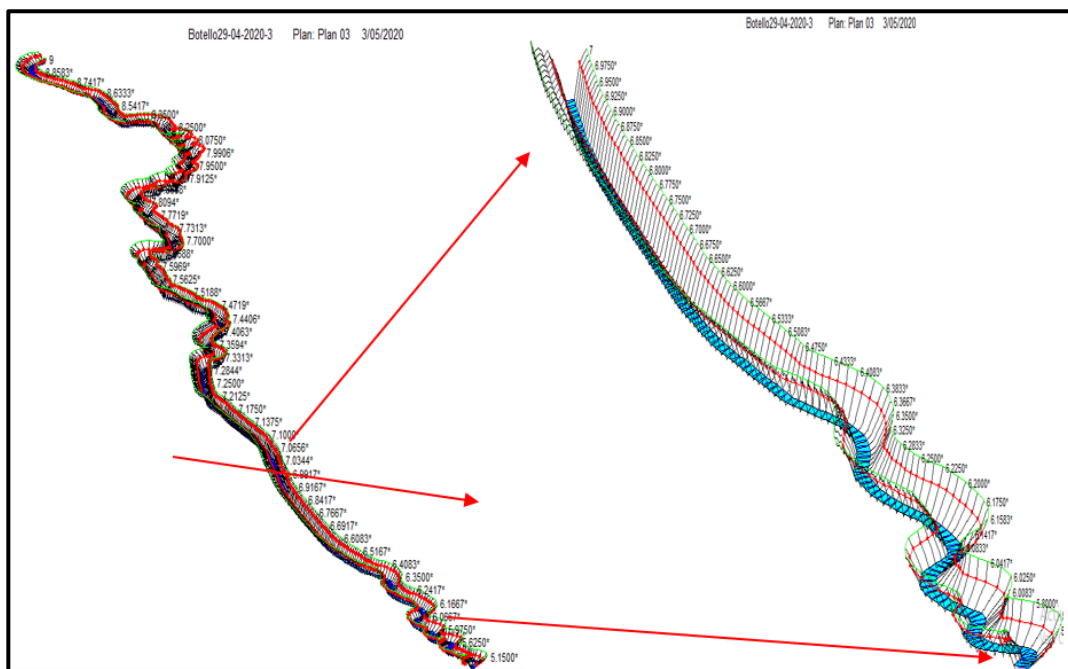
Gráfica 11: Morfología del río Botello tramo 3. Sección alta, época de sequía.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



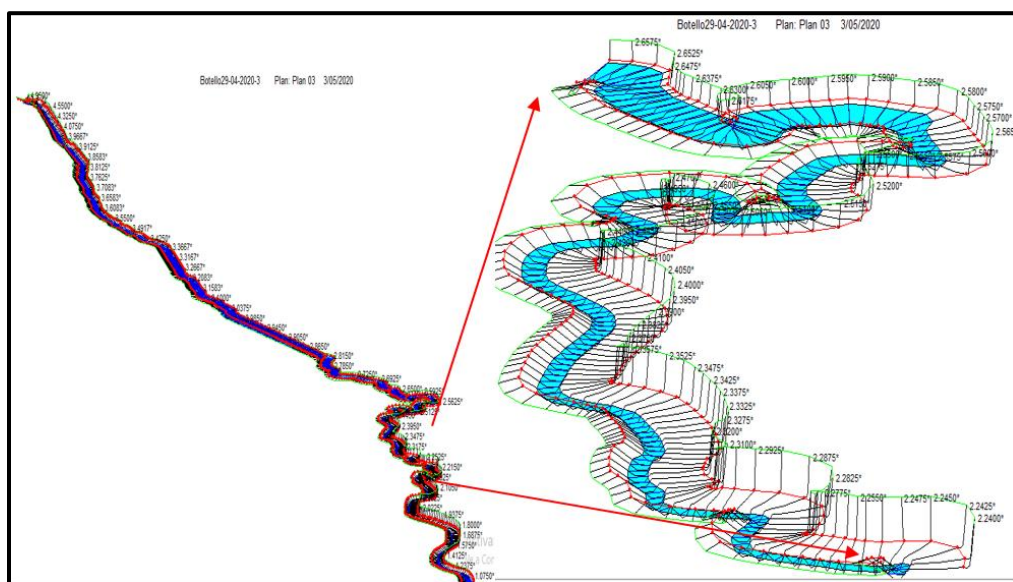
**Gráfica 12:** Morfología del río Botello tramo 3. Sección media, época de sequía.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



**Gráfica 13:** Morfología del río Botello tramo 3. Sección media, época de sequía.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



**Gráfica 14:** Morfología del río Botello tramo 3. Sección baja, época de sequía.

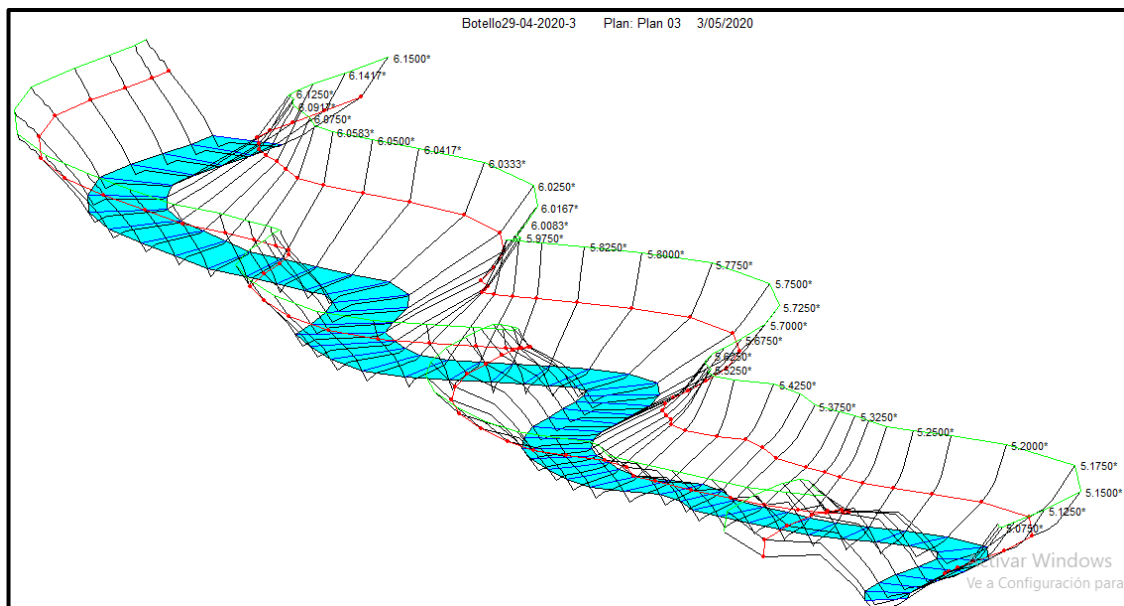
**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

En las **Gráficas 10, 11, 12 13 y 14** se observa que a través de todo el cauce no presenta ningún tipo de inundación o superación del *left over bank*, esto se debe a que los parámetros que se tuvieron en cuenta en la modelación fueron en época de sequía, donde no se muestra desborde debido al poco caudal que presentaba el río en esa época, datos que fueron tomados en enero del 2020 (esto se puede verificar en el **Anexo 2**), donde las evidencias confirman la realidad y veracidad del modelo.



**Figura 16:** Meandro y eutrofización del cauce.

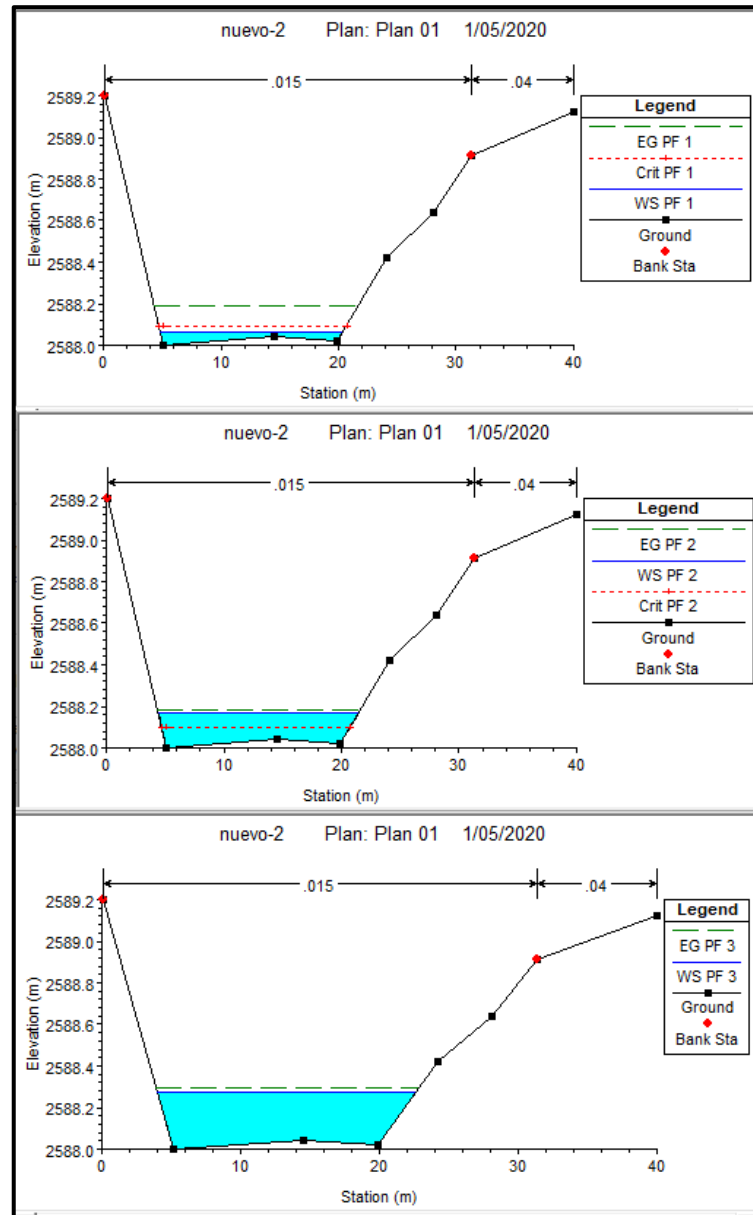
**Fuente:** Autores, 2020.



**Gráfica 15:** Tramo del río en época de sequía.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

La **Gráfica 15** muestra una sección del tramo, donde se puede evidenciar una parte de la morfología y el espejo de agua, la **Figura 16** es la simulación del tramo, donde este es semejante y no sobrepasa los niveles del *left over bank*. En la **Gráfica 15** muestra algunos meandros del río y la sinuosidad, según Valdivieso (2014) los cuales dan formación en zonas planas que representan pendientes muy bajas, es por esta razón, que los sedimentos tienden a acumularse más en este tipo de topografía donde predomina la erosión y el retroceso de la orilla cómo se pueden ver en el anexo de cada sección transversal.



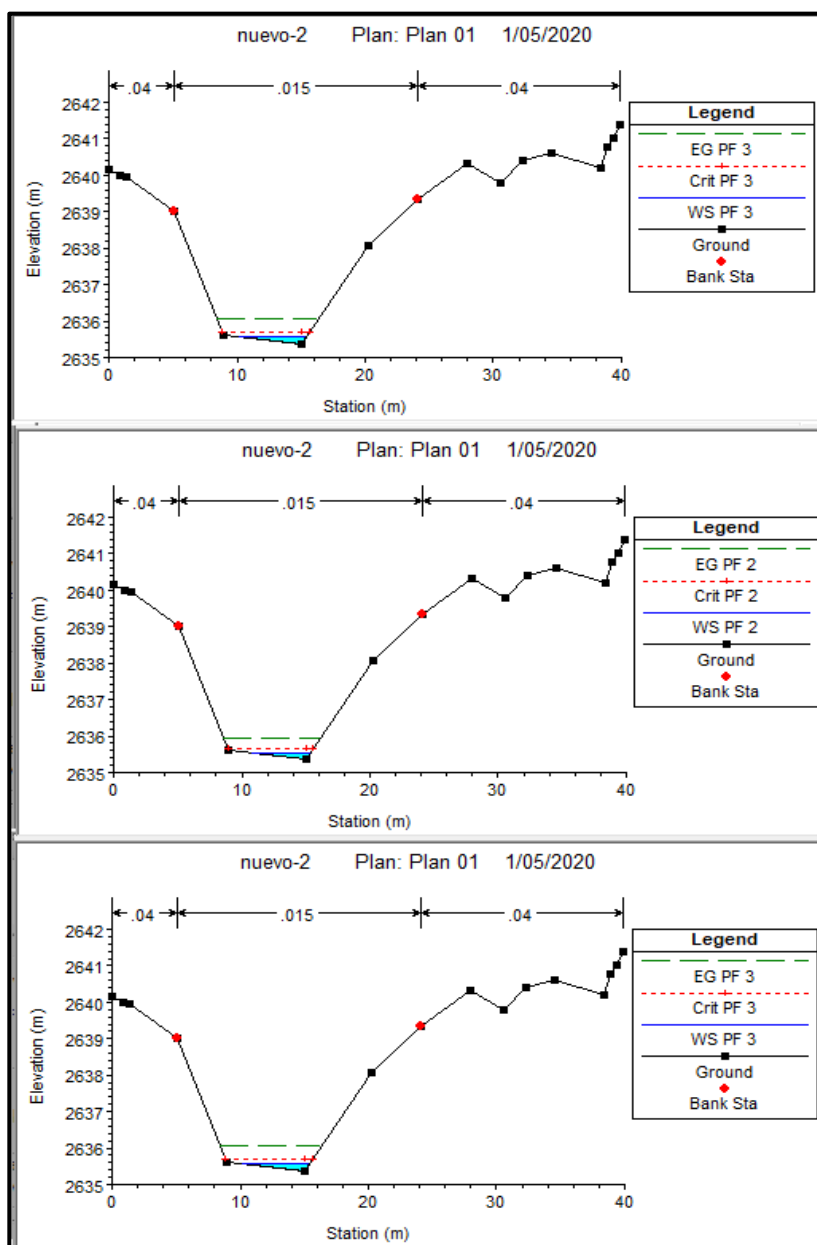
**Gráfica 16:** Modelación de las tres temporadas en la sección 1.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

En la **Gráfica 16** se encuentra modelada la sección 1 donde se puede evidenciar cómo varía la profundidad del agua dependiendo la época, ésta vista se puede contrastar en el **Anexo 1** de las imágenes de las secciones transversales, la sección queda en el puente pasando el Hotel



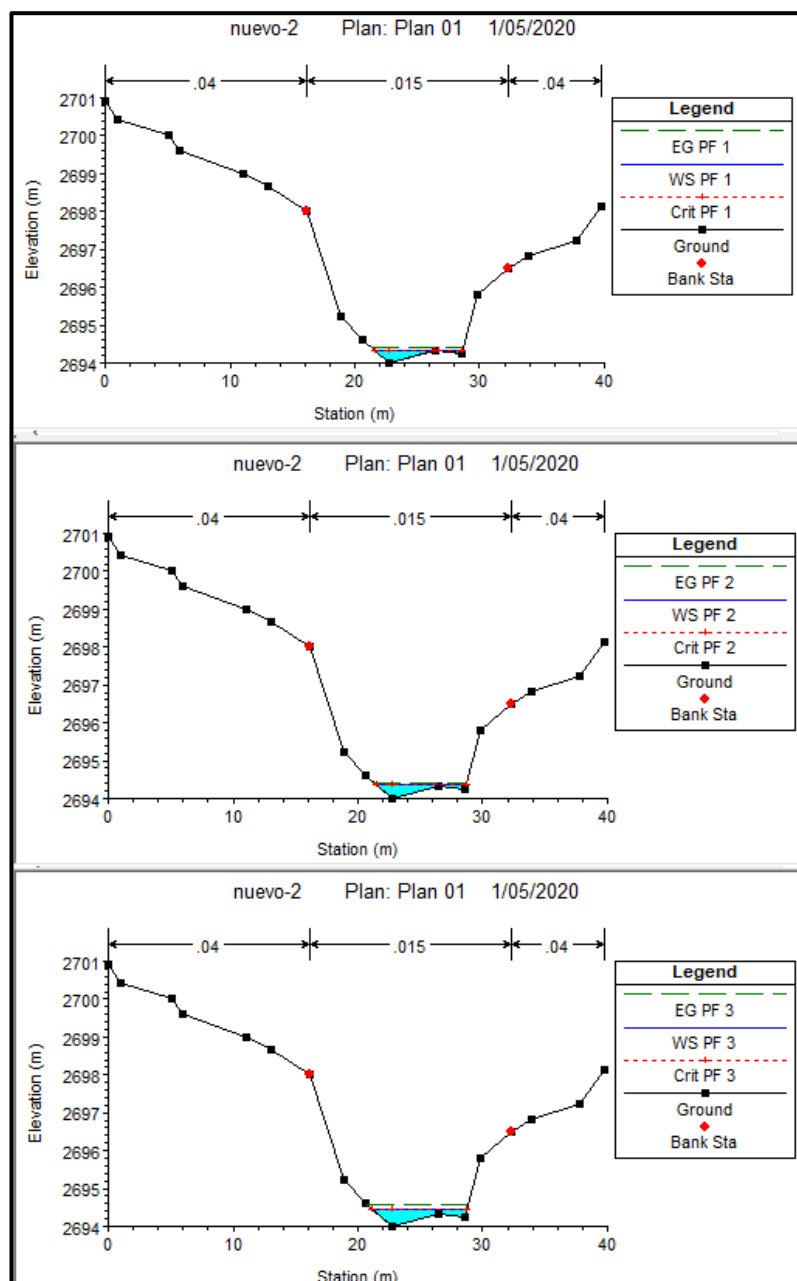
los Amoblados punto 1 con las coordenadas relacionadas en la **Tabla 1** la cual presenta zonas con meandros, aunque tienen en su mayoría una topografía plana sigue estando la presencia de meandros por sectores.



*Gráfica 17:* Tres escenarios en la sección 7.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3,2020.

En el escenario mostrado en la **Gráfica 17** se observa la variación del perfil de agua la cual no tiene fluctuaciones notables esto debido a la pendiente, ya que está sujeta a la topografía del lugar, donde, aunque tiene una velocidad de agua bastante favorable, la sección no presenta una superación de los *left over bank* que representa la cota de inundación en época de lluvia.



**Gráfica 18:** Tres escenarios en la sección 11.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3,2020.

En la Gráfica 18 está la sección transversal del punto 11 del tramo en la parte alta del río, en las 3 épocas sequía, media y lluvia, se presenta una variación significativa en el cambio de

alturas del nivel del agua con respecto a las tres temporadas. Esto es debido a la topografía del lugar, conociendo que es la parte alta de la microcuenca y las curvas de nivel son más cercanas, lo que indica una mayor altitud en menor área, no obstante, la velocidad del fluido debe ser mayor con respecto a las otras secciones del tramo, además también lo demuestra el perfil longitudinal del cauce principal según la representación de la **Figura 8** (FAO, 2008).

**Tabla 6:** Error del modelo frente al caso de estudio.

Estación	Época	Velocidad Chanel (m/s)		Flow Área (m <sup>2</sup> )		Water Surface	
		Hec-Ras	Autores	Hec-Ras	Autores	Hec-Ras	Autores
1	época de sequía	0.82	0.75	0.18	0.21	2.05	1.8
	época lluvia	0.76	0.67	0.76	0.75	3.51	3.1
2	época de sequía	0.62	0.67	0.2	0.22	1.32	1.2
	época lluvia	0.68	0.71	0.76	0.67	1.85	2.1
3	época de sequía	0.61	0.68	0.19	0.22	4.25	4.3
	época lluvia	0.65	0.71	0.89	0.86	4.26	4.1
4	época de sequía	0.28	0.3	0.23	0.21	2.53	2.5
	época lluvia	0.37	0.4	0.98	0.95	4.43	3.8
5	época de sequía	0.35	0.3	0.19	0.23	1.53	1.9
	época lluvia	0.39	0.45	0.73	0.74	4.29	3.6
6	época de sequía	0.27	0.24	0.25	0.23	1.67	2.1
	época lluvia	0.58	0.62	1.02	0.93	4.18	3.5
7	época de sequía	0.39	0.41	0.32	0.36	2.45	2.6
	época lluvia	0.48	0.44	0.77	0.75	4.12	3.6
8	época de sequía	0.51	0.6	0.41	0.38	1.72	1.7
	época lluvia	0.79	0.87	0.36	0.42	1.95	2.3
9	época de sequía	0.41	0.35	0.42	0.39	2.52	2.6
	época lluvia	0.52	0.56	0.75	0.72	3.16	3.6
10	época de sequía	0.36	0.39	0.94	0.83	2.43	2.1
	época lluvia	0.47	0.42	0.84	0.76	2.12	2.9
11	época de sequía	0.71	0.62	0.69	0.74	2.56	2.3
	época lluvia	0.96	0.85	0.35	0.33	2.28	2.6

**Fuente:** Autores, HEC RAS 5.0.3, 2020.

**Tabla 7:** Error estándar del modelo

ERROR (TÍPICO O ESTANDAR)		PARAMETRO			CORRELACIÓN
		VELOCIDAD	FLOW AREA	WATER SURFACE	
ÉPOCA	SEQUÍA	0.06	0.05	0.24	0.94
	LLUVIA	0.06	0.05	0.26	0.93

Fuente: Autores, HEC RAS 5.0.3, 2020.

**Tabla 8:** Error estándar del modelo %

ERROR (TÍPICO O ESTANDAR) %		PARAMETRO			CORRELACIÓN
		VELOCIDAD	FLOW AREA	WATER SURFACE	
ÉPOCA	SEQUÍA	6%	5%	24%	0.94
	LLUVIA	6%	5%	26%	0.93

Fuente: Autores, HEC RAS 5.0.3, 2020.

En la **Tabla 8**, se puede ver la calibración del modelo realizado en HEC RAS 5.0.3 mediante el cálculo del error relativo, en este proceso se calibró de una manera comparativa, teniendo en cuenta los datos tomados en campo y los que arrojó el modelo. En la primera columna se puede observar la velocidad del flujo del canal obtenido en Hec-Ras 5.0.3 en la columna siguiente se encontrarán los datos de velocidad que se obtuvieron en campo; éstos fueron adquiridos de dos formas diferentes, con el método del ping pong y el trazador químico para contrastar las velocidades reales, y se promediaron en una velocidad que como se indicaba anteriormente fue corregida por el coeficiente de energía o Coriolis y coeficiente de

momentun según Chow (2004). Se realizó la suma de los errores de velocidades y se obtuvo un 6% de error estándar. Adicionalmente, se colocó en el modelo los datos de los autores y se hizo correr de nuevo el modelo para la debida calibración.

Para determinar el error del área transversal del flujo se hizo el mismo procedimiento, con el área de cada sección este arrojó un error general mayor, que corresponde al 5% debido que no se utilizaron instrumentos de precisión como un láser, sino que la medición se realizó con instrumentos manuales. Al igual sucedió con la superficie superior del agua y se concluye finalmente que con esas tres variables que fueron tomadas en campo, se calibra el modelo dando un error general final del 25 % debido al cambio entre las medidas de cada sección transversal.

Basado en, (IDEAM, 2008) teniendo en cuenta los rangos manejado para los anteriores pronósticos nacionales, se puede considerar un pronóstico acertado si están en los siguientes rangos “muy buenos” y “buenos”, de tal manera que el pronóstico se acepta si el error no supera el 10%, según el mismo ARMY esta metodología presenta la siguiente aproximación matemática, sabiendo que el modelo permite un error entre el 3 y el 33% (Granados, 2013).

Los valores de caudales tanto para invierno como época de sequía fluctúan, esto es debido a la alta demanda de la producción agrícola y ganadera que se tiene en la zona. Además, de los descargues de agua por quebradas como la Pava y Mancilla, hacen que los caudales no sean constantes en las diferentes épocas del año. Seguidamente de calibrar el modelo se procede

a realizar el modelamiento ajustado para la época de sequía, media y parte lluviosa mediante datos de campo. Luego se procede a modelar diferentes escenarios en años anteriores como futuros que se podrán observar en el **Anexo 6**.

## **CALIDAD DEL AGUA**

El cambio climático, las actividades naturales y antrópicas generan cambios en la composición del agua y la disposición de ésta, a nivel global uno de los principales problemas que afectan la calidad del agua es la eutrofización, siendo resultado por un aumento de los niveles de nutrientes (usualmente fósforo y nitrógeno) afectando en gran medida los usos que se han dispuesto para el agua. La mayor parte de nutrientes llegan al cuerpo de agua por medio de escorrentía agrícola y de agua residuales domésticas, por efluentes industriales y emisiones a la atmósfera a causa de la combustión de combustibles fósiles e incendios naturales y/o provocados (ONU, 2014).

El deterioro de la calidad de agua ha sido durante años un problema que afecta a la población global, la expansión de la actividad industrial, agrícola, expansión poblacional, la amenaza del cambio climático causando cambios y alteraciones en el ciclo hidrológico.

En Colombia el agua es considerada como un derecho fundamental establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”; para los autores es de gran importancia aportar en la investigación e incentivar

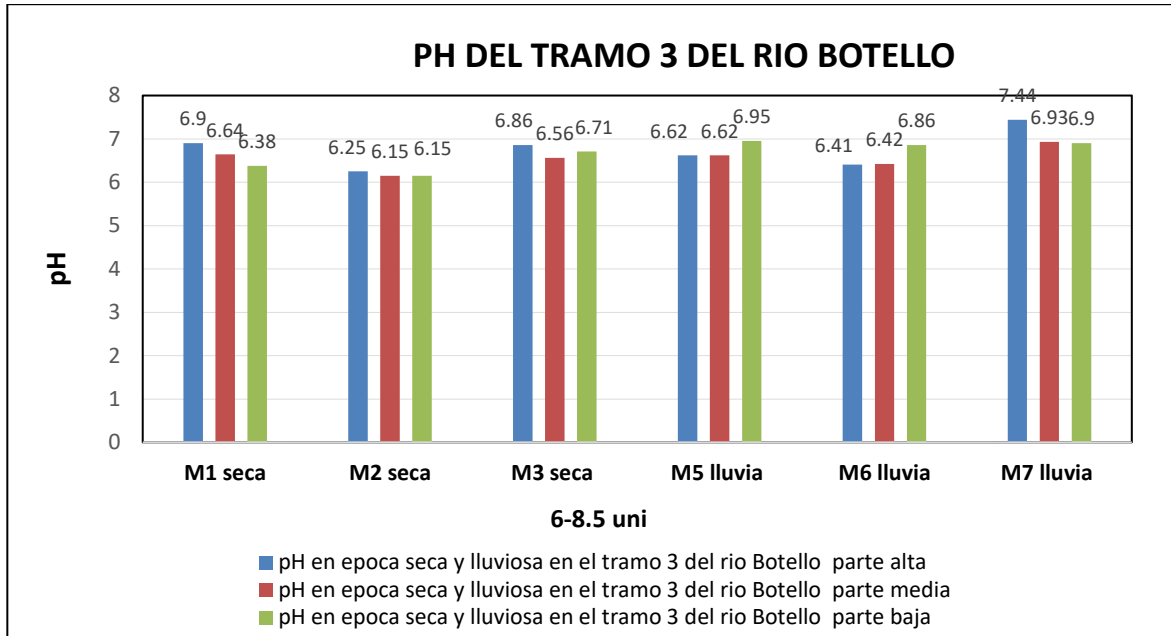


a estudiantes a continuar indagando sobre las problemáticas relacionadas con los cuerpos de agua de la región e iniciar nuevas soluciones y de esta forma mejorar la calidad de vida de los habitantes.

En la calidad del agua del sistema hídrico de estudio se analizó por medio de la guía de la WHO; “A Guide to use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring”, Donde se establecen los parámetros permisibles para calidad del agua superficial. El primer trimestre del año es considerado como la primera época de sequía o de menores precipitaciones, estas condiciones son comunes para las regiones Andina, Caribe y Orinoquia; los escenarios climáticos habituales para el mes de enero son conocidos como la temporada con menor presencia de precipitaciones (Mesa Técnica Agroclimática, 2020). En cuanto a la época de lluvias para la región Andina donde se encuentra ubicada la cuenca del Río Botello, se caracteriza por tener una transición en el mes de marzo-abril donde se pasa de una temporada en su mayoría de sequía a una temporada inicialmente con presencia de precipitaciones moderadas, siendo entre abril y mayo la primera época de lluvias en el año (IDEAM, 2020).

En las siguientes gráficas se puede observar los resultados obtenidos para los parámetros analizados con el fin de determinar la calidad del agua para el tramo 3 del río Botello. Se evidencian tres muestras por cada época en cada punto evaluado (M1, M2, M3) para época

de sequía, las muestras (M5, M6, M7) para época de lluvia, la parte alta se muestra en Azul, la parte media se muestra en rojo y la parte baja se muestra en verde.

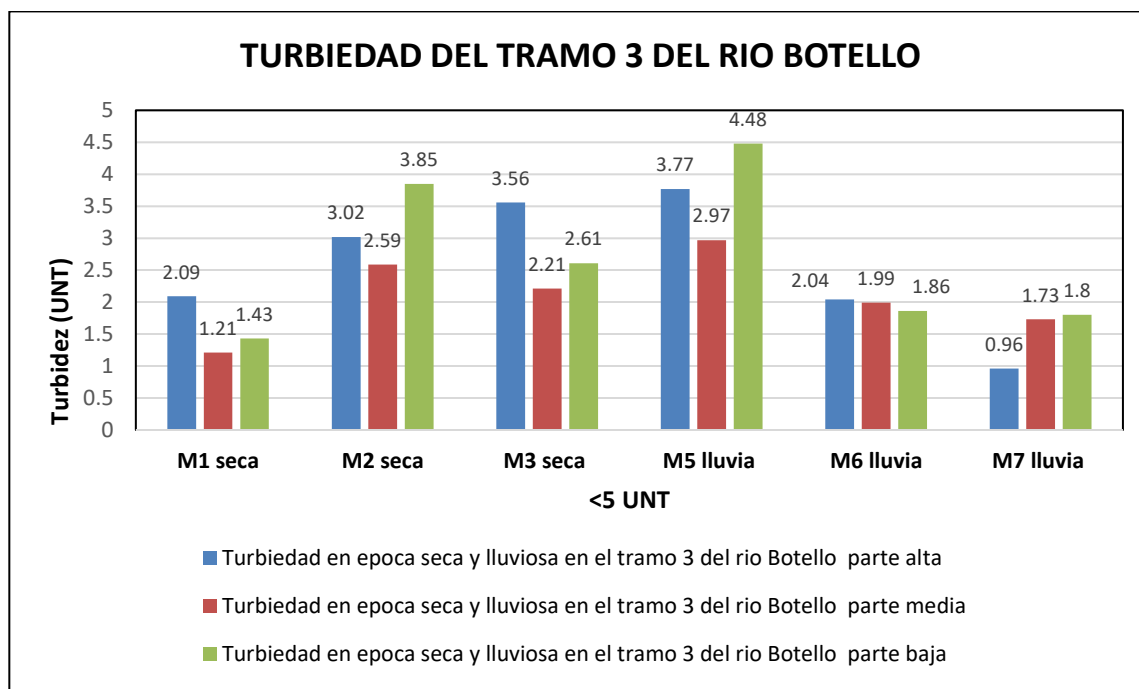


*Gráfica 19:* pH del tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

Un parámetro importante es el pH e indispensables para el monitoreo de aguas, este indica medidas de alcalinidad y relación de dióxido de carbono entre otros haciendo la referencia a la concentración del ion hidronio según Bolaños, (2015). El pH en la mayoría de las aguas naturales y superficiales está entre los rangos de 6 a 8.5, teniendo en cuenta que estos valores pueden tener variaciones entre rangos más bajos si las aguas son muy diluidas y ricas en el contenido de la materia orgánica según Montero, (2015) y valores más altos en aguas eutróficas.

El pH medido en el tramo 3 del río parte baja, media y alta en las dos épocas de lluvia y sequía como se puede ver en la **Gráfica 19**, están dentro del rango y estándares permitidos por la organización mundial de la salud (WHO), con respecto a los valores del agua superficial. Es de resaltar que los valores en época de sequía tuvieron gran similitud en las tres partes del tramo, esto es debido a los pocos caudales y al bajo movimiento de las aguas por falta de lluvias. Para la segunda época se tiene valores muy similares tan solo la muestra 7 en época de lluvia se obtuvo por encima de 7 unidades de hidronio, lo que puede indicar arrastre de silicatos y carbonatos a causa de la escorrentía.



*Gráfica 20:* Turbiedad del tramo 3 del río Botello.

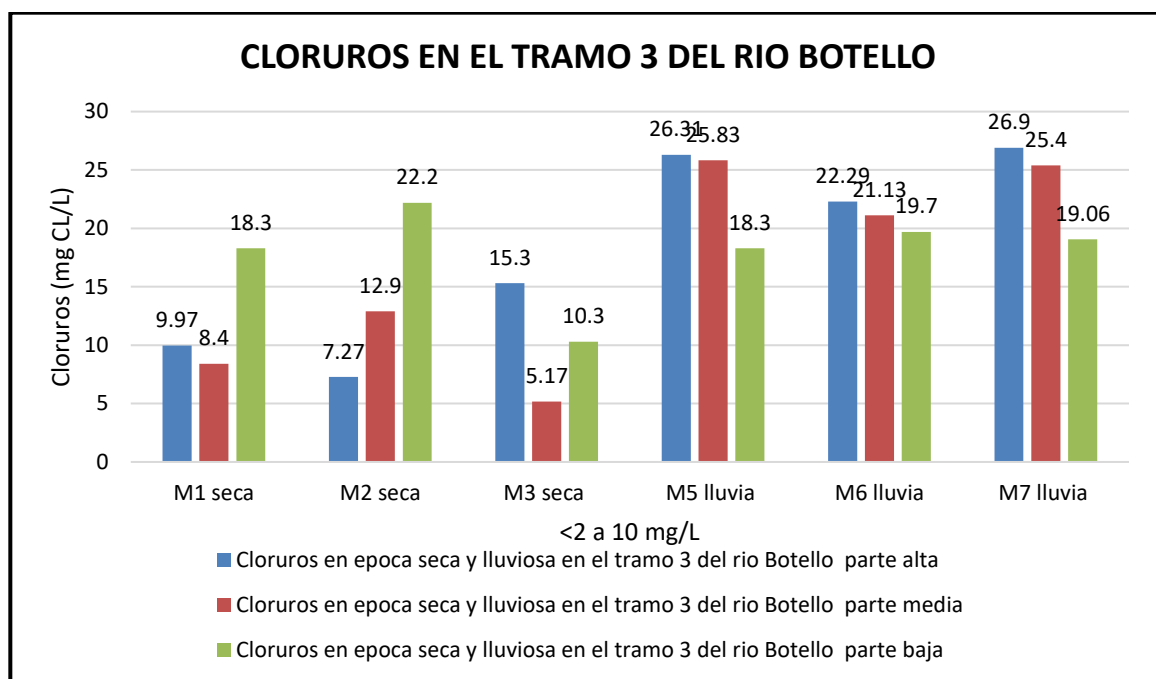
**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020.

La turbiedad es un fenómeno que se regula con la materia orgánica suspendida esta consiste en limo, arcilla entre otras partículas inorgánicas, algunos compuestos solubles, plancton y otros microorganismos, en una determinada estación fluvial la turbidez puede estar relacionada con los SST (Colombia, 2015). De igual forma permite en cierta manera determinar el grado de tratamiento que se le debe realizar a una fuente cuando se toma para potabilizar. También, “Aguas con exceso de turbiedad presentan menores concentraciones de oxígeno y deficientes tasas fotosintéticas afectando al ecosistema hídrico. La turbiedad disminuye el poder oxidativo de los desinfectantes debido a que los organismos patógenos se protegen dentro de estas partículas y se alimentan de ellas” según el SIAC, (2010).

La WHO define que la turbidez de las aguas superficiales no debe superar en ningún momento los 5 NTU (WHO, 1996) de acuerdo con la **Gráfica 20**, y los datos obtenidos tanto en el muestreo de época de sequía y lluvia ninguno de los valores sobrepasó el rango propuesto por la WHO, tan solo se puede evidenciar que los valores del quinto muestreo en época de lluvia los valores subieron un poco más en comparación a los demás, aun así, no superaron el límite.

Este parámetro de calidad se relaciona directamente con los altos y bajos niveles de caudal, esto dependiendo según la época de lluvia o de sequía, lo cual se verificó según el estudio en las diferencias de épocas influyen de una manera muy mínima en un cambio abrupto que podría verse reflejado según los arrastres de material, como se puede evidenciar en la **Grafica 14** dada por el modelo, se observa una pendiente de laderas muy bajas como de la parte alta

hasta la parte baja. De la misma manera se relaciona que las crecientes que tendrá el cauce en épocas de lluvia no serán de gran preocupación por lo que en los niveles de turbidez hallados en el estudio no fueron exorbitantes de gran preocupación tanto para la calidad del cauce en este parámetro como la relación de una creciente. Relacionando los *left over bank* dados por el modelo, en las dos épocas no se evidenció un desborde del nivel del agua, lo cual indica que la turbidez del tramo no tendrá variaciones significativas de una época con respecto a la otra.

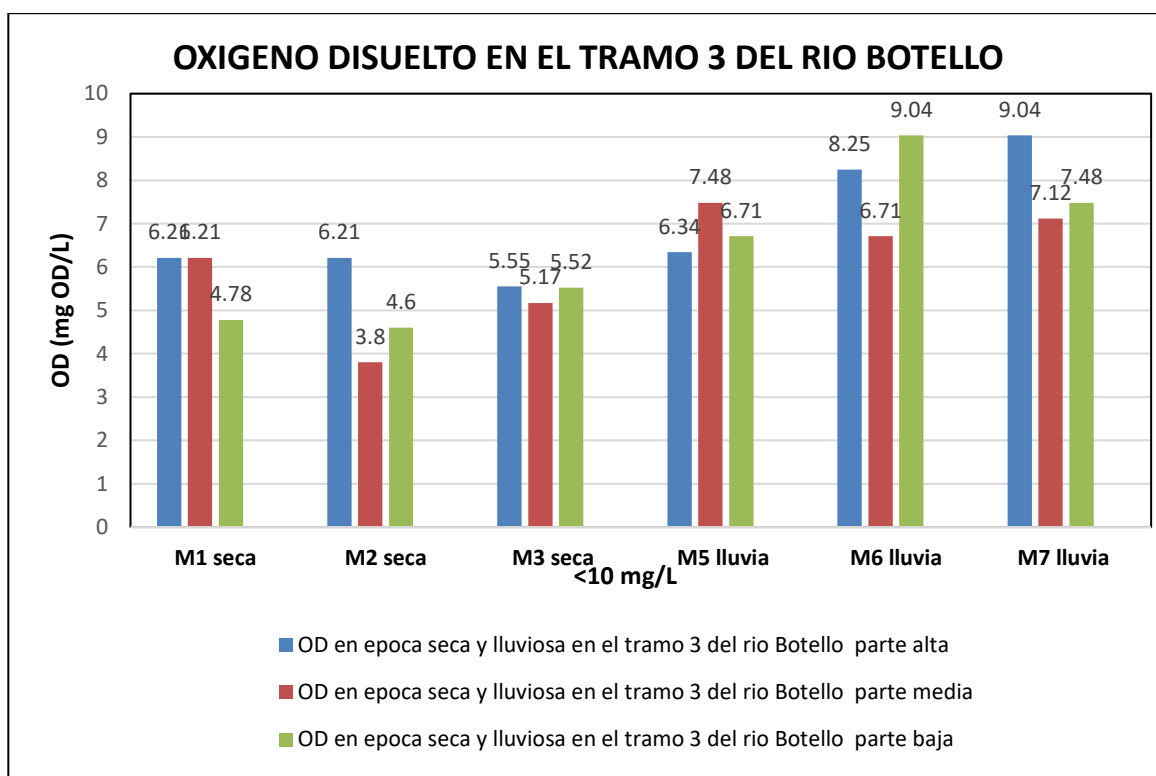


**Gráfica 21:** Cloruros en el tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

La mayor parte del cloruro entra a las aguas superficiales en este caso al río Botello, con la erosión de algunos sedimentos rocas principalmente, de algunos depósitos industriales y aguas residuales sin tratar, de igual manera la concentración se ve afectada por la escorrentía

agrícola y vial en algunos casos como lo es este sector de estudio que está expuesto a vertimientos tanto industriales como agrícolas sin contar que la vía Albán está muy cerca del cauce principal, la salazón de las carreteras durante los periodos de invierno pueden contribuir aumentado significativamente el cloruro en las aguas cercanas (WHO, 1996), es por esta razón que el época de lluvia las muestras tanto como parte alta y baja presentan valores altos con respecto a los de sequía, valorando así la falta de lluvia que arrastra el material hacia el cauce y la actividad industrial cercana que es sometido el río. Según la WHO las aguas superficiales pueden tener valores inferiores a los 10 mg/L de Cl y a veces menos de los 2 mg/L. Teniendo esto, se puede evidenciar en la **Gráfica 21**, que los valores de las muestras tomadas en época de sequía en la parte alta y media presentan valores dentro del rango de aceptación. Pero, en época de lluvia no cumple los rangos establecidos por las afectaciones ya mencionadas anteriormente. Se puede observar que los datos son variables tanto de aceptación en algunas temporadas como no lo son en la siguiente temporada, deteriorando así la calidad del agua del tramo 3 del río Botello.



*Gráfica 22:* Oxígeno Disuelto en el tramo 3 del río Botello.

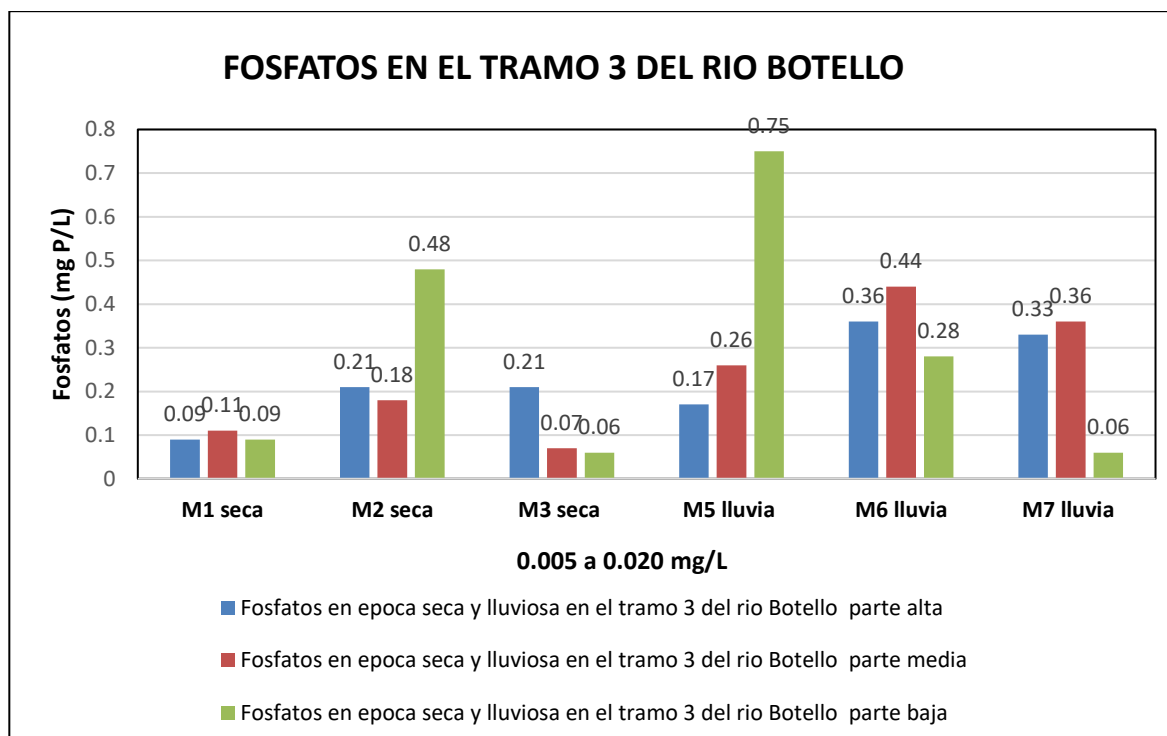
**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

La cantidad de oxígeno que está presente en el agua se denomina Oxígeno Disuelto. El oxígeno disuelto que está presente en las aguas frescas en el nivel del mar tiende a oscilar en valores entre 15 mg /L A 0 °C y 8 mg/L a 25 °C y por lo general la concentración para las aguas que no están contaminadas son por lo general con valores menores a 10 mg/L de OD según la (WHO, 1996). El OD se también suele regular las condiciones favorables para el crecimiento y producción de población acuática brindando así niveles de oxígeno suficientes para el desarrollo de la vida en las aguas (SIAC, 2010). Así mismo, si se presenta bajos niveles de contenido de oxígeno esto indica la contaminación elevada por algunos productos o la actividad intensa de colonias microbianas anaeróbicas en la profundidad del cauce. Esta

cantidad depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua variando el contenido de O<sub>2</sub> del día a la noche. La cantidad de oxígeno disuelto que necesita un organismo o especie depende directamente del tamaño, la temperatura del agua, la contaminación que se tenga en el lugar. Debido a estos datos se puede determinar el nivel mínimo de oxígenos requerido en una fuente. Se sugieren que 4-5 mg/l de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportara una gran y diversa población de peces según Montero, (2015). El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 mg/l. (Montero, 2015).

En relación con las implicaciones el agua del tramo 3 del Río Botello y La norma Colombiana resolución 650 de 2017, establece que el oxígeno disuelto debe ser mayor o igual a 4.0 mg/L para fuentes de agua aceptable (Económico, 2017) según la **Gráfica 22**, se puede evidenciar que el OD en la parte baja es menor en referencia a la parte media y alta del río, esto puede deberse a la alta actividad de la agricultura por parte de las personas que tienen su dependencia del recurso hídrico en el lugar, los valores obtenidos encuentran por debajo a los dictados por la WHO y la resolución 650 para algunos casos según la época del año. Para épocas de lluvia los valores de OD en las tres partes del río son muy cercanos a los 10 mg /L esto determina la poca contaminación que puede tener este río en la parte alta. Además, se debe tener en cuenta que a este tramo le ayudan los saltos hidráulicos que se tienen desde la parte alta hasta la parte baja que ayudan a oxigenar el agua.





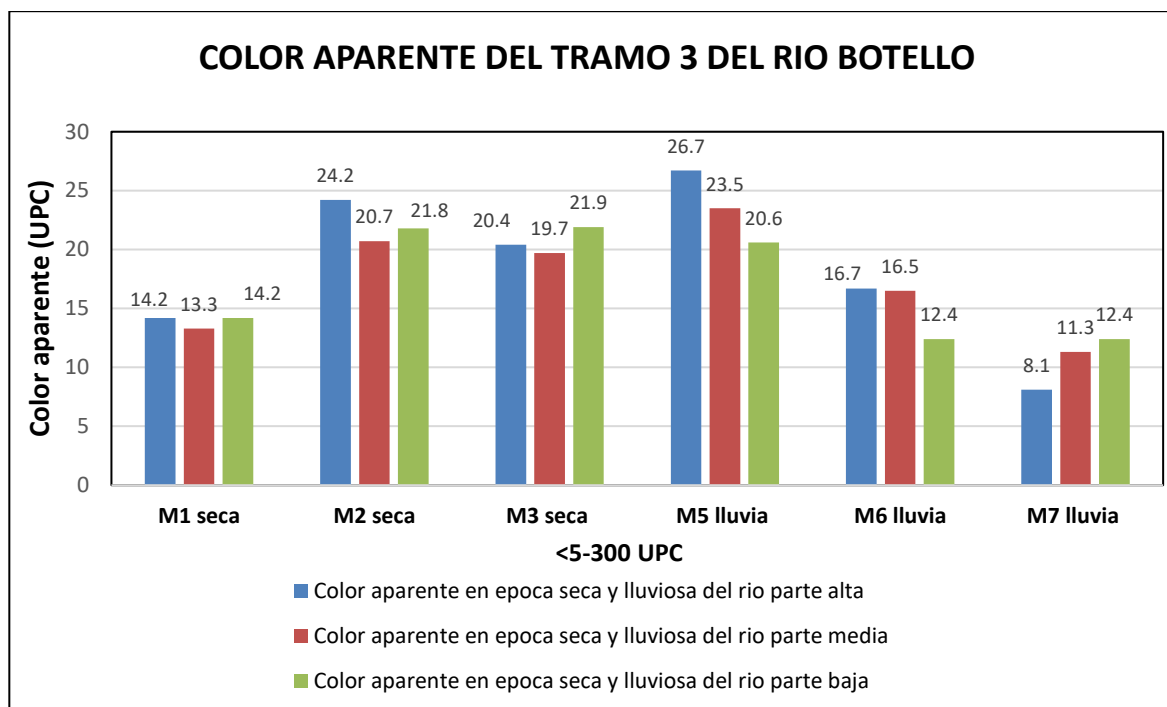
*Gráfica 23:* Fosfatos en el tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

Por lo general el agua tiende a presentar cierta cantidad de fosfatos. Estos son necesarios como nutrientes para la vida acuática. Además, es un limitante del crecimiento de diferentes especies dentro de las fuentes superficiales naturales. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos que hacen la propagación de una sola especie de macrófitas que se comportan como plagas en los espejos de agua. Se debe tener presente que una de las fuentes principales de los fosfatos orgánicos son procesos biológicos que se desarrollan en la vida acuática normalmente. Las concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua según SIAC, (2010). El equilibrio de las diferentes formas de fosfatos que se pueden producir

en diferentes valores de PH en aguas superficiales naturales varía de 0.005 a 0.020 mg/l. Concentraciones tan bajas como 0,001 mg/l se pueden encontrar en algunos aguas cristalinas y tan altas como 200 mg/l en algunas aguas salinas cerrados. Las altas concentraciones de fosfatos pueden indicar la presencia de contaminación y son en gran parte responsable de condiciones eutróficas (WHO, 1996).

Teniendo en cuenta la WHO y SIAC, los fosfatos que se encuentran presentes en el tramo 3 del río Botello varían de 0.06 a 0.75 mg/l. donde se evidencia que durante la época de sequía están entre los niveles más bajos con respecto a los de época lluviosa debido a que la velocidad de corriente es menor dando así lugar al estancamiento de aguas en diferentes lugares permitiendo crecimiento de algunas plantas acuáticas. En la muestra número 6 de la **Gráfica 23**, se puede evidenciar que se tuvo el valor más alto en fosfatos en la parte baja donde se desarrolla el crecimiento de algas acuáticas, por tal motivo el agua no cumple en ningún punto el límite permitido de la cantidad de fosfatos ya que se presenta un alto contenido de este parámetro en el tamo, siendo responsable de las condiciones eutróficas y gran crecimiento de plantas acuáticas como se puede ver en la Estación 1(ver anexo 2).

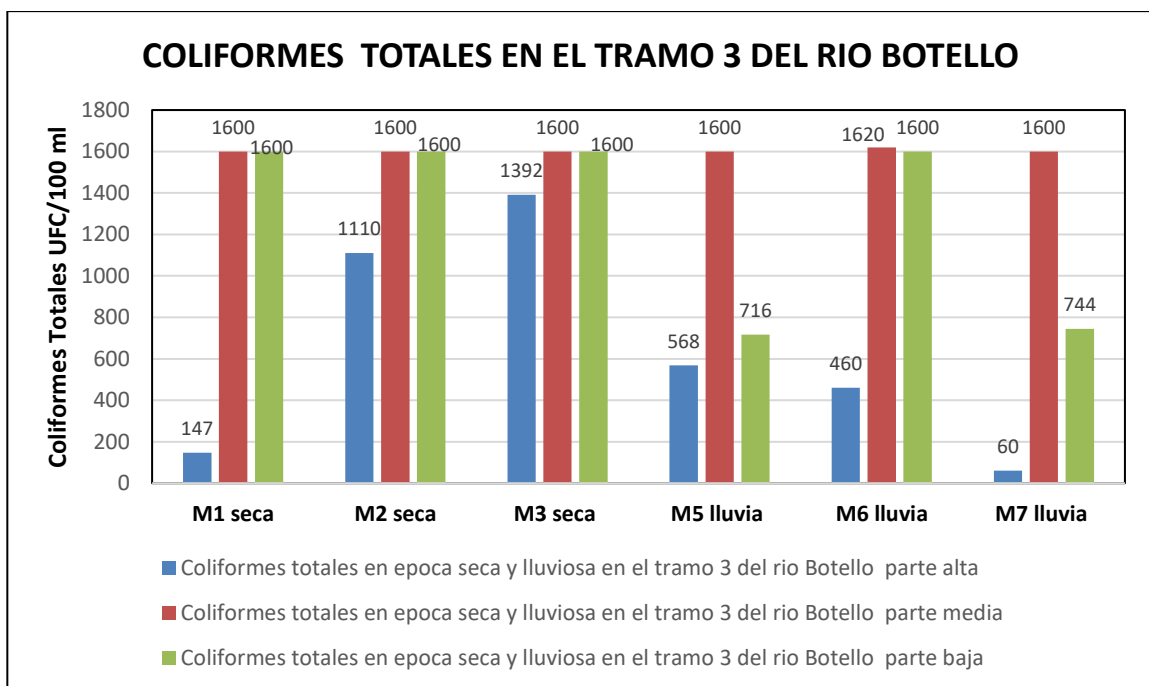


**Gráfica 24:** Color aparente del tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

En lo referente a color aparente según la WHO, las aguas naturales pueden variar desde  $< 5$  UPC (unidades platino cobalto) en aguas muy claras y en 300 UPC unidades en las aguas turbias, el color visible del agua es el resultado de las diferentes longitudes de onda no absorbidas por el agua misma o resultados de sustancias disueltas y partículas presentes o sustancias como los ácidos húmicos dan el color verdadero del agua, es por esta razón que las aguas contaminadas pueden presentar colores aparente bastante fuertes según Montero, (2015). Las diferentes especies de Fito y zooplancton también pueden dar al agua un color aparente, dando colores oscuros o azul- verde pueden ser causadas por algas, color amarillo o marrón por diatomeas o colores entre rojos y púrpuras por presencia de zooplancton como *Daphnia sp* o *copéodos* (WHO, 1996).

Por lo que respecta al color aparente del tramo 3 del río Botello en la **Gráfico 24**, se evidencia que en los ensayos realizados en la época de sequía los valores de color son muy cercanos a 15 lo cual indica que el color aparente de las muestras tenía baja presencia de sólidos suspendidos, ya que está en la parte alta de todo el río Botello en comparación con el tamo de la parte urbana del río. Cabe resaltar que, en esta parte del tramo se evidencia interacción con los procesos productivos y el cauce en cuanto a la ganadería y a los cultivos de la zona, sin embargo, no presenta una alta presencia de sólidos, esto con la ayuda de los saltos hidráulicos que se tienen, además, la velocidad del cauce para el transporte, arrastre de sedimentos y materiales que no alcanzan a precipitar al fondo del río.



*Gráfica 25:* Coliformes totales en el tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

Estas bacterias del género coliformes se encuentran en los intestinos de los humanos y de sangre caliente, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas, vegetales o desechos de alcantarillas según Montero, (2015). Los coliformes son un riesgo para la salud humana muestran la presencia de microorganismos causantes de enfermedades muchos de estos microorganismos se originan a partir por agua contaminada con excremento humano o por la escorrentía de las laderas de los ríos con heces de animales, estos patógenos pueden producir desde gastroenteritis leve a graves y posiblemente fatal disentería, cólera y tifoidea dependiendo de las enfermedades que pueda tener la comunidad (WHO, 1996). Los coliformes totales son las Enterobacteriaceae lactosa-positivas. Del grupo <<coliforme>> forman parte de varios géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Shigella*, *Enterotoxigénica* entre otros según la (WHO, 1996).

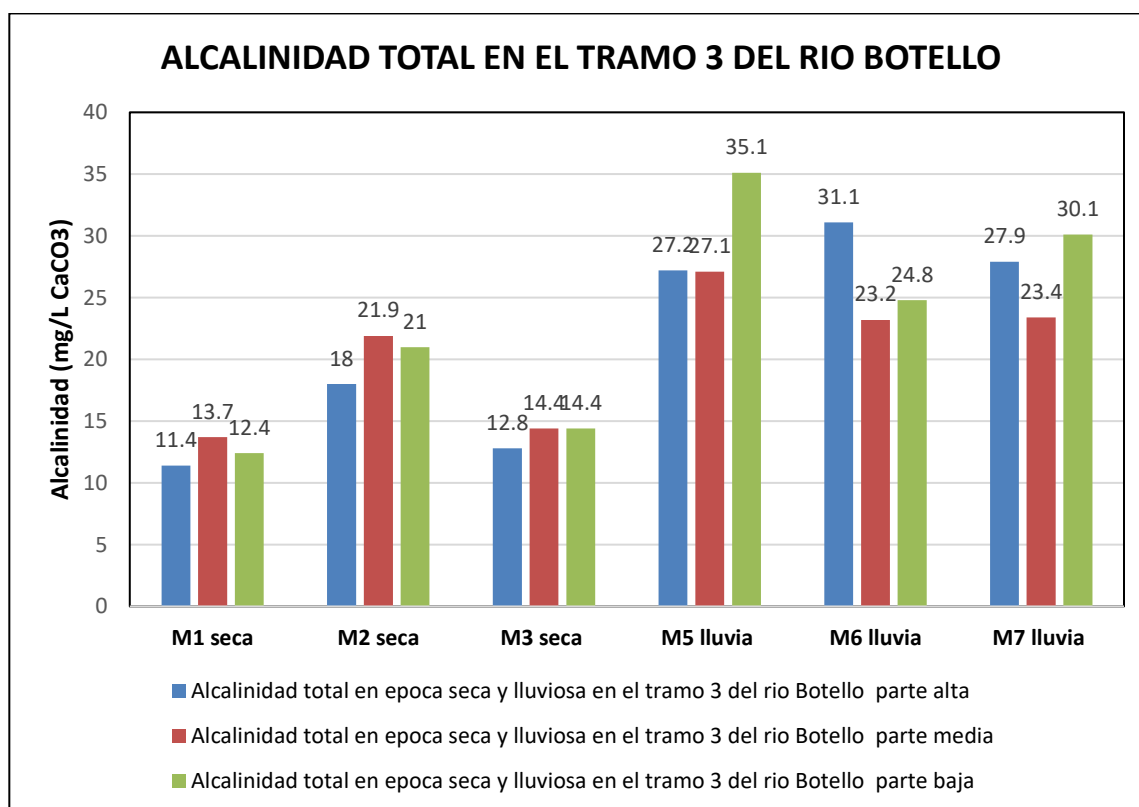
Generalmente estos se han considerado con bioindicadores biológicos en contaminación fecal de las aguas superficiales y de tal manera se debe controlar cuando las aguas son destinadas para el consumo de una población, por tanto, la ausencia o presencia de esta determina la calidad del agua en la parte biológica, si se tiene inexistencia de estos microorganismos se tendría un recurso biológicamente seguro.

Según Oswaldo y Fabián (2015) en su trabajo de investigación, y tomando a Munn establece que las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Entonces se puede decir que la contaminación del agua

con este tipo de microorganismos patógenos es de gran importancia para que aumente el riesgo sanitario, que perjudicarán la condición normal de la salud del ser humano. Con esta finalidad la WHO, (1996) no permite ningún valor de estos microorganismos patógenos en el agua, también rectifica que al menos de 103 coliformes por 100 ml el agua presenta poco riesgo de enfermedades intestinales, pero que aun así, está perjudicando el buen desarrollo de una calidad de vida a la comunidad. Este parámetro de calidad se relaciona directamente con los altos y bajos niveles de caudal dependiendo según la época de lluvia o de sequía, lo cual se verifico según el estudio que las diferencias de épocas influyen de una manera muy mínima en el cambio abrupto que podría verse reflejado según los arrates de material, como se puede evidenciar en la **Grafica 14** dada por el modelo se observa una pendiente de laderas muy bajas como de la parte alta hasta la parte baja.

De acuerdo en la **Gráfica 25**, en la primer muestra tomada para la época de sequía se observa que en la parte alta del tramo tan solo presenta 147 UFC /100 ml, esto demostrando así que esta sección del río tiene poca alteración con respecto a la parte media y baja que presentaron valores de 1600 UFC /100ml, demostrando que parte de los pobladores que allí se encuentran depositan algunas de sus heces directamente al cauce, además, se evidencia algunos animales bovinos y equinos cerca de las orillas donde consumen el agua directamente y muy probablemente depositan sus excrementos cerca al cauce principal el cual es arrastrado después por la lluvia, luego en las dos muestras tomadas en la misma época se suben los valores de coliformes totales estableciéndose por encima de las 1000 UFC /ml debido a la estanqueidad del fluido en esta temporada de sequía que no permite la circulación rápida de

los patógenos, en la época de lluvia los parámetros de parte media y baja son altos debidos a la alta escorrentía de las zonas de pastoreos entre otros aspectos que alteran la calidad del agua e incrementan los coliformes totales.



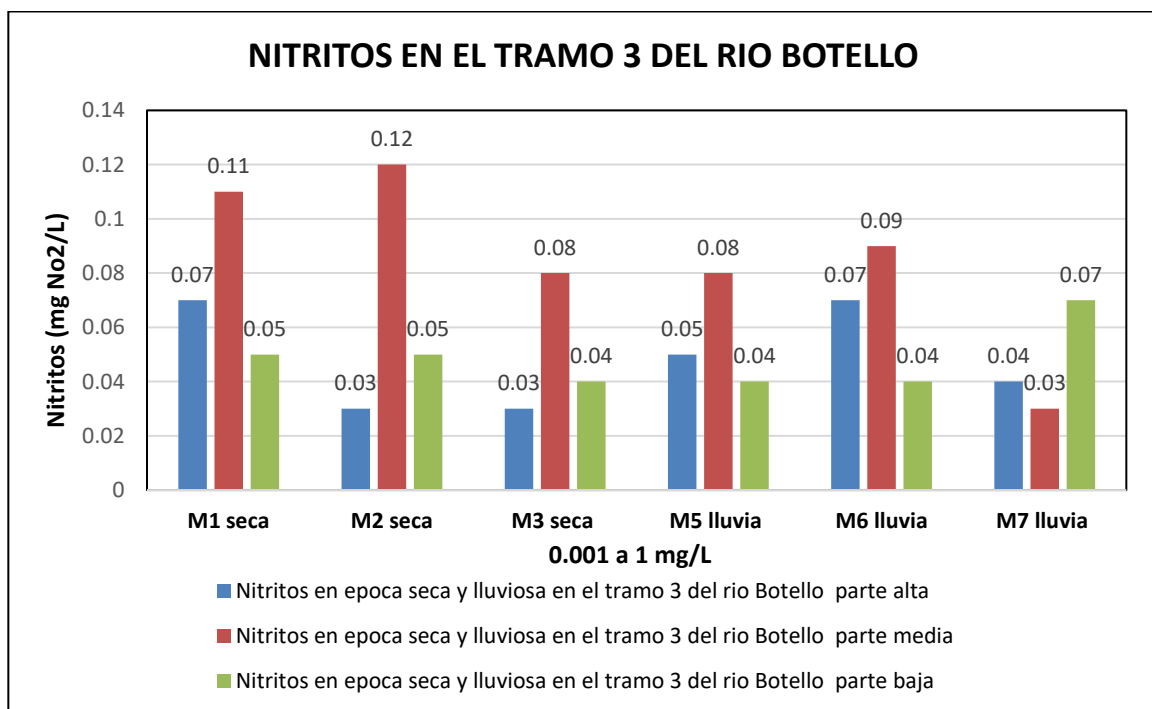
*Gráfica 26:* Alcalinidad total en el tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

La alcalinidad del agua está controlada por la suma de bases de bases titulables, indica la concentración de carbonato, bicarbonato e hidróxido, este puede contribuir borato, fosfatos, silicatos, y otros compuestos básicos las aguas de baja alcalinidad tienen valores menores a

los 24 mg/L CaCO<sub>3</sub>, presentan una baja amortiguación y capacidad y por lo tanto puede tener fácilmente alteraciones en el pH (WHO, 1996).

Según la **Gráfica 26** los valores de alcalinidad total en la primera sección de época sequía los valores cumplen lo relacionado por la WHO y en el segundo muestreo de la misma manera, pero si vemos los valores obtenidos en época de lluvia los valores están por encima del rango esto es debido al arrastre de material de silicios y silicatos que forman las sales derivadas. Lo cual no pasa en época de sequía que los valores se mantienen estables en toda la parte del tramo tanto como la parte alta, media y baja.



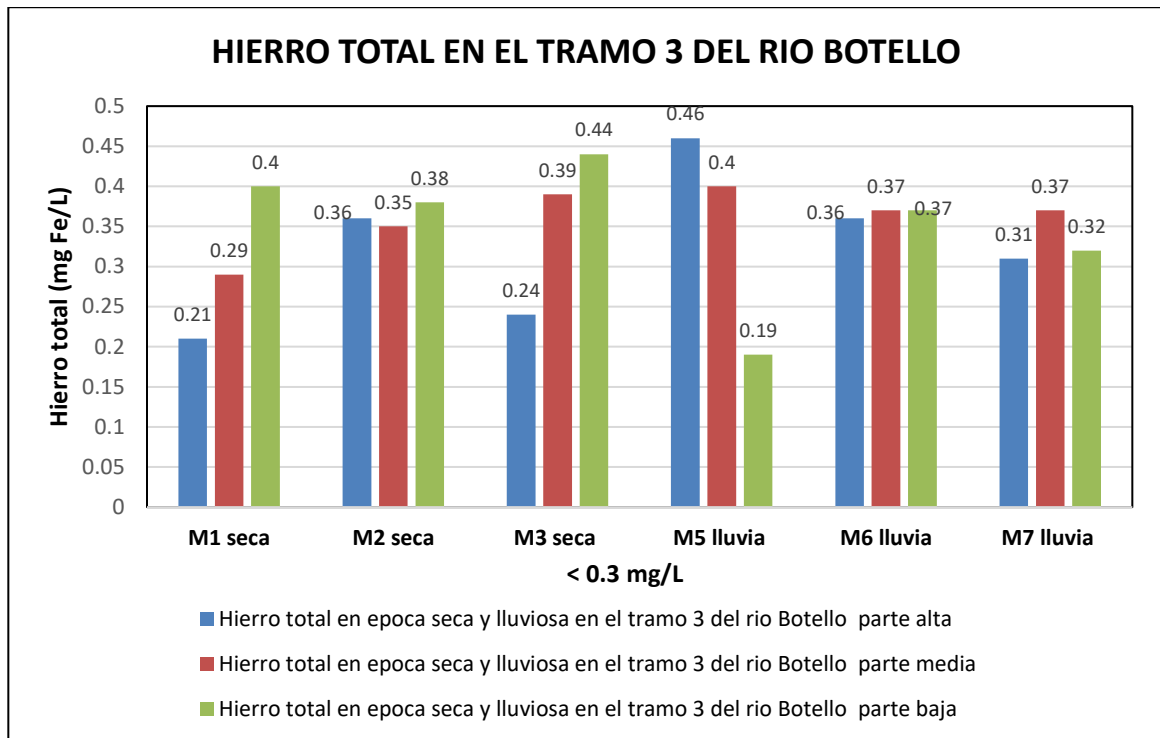
*Gráfica 27:* Nitratos en el tramo 3 del río Botello.



**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

Según la WHO las concentraciones de los nitritos en aguas dulces son en su mayoría muy bajas teniendo valores entre 0.001 mg/L de NO<sub>2</sub> y en raras ocasiones se tienen valores de 1 mg /l. estas altas concentraciones de nitritos son generalmente indicadores de efluentes industriales y a menudo se asocia con una calidad microbiana insatisfecha de calidad de agua. En diversas ocasiones los nitratos y nitritos indican una carga en el nivel contaminante orgánico.

Según la **Gráfica 27**, en la mayoría de las muestras sin importar la época presentan valores por debajo de lo que la WHO recomienda esto es debido a la alta presencia de industrias a las orillas del río, como lo es la empresa de purinas para felinos subiendo por la tribuna, tan solo en la parte baja del río se puede ver que los valores disminuyen con respecto a las otras zonas, esto es debido a la alta eutrofización que tiene el tramo por la biota que está allí presente y al igual, que al proceso de desnitrificación siendo realizado por las bacterias heterótrofas presentes en el tramo.



*Gráfica 28:* Hierro total en el tramo 3 del río Botello.

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP,2020.

La presencia de hierro en solución acuosa depende de las condiciones ambientales de cada zona, esto es responsable de la oxidación y reducción de algunos elementos que se encuentran en los sistemas acuáticos, para un fluido de agua superficial que está aireada no debe contener más de unos pocos microgramos por litro de hierro disuelto, cabe resaltar que el hierro se origina primordialmente por soluciones en sitios ya se en reducción de hidróxidos férricos u oxidación de sulfuro ferroso donde el proceso es influenciado por la actividad microbiana (SIAC, 2010). Para este caso de agua superficial natural se tiene en cuenta el rango dado por la (WHO, 1996) rango máximo permitido con un valor de  $0.3 \text{ mg/L}$ .

Según la **Gráfica 28**, en la parte baja del tramo independiente de la época donde se toma la muestra está por fuera del rango permitido, tan solo en la muestra 5, época de lluvia presenta un valor de 0.19 el cual está por debajo del nivel permitidos esto es debido al arrastre de material y movimiento repentino del flujo por una lluvia fuerte. En las 2 primeras muestras los valores están muy cercanos a los permitidos esto es efecto de las condiciones ambientales de la época por lo que en sequía la materia orgánica arrastrada es baja y los procesos de descomposición disminuye notablemente en comparación con la época de lluvia.

**Tabla 9:** Resumen de los parámetros evaluados.

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE	VARIABLE
PH			
TURBIEDAD			
CLORUROS			
OD			
FOSFATOS			
COLOR APARENTE			
COLIFORMES TOTALES			
ALCALINIDAD TOTAL			
NITRITOS			



---

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

### ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA DE UNA VÍA

Para el análisis de varianza ANOVA de una vía se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de tres o más grupos, es de una vía porque tenemos una única variable explicativa o predictor, también llamada variable independiente se tiene en cuenta el procedimiento de (Reyes, 2004).

El ANOVA de un criterio permite poner a prueba hipótesis tales como:

Hipótesis nula,  $H_0$ : las medias de los grupos son iguales.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \quad (26)$$

Hipótesis alternativa, alguna de las medidas es distinta

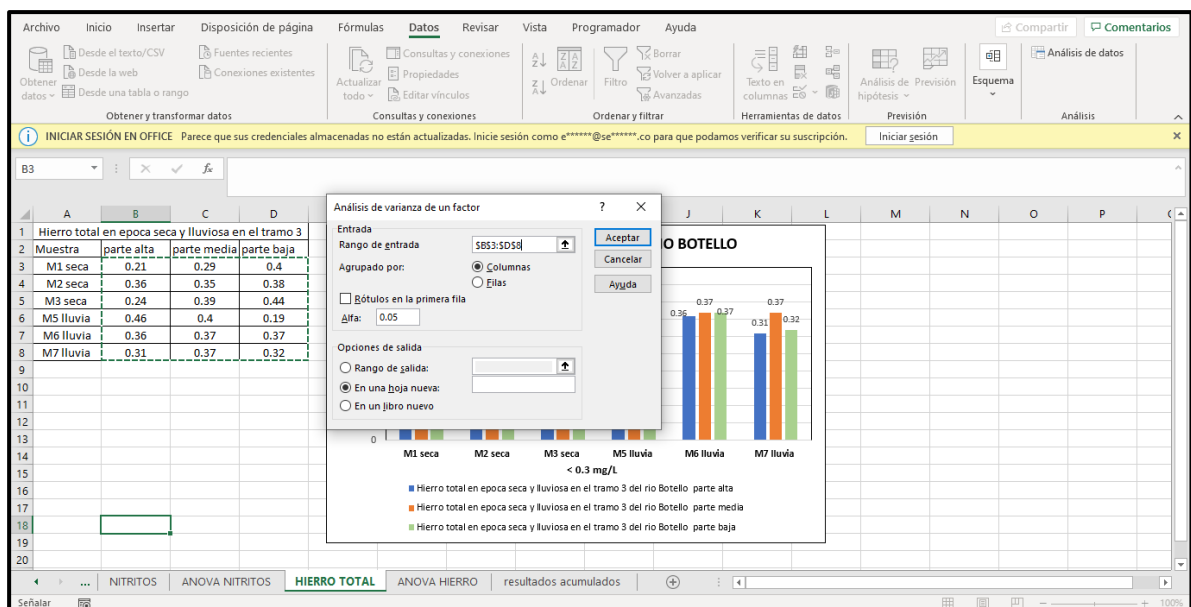
$H_1$ : alguna  $\mu_i$  es distinta

El procedimiento es el siguiente:

Lo primero que se debe hacer es identificar si las muestras provienen de poblaciones normales, en segundo lugar se proponen las hipótesis para poder encontrar las medias poblacionales y las varianzas como cuarto paso se tiene el cálculo de la estimación de la varianza al interior de las muestras y los diferentes grados de libertad que podemos hallar,

para así calcular la varianza entre muestras y sus grados de libertad, como siguiente paso sería el valor estadístico F para identificar el valor crítico para F basado en los grados de libertad y poder hallar si la hipótesis es nula o alternativa. (Rodrigo, 2016)

Para realizar el procedimiento en Excel en el menú herramientas seleccionar la opción Datos, luego dar clic en la función análisis de datos y seleccionar análisis de varianza de un factor, lo cual da en pantalla una imagen que puede observarse en la **Figura 17**.



**Figura 17:** Proceso Análisis de varianza de un factor.

**Fuente:** Autores, 2020.

- En el rango de entrada se seleccionan los datos que se quieren analizar.
- Alfa sería igual a 0.05

Teniendo presente que el rango de salida es el indicador donde se inicia la presentación de los resultados. En este análisis se encuentran dos hipótesis la nula y la alternativa, además de

otras operaciones estadísticas en la que se destaca la suma de cuadrados entre grupos, por tal caso cuando alfa es mayor que 0.05 se acepta la hipótesis nula y se dice que hay diferencias significativas y se procede a rechazar la hipótesis alterna. Pero, si se acepta la hipótesis alternativa los resultados presentan una diferencia muy baja.

Finalmente, a continuación, podemos encontrar un análisis ANOVA para un parámetro de calidad del agua, los otros resultados de este análisis se encuentran en el **Anexo 5**.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	1.94	0.32333333	0.00826667		
Columna 2	6	2.17	0.36166667	0.00153667		
Columna 3	6	2.1	0.35	0.00768		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrado	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.00463333	2	0.00231667	0.39752145	0.67885711	3.68232034
Dentro de los grupos	0.08741667	15	0.00582778			
Total	0.09205	17				

**Figura 18:** ANOVA para el hierro Total.

**Fuente:** Autores, 2020

En la **Figura 18** se puede observar que el estadístico F es considerablemente menor que el valor crítico para F siendo  $0.3975 < 3.6823$ , por tal motivo se rechaza la hipótesis nula. En conclusión, se podría decir que el análisis ANOVA sirve para comparar varios grupos de valores en una variable cuantitativa a la variable categoría o nominal.

Con un valor de probabilidad = 0.6789 se acepta la hipótesis nula y se identifican diferencias significativas entre los datos analizados.

Los valores de los ANOVA para los demás parámetros analizados se pueden encontrar a continuación

**Tabla 10:** ANOVA para los parámetros de la calidad del agua en el tramo 3 del río Botello.

PARÁMETRO	Probabilidad	HIPÓTESIS
<b>PH</b>	0.62695	NULA
<b>TURBIEDAD</b>	0.60711	NULA
<b>CLORUROS</b>	0.92022	NULA
<b>OD</b>	0.61449	NULA
<b>FOSFATOS</b>	0.85082	NULA
<b>COLOR APARENTE</b>	0.92914	NULA
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	0.00221	ALTERNATIVA
<b>ALCALINIDAD TOTAL</b>	0.86646	NULA



---

<b><i>NITRITOS</i></b>	0.01604	ALTERNATIVA
<b><i>HIERRO TOTAL</i></b>	0.67885	NULA

**Fuente:** Autores, 2020

En la **Tabla 10** se tiene que la mayoría de los análisis de datos arrojaron hipótesis nula, verificando que hay diferencias significativas entre los parámetros analizados debido a los efectos de la variabilidad climática a cada uno de ellos, de igual forma se puede relacionar las diferencias de tiempos de toma de muestras de cada punto, entre otros factores que pueden influenciar. Se obtuvo que hierro total y coliformes totales dan resultados de hipótesis alternativas estos se relacionan al poco cambio que se tiene durante el tramo además que no sufren variación significativa por las condiciones climáticas que presenta el lugar.

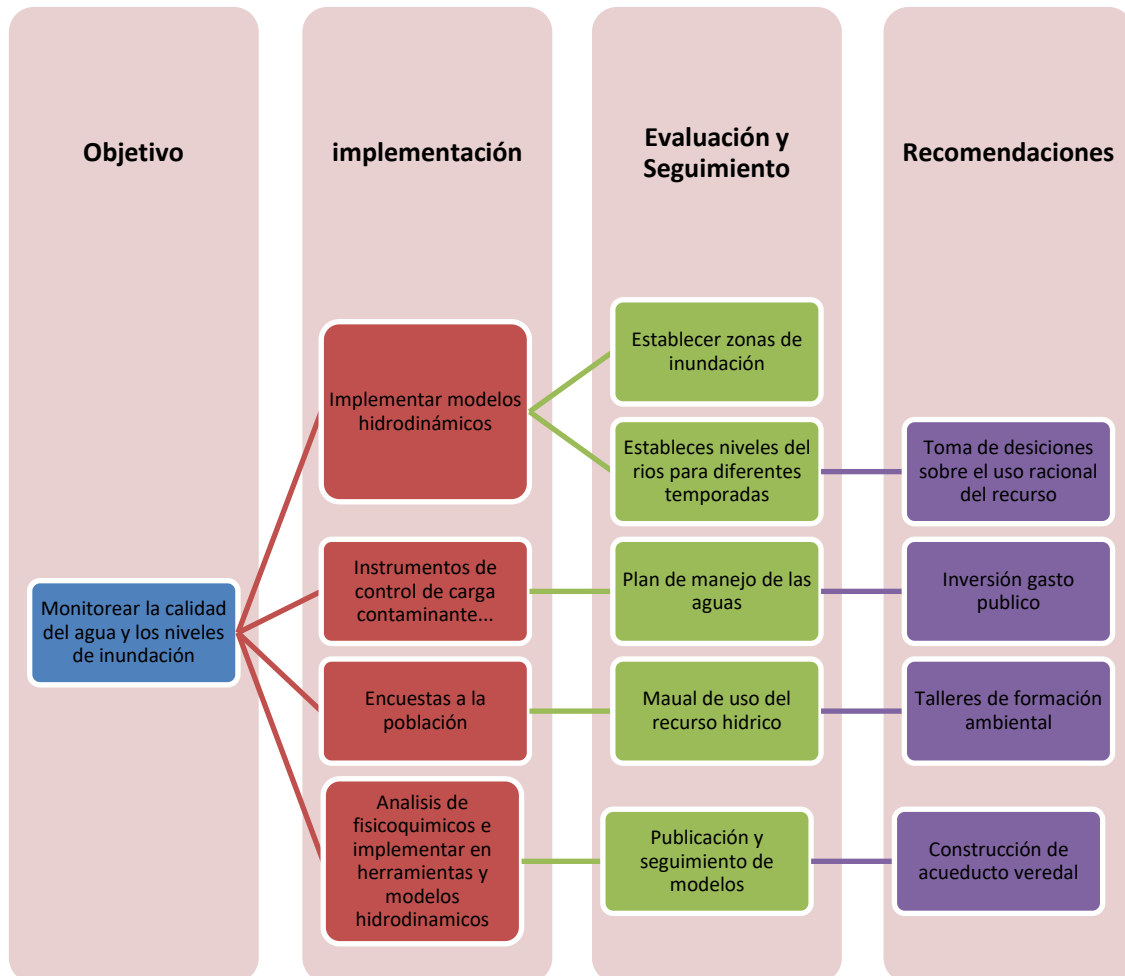
## **ESTRATEGIA PARA EL ÁREA DE GESTIÓN AMBIENTAL**

En vista de los mayores costos que se pueden derivar por el tratamiento óptimo de la calidad del agua entregada por el acueducto a la red de distribución para el municipio de Facatativá, el gobierno local debe invertir más en el mantenimiento y conservación de la microcuenca Río Botello y en especial en la parte alta en lo que corresponde al tramo tres en estudio, debido que, este tramo es el responsable de abastecer una parte fundamental del recurso hídrico que se potabiliza en el acueducto y por ende se tendrá un gasto adicional en el suministro de insumos para obtener un agua en condiciones óptimas para el consumo humano. La alcaldía junto a la EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, deben trabajar conjuntamente en la preservación y conservación de la microcuenca basando sus objetivos el monitoreo continuo para la reducción del impacto a causa de la actividad antrópica que pueda presentarse en la zona además de afectar negativamente el valor del río en su calidad de fuente natural, teniendo los resultados obtenidos para las muestras tomadas, se observó

parámetros con valores fuera de los rangos establecidos para una fuente superficial natural, como son los valores presentados para coliformes totales, se presume que son valores alterados por conexiones erradas a causa de actividades realizadas por la comunidad . De igual manera se deben planificar los proyectos para recuperar zonas de compensación ecológica a lo largo del cauce por medio de la siembra de especies vegetales endémicas del lugar, esto con el fin de ofrecer una mejor estabilidad al recurso hídrico, mantener y mejorar los procesos biológicos del sistema acuático. Adicionalmente, disminuir la erosión que se presenta como afectación directa por la actividad agrícola circundante al tramo de estudio. En búsqueda de mejorar la calidad de la microcuenca, los actuales receptores de aguas que se benefician del cauce principal, para los procesos de riego en sus cultivos deben gestionar un permiso de concesión de aguas superficiales ante la CAR, donde se comprometan con la reforestación total de la ribera y el cuidado del río con ayuda de los profesionales puestos por el acueducto y la alcaldía esto con objetivo de reducir los impactos negativos y mejorar las condiciones naturales del Río.

Un corredor biológico alrededor del río contribuirá a la amortiguación de diversas inundaciones que pueden presentarse en épocas de invierno en la parte baja del tramo 3, dónde se vería con una mayor afectación según los resultados obtenidos en el modelo realizado por Hec Ras 5.0.3. Haciendo uso de las herramientas de modelización de cauces se debe intensificar el monitoreo de estos cauces que son de gran importancia para el municipio y para la población aledaña de la ribera del río que se pueda ver afectada afectar drásticamente por inundaciones en épocas de lluvia.

## Estrategia: “Uso de modelos hidrodinámicos y de calidad del agua para la toma de desiciones”



## CONCLUSIONES

1. Se realizó la modelación hidrodinámica del tramo 3 del río Botello mediante la implementación y las facilidades que brinda el programa HEC-RAS 5.0.3 dónde a su vez se llevó cabo el análisis de la calidad del agua; generando así un modelo que puede ser aplicado en diferentes épocas del año según la necesidad y las alertas que puedan presentarse, tanto para la agricultura circundante a la microcuenca como para los programas de ordenamiento territorial para el adecuado uso del suelo.

- 1.1. Por medio de esta investigación se realizó el modelo hidrodinámico del tramo 3 del río Botello con el cual se brinda una herramienta para el análisis de los escenarios hipotéticos en situaciones de emergencia, que puedan presentarse en el cauce y su periferia en diferentes épocas del año. Así como herramienta principal la modelación para la prevención de inundaciones en sectores productivos, de vivienda u otras actividades que se lleven a cabo.

- 1.2. Mediante los resultados obtenidos para la calidad del agua presente en el tramo 3 del río Botello se puede deducir que la calidad cumple en un 50% acorde a los parámetros analizados y a la norma empleada para cuerpos de agua superficial natural, obteniendo un agua con calidad no óptima para el consumo humano esto brinda información de interés para entidades como Aguas de Facatativá en orden de implementar una optimización de los procesos que allí se llevan cabo de igual forma poder analizar la posible presencia de conexiones erradas que puedan presentarse en el curso del cauce.
- 1.3. Observando los resultados satisfactorios obtenidos en la presente investigación mediante la modelación hidrodinámica y el análisis de calidad del agua, estos pueden ser implementados para la estimación de las elevaciones y niveles del flujo en función de los factores climáticos, a la par de forma hipotética para simulación de escenarios que contribuyan a la prevención de emergencias de inundación y/o contribuyan al sector productivo agrícola y habitantes que habiten en la áreas circundantes a la microcuenca.

# BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Facatativa . (Noviembre de 2018). *EJECUCIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO "RECUPEREMOS A FACATATIVA 2016-2019"*. Obtenido de DIRECCIÓN ESTRATEGICA RENDICIÓN DE CUENTAS A LA CIUDADANIA FORMATO INFORME DE GESTIÓN:

[https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000413/20602\\_disfr14-rendicion-de-cuentas-2018ilovepdfcompressed.pdf](https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000413/20602_disfr14-rendicion-de-cuentas-2018ilovepdfcompressed.pdf)

Amarís Castro, G. E., Guerrero Barbos, T. E., & Sánchez Ortiz, E. A. (6 de Septiembre de 2014).

*Comportamiento de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y aproximaciones para diferentes condiciones en régimen permanente y variable*. Obtenido de Universidad Francisco Jose de Caldas :

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/9017/10374>

Antonio Paiba, A. O., & Monroy Avila , E. F. (2 de Enero de 2015). *Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia*. Obtenido de UNAD:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1272>

Asamblea Nacional Constituyente. (2019). *CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991*.

Obtenido de Congreso de la República de Colombia :

<http://www.secretariassenado.gov.co/index.php/constitucion-politica>

Askoa Ibisate González de Matauco. (Julio de 2004). *ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA Y DE LA RED DE DRENAJE DEL RIO ZADORRA Y SUS AFLUENTES APLICADO A PELIGROSIDAD DE CRECIDAS*. Obtenido de Universidad del país Vasco:

<http://age.ieg.csic.es/boletin/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>

Bladé, E. (2009). *Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable*. Barcelona :

Primera edición .

Bolaños, J. D. (2015). Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica. *Pensamiento actual-Vol. 15- No. 25*, 60-73.

CAR . (2006). *Cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Obtenido de

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac25b19243a8.pdf>

Castro, G. E. (2015). Comportamiento de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y aproximaciones para diferentes condiciones en régimen permanente y variable.

*SCIELO*, 5-19.

Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos* . Bogotá, Colombia : Nomos S.A.

Const, C. p. (Julio de 1991). *Artículo 78*. Bogotá Colombia.

Colombia, U. n. (28 de enero de 2015). *Fundamentos sobre química ambiental en el agua*.

Obtenido de

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap\\_1+.pdf](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_1+.pdf)



---

Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (Febrero de 2019). *PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES*. Obtenido de MUNICIPIO DE FACATATIVÁ:

[https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000462/23054\\_plan-municipal-de-gestion-del-riesgo-de-desastres--facatativa-2018-v\\_17-p.pdf](https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000462/23054_plan-municipal-de-gestion-del-riesgo-de-desastres--facatativa-2018-v_17-p.pdf)

Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres CMGRD. (27 de Marzo de 2019).

*PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES*. Obtenido de [https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000462/23054\\_plan-municipal-de-gestion-del-riesgo-de-desastres--facatativa-2018-v\\_17-p.pdf](https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinamarca/content/files/000462/23054_plan-municipal-de-gestion-del-riesgo-de-desastres--facatativa-2018-v_17-p.pdf)

DANE. (2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas*. Obtenido de

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>

Delgado Parra , A. (Septiembre de 2016). *MODELIZACIÓN 1D, 1D/2D Y 2D DE LA*

*INUNDABILIDAD EN EL MEANDRO DE SANT BOI DE LLOBREGAT MEDIANTE LA APLICACION HEC RAS 5.0*. Obtenido de Escola de Camins:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100140/Modelizaci%C3%B3n%201D,%201D2D%20y%202D%20de%20la%20inundabilidad%20en%20el%20meandro%20de%20Sant%20Boi%20de%20Llobregat%20mediante%20la%20nueva%20aplicaci%C3%B3n%20Hec-Ras%205.0.pdf>

Economico, M. d. (2 de Octubre de 2017). *Resolucion 650 de 2017*. Obtenido de

[http://legal.legis.com.co/document.legis/2017?documento=legcol&contexto=legcol\\_62f8179e6425464db704897a20cd9179&vista=STD-PC](http://legal.legis.com.co/document.legis/2017?documento=legcol&contexto=legcol_62f8179e6425464db704897a20cd9179&vista=STD-PC)

FAO. (10 de Noviembre de 2008). *TOPOGRAFÍA Y ACUICULTURA DE AGUA DULCE*.

Obtenido de

[http://www.fao.org/tempref/Fl/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6707s/x6707s11.htm](http://www.fao.org/tempref/Fl/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s11.htm)

Fernández Cirelli, A. (Diciembre de 2012). *El agua: un recurso esencial*. Obtenido de Química

Viva, 11 No. 3: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Granados, L. F. (2013). Red de modelamiento y representación formal en matemáticas. En K. T.

Cognitek, *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero* (págs. 143-152).

Bogotá: editorial@ucentral.edu.co.

Gullén, T. A. (16 de Octubre de 2015). *Modelamiento bidimensional hidrodinámico del flujo y*

*transporte de sedimentos a través de río Calabí y obras hidráulicas*. Obtenido de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=52592>

Hernandez, J. (Septiembre de 2012). *Canales Abiertos*. Obtenido de

[file:///C:/Users/SURTIMOS%20E&F/Downloads/Hidr%C3%A1 Ulica%201%20Cap\\_3\\_Canales.pdf](file:///C:/Users/SURTIMOS%20E&F/Downloads/Hidr%C3%A1 Ulica%201%20Cap_3_Canales.pdf)

Herrero, L. J. (Noviembre de 2016). *Hacia ciudades y territorios inteligentes, resilientes y sostenibles*. Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?id=OoK7DQAAQBAJ&pg=PA56&lpg=PA56&dq=herrero+2000+sobre+poblacion&source=bl&ots=yq0RQmKNOB&sig=ACfU3U0g>

alUpqJ9X6aEuKktR5p1UA1F-  
4g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiQ6LDu797pAhUDm-  
AKHVACBdMQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=herrero%202000%20

IDEAM. (2008). *PROTOCOLO PARA LA EMISIÓN DE LOS PRONOSTICO HIDROLOGICOS*.

Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15016/ProtocoloEmision.pdf/7a801741-6e42-435b-aed4-669e30ef0e16>

IDEAM. (Febrero de 2020). *INICIO DE LA PRIMERA TEMPORADA DE LLUVIAS DEL AÑO 2020 EN COLOMBIA*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/0/comunicado+especial+N.7/4d5e462f-fd50-41f8-8dbd-8a3f72c714f8?version=1.0>

Mesa Tecnica Agroclimatica . (Enero de 2020). *Boletin Agro Climatico Nacional Edicion No. 61*.

Obtenido de IDEAM:

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96341417/Boletin+Agroclimatico+61+Enero+2020/2250553d-3b95-4c8a-a4fb-5c68ee9048af?version=1.0>

Ministerio de Desarrollo Economico. (Noviembre de 2000). *DOCUMENTACIÓN TÉCNICO*

*NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO*. Obtenido

de Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico :

[http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_a\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf)

Ministerio de Vivienda. (Mayo de 2014). *En Cundinamarca Minvivienda ejecuta obras por \$25.573*

*millones en el sector de agua y saneamiento básico*. Obtenido de Ministerio de Vivienda La

vivienda y el agua son de todos: <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de->

prensa/noticias/2014/mayo/en-cundinamarca-minvivienda-ejecuta-obras-por-\$25-573-millones-en-el-sector-de-agua-y-saneamiento-b%C3%A1sico

Montero, N. (2015). Calidad de aguas superficiales. *Revista Pensamiento Actual*, 65-69.

Ochoa, S., Reyna , T., Reyna , S., Garcia, M., Labaque , M., & Diaz , J. M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba. . *REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES, VOL. 3, NO.2,* 95-101.

ONU. (Octubre de 2014). *Decenio Internacional Para la Acción 'El Agua Fuente de Vida'*.

Obtenido de United Nations: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Palacio , C., Garcia , F., & Garcia , U. (Junio de 2010). *CALIBRACIÓN DE UN MODELO*

*HIDRODINÁMICO 2D PARA LA BAHÍA DE CARTAGENA* . Obtenido de SCIELO:

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n164/a16v77n164.pdf>

Ponce. (2015). *Fundamentos de la Hidráulica de canales*. Obtenido de Fundamentos de la

Hidráulica de canales: [http:/](http://)

[/site.ebrary.com/lib/bibliotecautplsp/detail.action?docID=](http://site.ebrary.com/lib/bibliotecautplsp/detail.action?docID=10844701&p00=hidrologia)

[10844701&p00=hidrologia](http://site.ebrary.com/lib/bibliotecautplsp/detail.action?docID=10844701&p00=hidrologia).

Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. (1998). *LA*

*APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL*

*ANÁLISIS DE RIESGO EN AMÉRICA LATINA*. Obtenido de Navegando entre

brumas: [https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb\\_cap02-LA\\_nov-](https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_cap02-LA_nov-09-2002.pdf)

[09-2002.pdf](https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_cap02-LA_nov-09-2002.pdf)

- 
- Reyes, P. (Noviembre de 2004). *ANALISIS DE VARIANZA DE UNA VÍA o DIRECCIÓN(ANOVA 1 VIA)*. Obtenido de ANALISIS DE VARIANZA DE UNA VÍA o DIRECCIÓN(ANOVA 1 VIA):  
[https://www.academia.edu/8504089/ANALISIS\\_DE\\_VARIANZA\\_DE\\_UNA\\_V%C3%8DA\\_o\\_DIRECCI%C3%93N\\_ANOVA\\_1\\_VIA](https://www.academia.edu/8504089/ANALISIS_DE_VARIANZA_DE_UNA_V%C3%8DA_o_DIRECCI%C3%93N_ANOVA_1_VIA)
- Rivera, G. (14-15 de Junio de 2009). *Pronósticos Hidrológicos*. Bogotá, Colombia .
- Rodrigo, J. A. (21 de Enero de 2016). *ANOVA de una vía para datos independientes*. Obtenido de [https://www.cienciadedatos.net/documentos/19\\_anova](https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova)
- Rodriguez, G. T. (12 de Noviembre de 2012). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico*. Obtenido de [www.zaragoza.es > pgouz > memoinfo > territo > medio](http://www.zaragoza.es/pgouz/memoinfo/territo/medio)
- SIAC. (27 de enero de 2010). *Calidad del agua superficial. principales variables de monitoreo de aguas superficiales*. . Obtenido de <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>
- Torres Bejarano, F., Padilla Coba , J., Rodríguez Cuevas , C., Ramirez Leon , H., & Cantero Rodelo, R. (Septiembre de 2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Science Direct*, Pages 163-172. Obtenido de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131515000310>
- Torres Quintero, E., & González Naranjo, E. (2010). *APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA HEC-RAS PARA LA EMISIÓN DE PRONÓSTICOS*

*HIDROLÓGICOS DE INUNDACIONES EN TIEMPO REAL*. Obtenido de Universidad

Libre:

<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista10/articulos/aplicaci%C3%B3n-del-modelo-de-simulacion-hidr%C3%A1ulica-hec-ras.pdf>

Valdivieso, F. O. (29 de Noviembre de 2014). *Hidrología. Universidad Técnica Particular de Loja*.

Obtenido de <http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/hidrologia.pdf>

Villegas Gonzalez, P., Ramos Cañon, A. M., González Méndez , M., González Salazar,

R., & De Plaza Solorzano, J. S. (Marzo de 2017). *Territorial vulnerability*

*assessment frame in Colombia: Disaster risk management*. Obtenido de

ScienceDirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420916305210#!>

V, C. (Marzo de 2004). *Hidraulica de canales*. Obtenido de

<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista10/articulos/aplicaci%C3%B3n-del-modelo-de-simulacion-hidr%C3%A1ulica-hec-ras.pdf%E2%97%8F%20CHOW.%20V.%20Hidr%C3%A1ulica%20de%20canales.%20Marzo%202004>.

WHO, U. U. (Septiembre de 1996). "Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota,

Sediments and Water in Environmental Monitoring. En S. A. UNITED

NATIONSEDUCATIONAL, *Guide to Use of Biota, Sediments and Water in*

*Environmental Monitoring*. (págs. 84-196 ). Londres : E&FN Spon, Behalf.

Zamudio Rodriguez, C. (28 de Noviembre de 2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en*

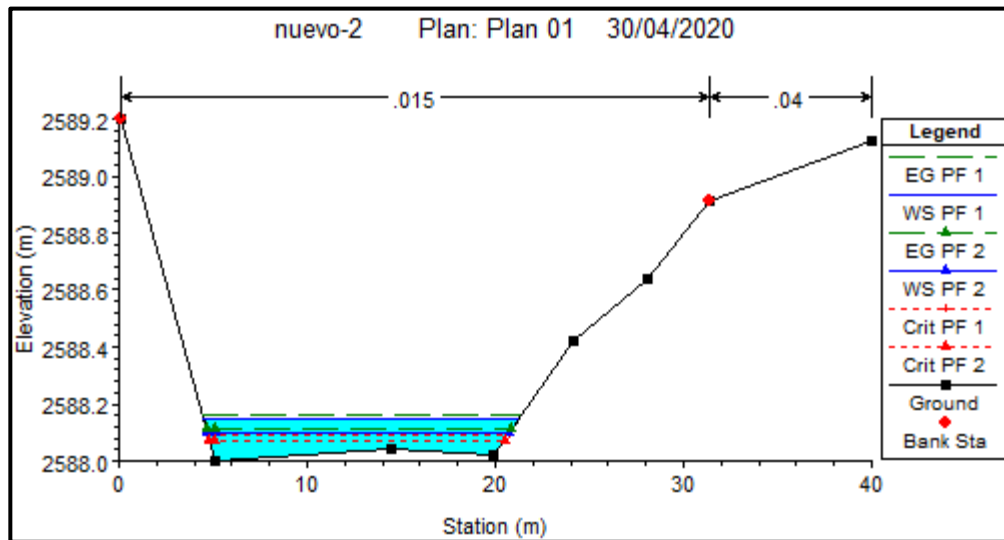
*Colombia: entre avances y retos*. Obtenido de Revistas UNAL:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284/42930>

# ANEXOS

## Anexos 1.

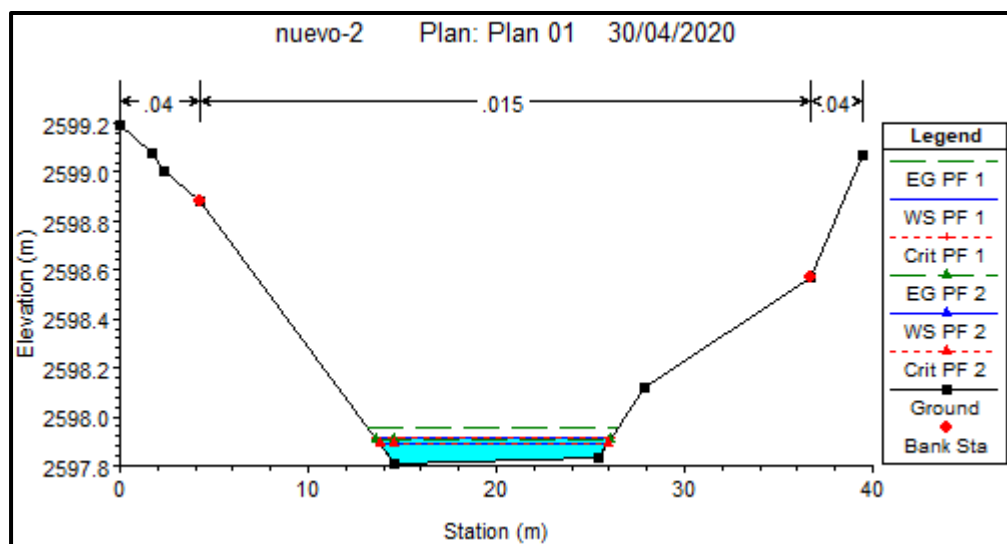
### Secciones transversales



*Gráfica 29:* Estación Sección transversal No.1 en temporada media.

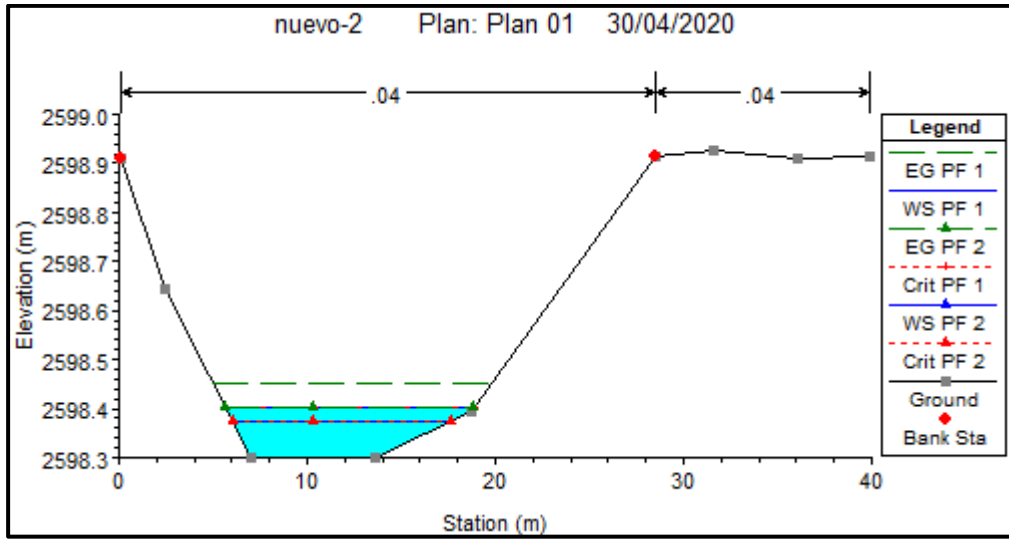
**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.





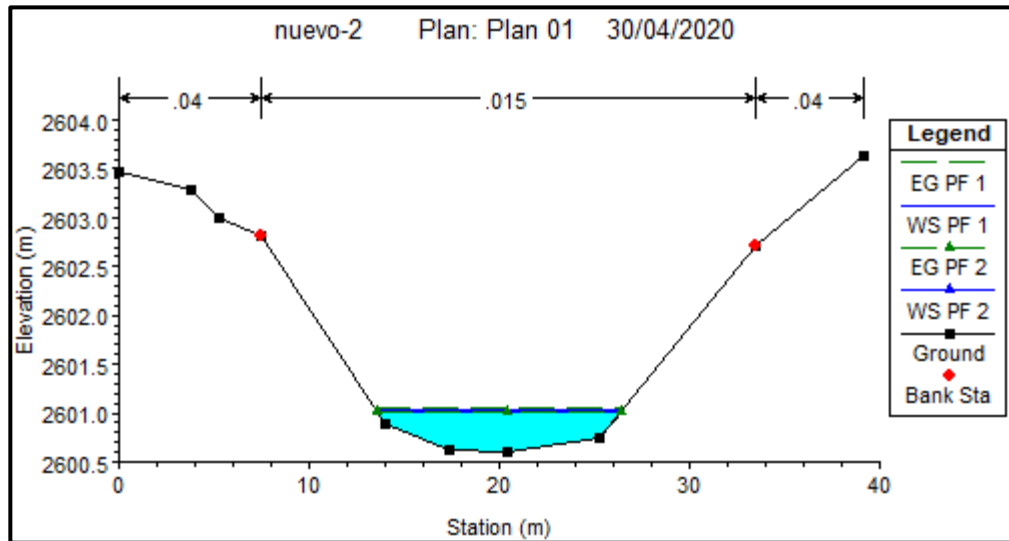
Gráfica 30: Estación 2 Sección transversal No.2 en temporada media.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3



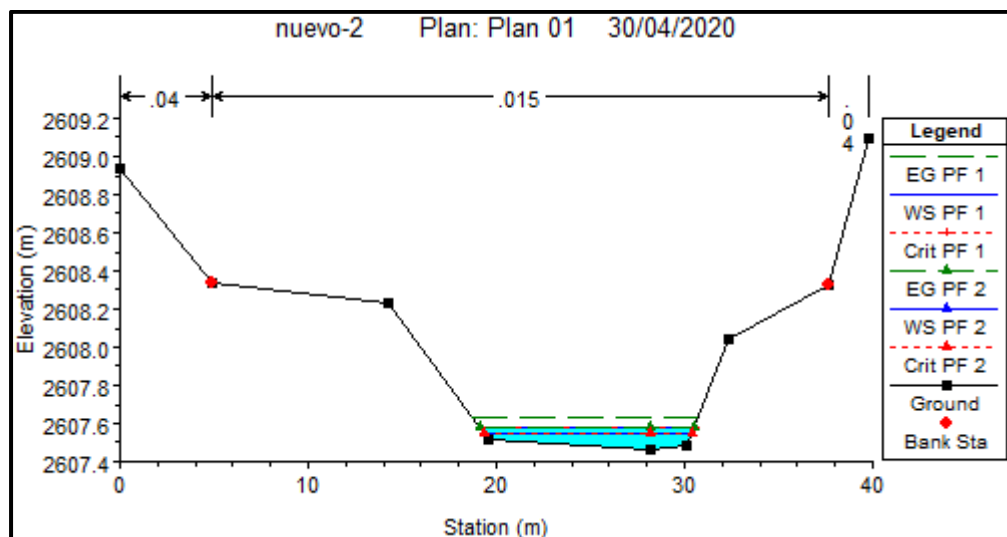
Gráfica 31: Estación 3 Sección transversal No. 3 en temporada media.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



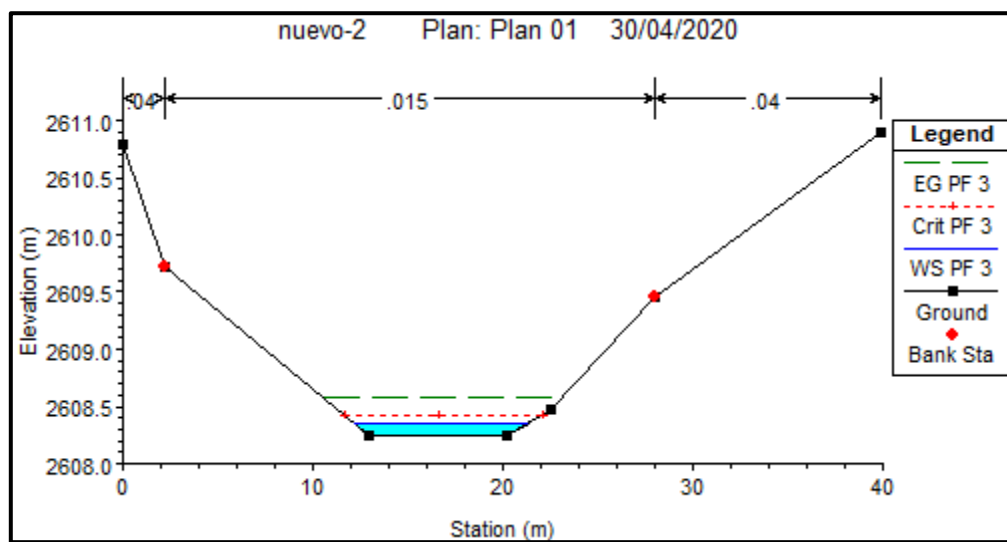
Gráfica 32: Estación 4 Sección transversal No.4 en temporada media.

Fuente: Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



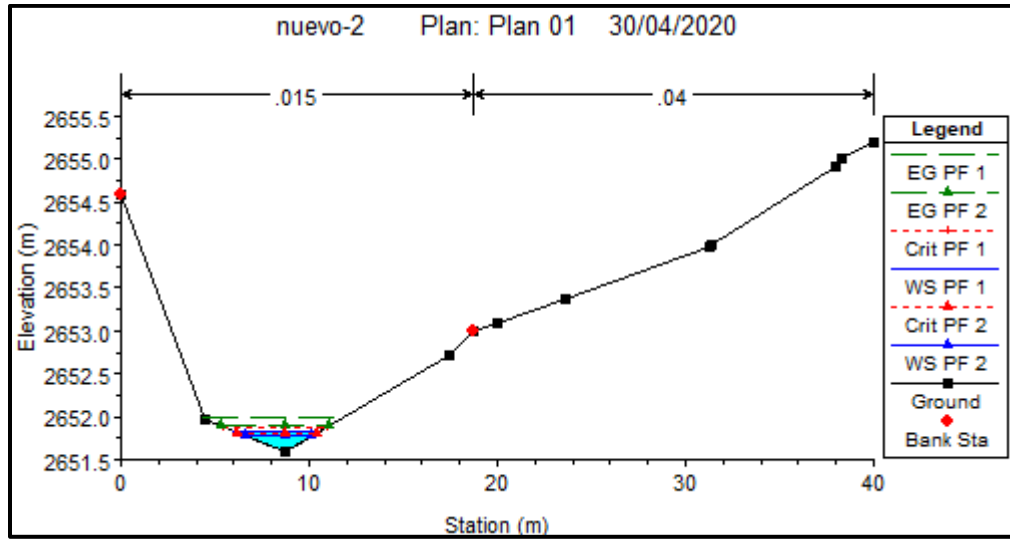
*Gráfica 33:* Estación 5 Sección transversal No. 5 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



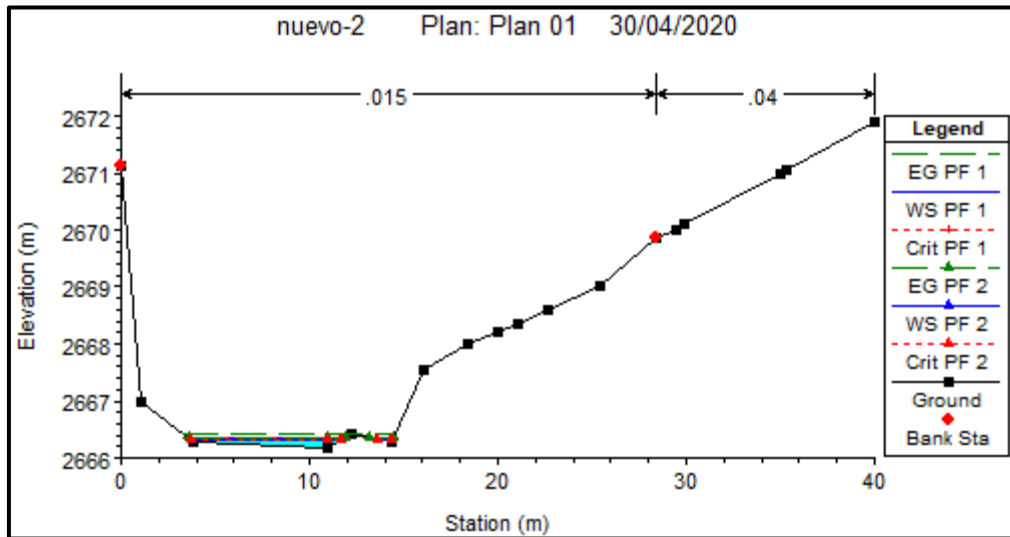
*Gráfica 34:* Estación 6 Sección transversal No. 6 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



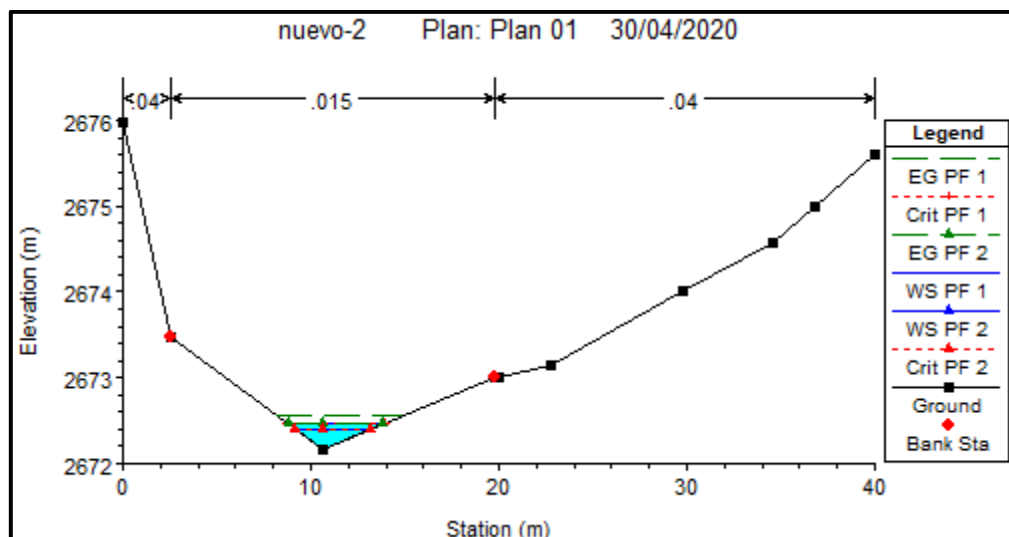
*Gráfica 35:* Estación 7 Sección transversal No. 7 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



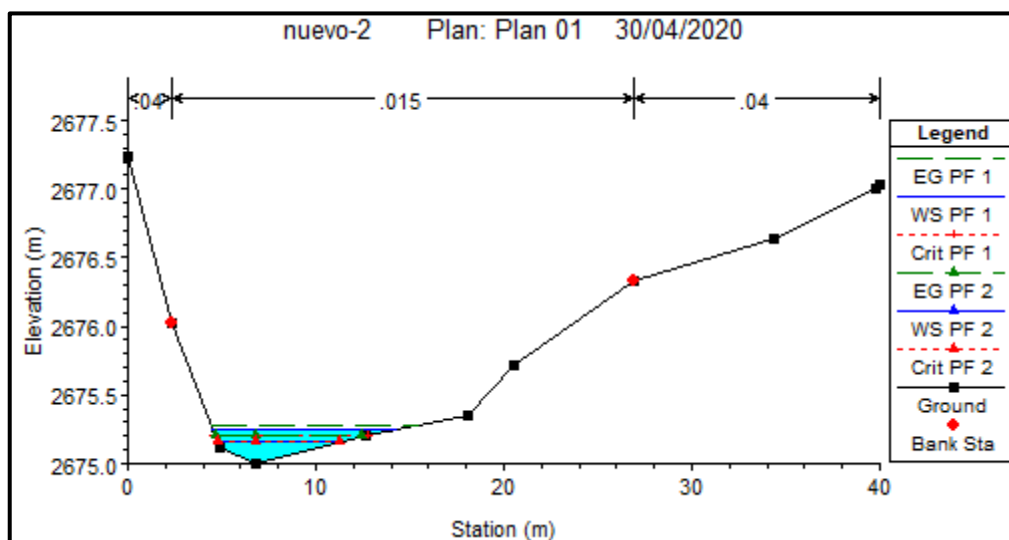
*Gráfica 36:* Estación 8 Sección transversal No. 8 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



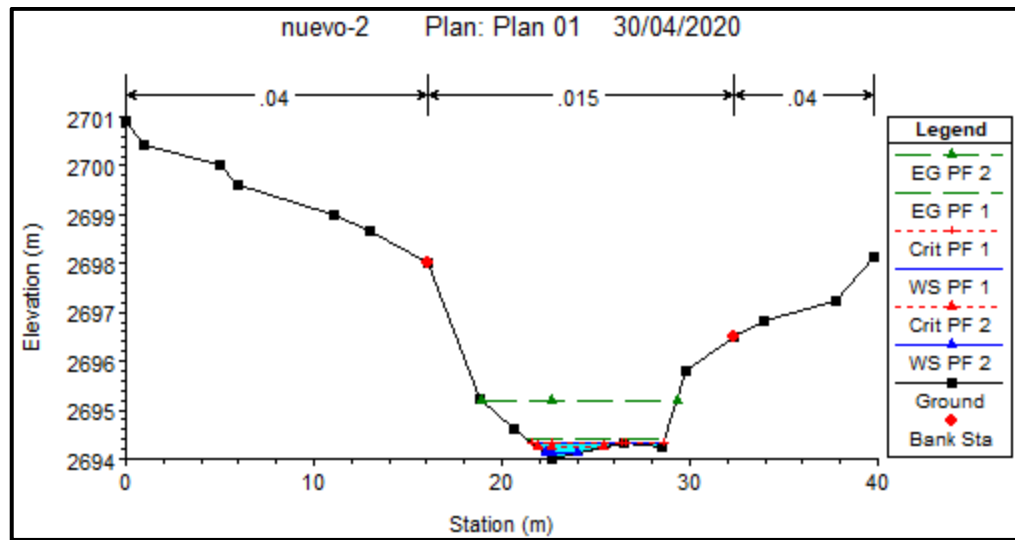
*Gráfica 37:* Estación 9 Sección transversal No. 9 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



*Gráfica 38:* Estación 10 Sección transversal No. 10 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



*Gráfica 39:* Estación 11 Sección transversal No. 11 en temporada media.

**Fuente:** Autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

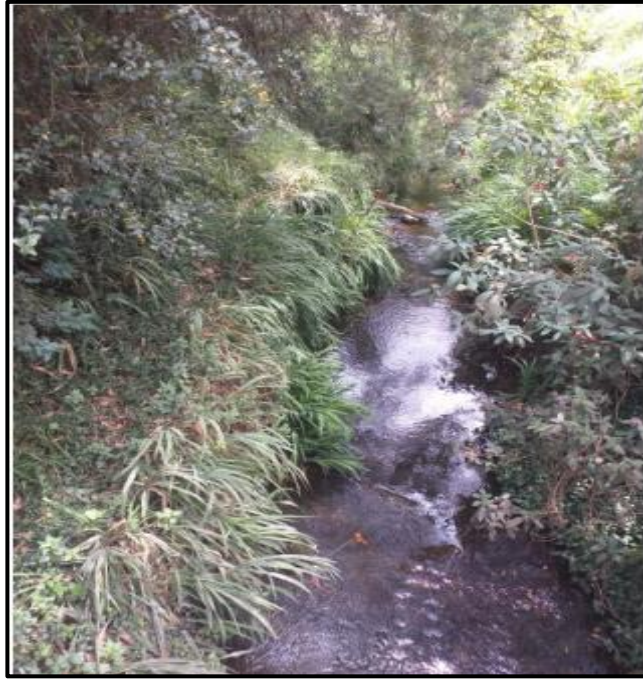
## Anexos 2.

## Lugar donde se ubicó cada sección transversal.



*Figura 19:* Estación 1 Sección transversal No.1.

**Fuente:** Autores, enero 2020



*Figura 20:* Estación 2 Sección transversal No.2.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.





*Figura 21:* Estación 3 Sección transversal No.3.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



*Figura 22:* Estación 4 Sección transversal No.4.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



**Figura 23:** Estación 5 Sección transversal No.5.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



**Figura 24:** Estación 7 Sección transversal No.7

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



*Figura 25:* Estación 9 Sección transversal No.9.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.





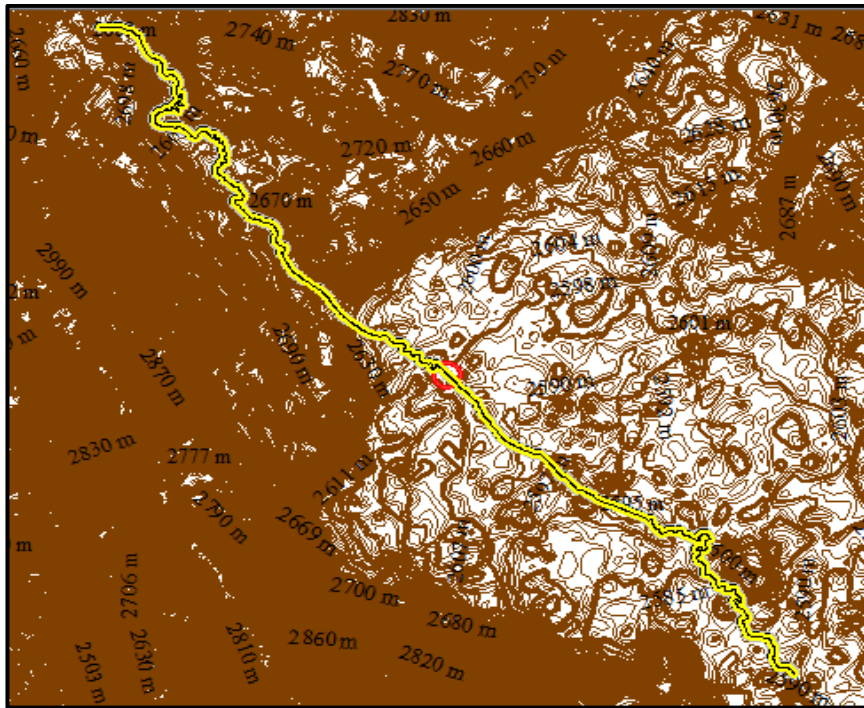
*Figura 26:* Estación 10 Sección transversal No.10.

**Fuente:** Autores, enero, 2020.



*Figura 27:* Estación 11 Sección transversal No.11.

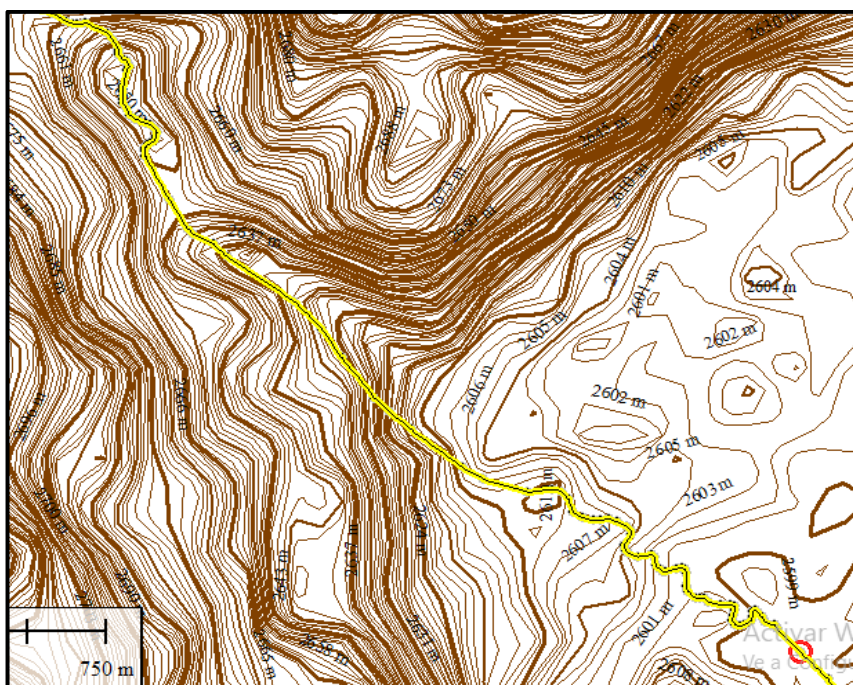
**Fuente:** Autores, enero, 2020.



**Figura 28:** Curvas de nivel del tramo 3 del Río Botello.

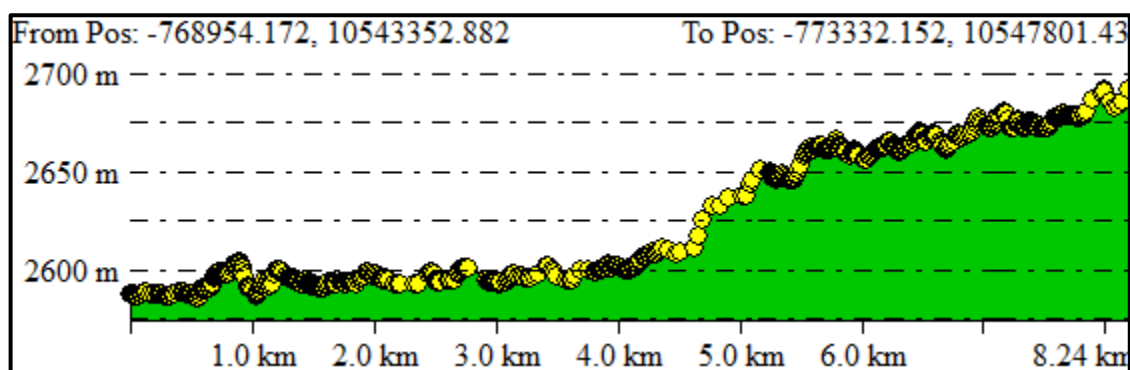
**Fuente:** Autores Global Mapper V18.2, 2020.





**Figura 29:** Curvas de nivel a cada 1 y 5 metros del tramo 3 Río Botello.

**Fuente:** Autores Global Mapper V18.2, 2020.



**Figura 30:** Perfil longitudinal del tramo 3 Río Botello.

**Fuente:** Autores Global Mapper V18.2, 2020.



					rio (m)				
		1	9.68	1	11.18	0	0.08		
		2	7.34	2	10.15	0.5	0.1		metros
		3	7.46	3	11.02	1	0.2	Ancho rio	4
Promedios			8.16		10.7833 333	1.5	0.15	Borde libre	2.2
		promedio tiempos			9.47166 667	1.8	0.05		
							0.116		

Fuente: Autores, 2020

Tabla 12: Segundo muestreo época sequía.

SEGUNDO MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO										
Punto de muestreo	Distan cia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)	Tiempo s trazador químico (s)	Datos del perfil	Área transver sal (m <sup>2</sup> )	Velocid ad calcula da (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)		

1	5	Ti ro	Tiem po	Ti ro		Anc ho rio (m)	profundida d(m)	0.216	0.67137 201	0.14501 635	145.016 354							
		1	9.68	1	11.02	0	0.08	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">metros</td> </tr> <tr> <td>Ancho rio</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Borde libre</td> <td>2.2</td> </tr> </table>					metros		Ancho rio	4	Borde libre	2.2
		metros																
		Ancho rio	4															
		Borde libre	2.2															
2	8.41	2	10.15	0.5	0.12													
3	8.31	3	10.52	1	0.2													
Promedios			8.8		10.5633 333	1.5	0.12											
			promedio tiempos		9.68166 667	1.8	0.08											
							0.12											

Fuente: Autores, 2020

Tabla 13: Tercer muestreo época sequía.

TERCER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO											
Punto de muest reo	Distan cia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)		Tiempo s trazador químico (s)	Datos del perfil		Área transve rsal (m <sup>2</sup> )	Velocid ad calculad a (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/ S)	
1	5	Tir o	Tiempo	Tir o	Anc ho	profundida d(m)	0.2232	0.66666 667	0.14 88	148 .8	



1	5	Ti ro	Tiem po	Ti ro		Anc ho rio (m)	profundida d(m)	0.748	0.75488	0.56465	564.652				
		1	9.68	1	11.18	0	0.08	298	247	472					
		2	7.34	2	10.15	0.5	0.23	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>metros</td> </tr> <tr> <td>Ancho rio</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Borde libre</td> <td>0.6</td> </tr> </table>			metros	Ancho rio	4	Borde libre	0.6
			metros												
		Ancho rio	4												
Borde libre	0.6														
3	7.46	3	11.02	1	0.35										
Promedios		8.16		10.7833	333	1.5	0.29								
		promedio tiempos		9.47166	667	3.4	0.15								
							0.22								

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 15: Segundo muestreo época de lluvia.

SEGUNDO MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE LUVIA											
Punto de muest reo	Distan cia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)			Tiempo s trazador quimico (s)	Datos del perfil		Area transve rsal (m <sup>2</sup> )	Velocid ad calculad a (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s )	Q (L/S)
1	5	Tir o	Tiem po	Tir o		Anc ho	profundida d(m)	0.8024	0.67137	0.5387	538.7
									201	089	089



					rio (m)					
		1	8.36	1	11.3	0	0.16			
		2	8.32	2	8.3	0.5	0.36			
		3	9.19	3	9.4	1	0.35			
		Promedios		8.62333	9.6666					
			3333		6667	1.5	0.25			
		Promedio								
		tiempos(s)		9.145	3.4	0.15				
							0.254			
									metros	
								Ancho		
								rio	4	
								Borde		
								libre	0.6	

Fuente: Autores, 2020.

**Punto 2. Parte media del tramo 3 del rio Botello.****Tabla 17:** Primer muestreo época sequía.

PRIMER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE SEQUÍA											
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)		Tiempo trazado quimico (s)	Datos del perfil		Area transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)	
2 (NE-	13	Ti ro	Tiempo (s)	Ti ro	Anc ho	profundid ad(m)	0.209	0.2982 3529	0.0623 3118	62.331 1765	



09649					rio					
08-					(m)					
USR-	1	62	1	60	0	0.1				
10270	2	53	2	51	0.5	0.17			metros	
99	3	58	3	56	1	0.15		Ancho		
								rio	2.8	
Promedios		57.666		55.666				Borde		
		6667		6667	1.5	0.1		libre	0.9	
		promedio		56.666						
		tiempos		6667	1.9	0.03				
										0.11

Fuente: Autores, 2020

Tabla 18: Segundo muestreo época de sequía.

SEGUNDO MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE SEQUÍA										
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)		Tiempo trazado químico (s)	Datos del perfil		Area transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)
2 (NE-	13	Tiempo	Tiempo		Anc	profundidad(m)	0.228	0.2922	0.0666	66.625
					ho			1902	2594	9366

09649					rio					
08-					(m)					
USR-	1	60	1	67	0	0.08				
10270	2	54	2	58	0.5	0.12				
99	3	52	3	56	1	0.2				
Promedios		55.333		60.333						
		3333		3333	1.5	0.12				
		promedio		57.833						
		tiempos		3333	1.9	0.08				
										0.12

	metros
Ancho	
rio	2.8
Borde	
libre	0.9

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 19: Tercer muestreo época de sequía.

TERCER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE SEQUÍA											
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)		Tiempo trazado químico (s)	Datos del perfil		Area transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)	
2 (NE-	13	Tiempo	Tiempo		Anc	profundid	0.228	0.2922	0.0666	66.625	
		ro	ro		ho	ad(m)		1902	2594	9366	

09649					rio					
08-					(m)					
USR-	1	60	1	67	0	0.08				
10270	2	54	2	58	0.5	0.12			metros	
99	3	52	3	56	1	0.2		Ancho		
								rio	2.8	
		55.333		60.333				Borde		
Promedios		3333		3333	1.5	0.12		libre	0.9	
		promedio		57.833						
		tiempos		3333	1.9	0.08				
						0.12				

Fuente: Autores, 2020.

### Primer muestreo época lluviosa.

Tabla 20: Primer muestreo época de lluvia.

PRIMER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE LLUVIA									
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)		Tiempo s trazado r quimico (s)	Datos del perfil	Area transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)

2 (NE-09649-08-USR-10270-99)	13	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Ancoramiento (m)	profundidad (m)	0.9512	0.3976	0.3782	378.24						
		1	38	1	48	0	0.36	4706	4188	1882						
		2	31	2	52	0.5	0.39	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">metros</td> </tr> <tr> <td>Anchura</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Borde libre</td> <td>3.1</td> </tr> </table>			metros		Anchura	6	Borde libre	3.1
		metros														
Anchura	6															
Borde libre	3.1															
3	35	3	51	1	0.45											
Promedios		34.666	50.333	3333	1.5	0.21										
		promedio tiempos		42.5	2.9	0.23										
						0.328										

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 21: Segundo muestreo época lluviosa.

SEGUNDO MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE SEQUÍA									
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)	Tiempo trazado químico (s)	Datos del perfil	Area transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)	



2 (NE-09649-08-13-99)	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Anchura (m)	Profundidad (m)	0.931	4774	0.5095	0.6167	616.70						
									0563	5628							
									1	26	1	43	0	0.17			
									2	28	2	45	0.5	0.26			
USR-10270-99	13	3	25	3	32	1	0.35	metros									
								Anchura	7								
								Borde libre	3.5								
Promedios		26.333	3333	40	1.5	0.32											
		Promedio tiempos(s)	33.166	6667	3.5	0.23											
						0.266											

Fuente: Autores, 2020.

### Punto 3. Parte alta del tramo 3 del río Botello.

Tabla 23: Primer muestreo época de sequía.

PRIMER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO										
Punto de muestreo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)	Tiempo trazado químico (s)	Datos del perfil	Área transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)		

3 (NE 09636 89- USR- 10290 47	7	Ti ro	Ti ro		Anc ho rio (m)	profundid ad(m)	0.3612	0.2724 0072	0.0983 9114	98.391 1395							
		1	11.25	1	57.99	0	0.05	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">metros</td> </tr> <tr> <td>Ancho rio</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>Borde libre</td> <td>0.7</td> </tr> </table>				metros		Ancho rio	2.8	Borde libre	0.7
		metros															
		Ancho rio	2.8														
Borde libre	0.7																
2	12	2	54	0.5	0.3												
3	12.2	3	53	1	0.28												
Promedios		11.816 6667		54.996 6667	1.5	0.18											
		promedio tiempos		33.406 6667	2.1	0.05											
						0.172											

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 24: Segundo muestreo época de sequía.

SEGUNDO MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO										
Punto de muest reo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)	Tiempo s trazado r quimic o (s)	Datos del perfil	Area transve rsal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada Q (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/S)		

3 (NE 09636 89- USR- 10290 47	7	Ti ro	Tiempo	Ti ro		Anc ho rio (m)	profundid ad(m)	0.378	0.1981 1321	0.0748 8679	74.886 7925							
		1	18	1	57	0	0.05	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">metros</td> </tr> <tr> <td>Ancho rio</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>Borde libre</td> <td>0.7</td> </tr> </table>					metros		Ancho rio	2.8	Borde libre	0.7
		metros																
		Ancho rio	2.8															
		Borde libre	0.7															
		2	15	2	52	0.5	0.34											
		3	14	3	56	1	0.25											
Promedios		15.666 6667		55	1.5	0.18												
		promedio tiempos		35.333 3333		2.1	0.08											
							0.18											

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 25: Tercer muestreo época de sequía.

TERCER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO											
Punto de muestr eo	Distan cia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)			Tiempos trazador quimico (s)	Datos del perfil		Area transver sal (m <sup>2</sup> )	Velocid ad calculad a (m/s)	Q (m <sup>3</sup> / s)	Q (L/S )
3 (NE 09636	7	Tir o	Tiem po	Tir o		Anc ho	profundida d(m)	0.3906	0.27857 143	0.108 81	108. 81



89- USR- 10290 47					rio (m)				
	1	15	1	54	0	0.08			
	2	13	2	52	0.5	0.32			metro
	3	11	3	51	1	0.25			s
Promedios		13		52.3333 333	1.5	0.18			Ancho rio 2.8
		Promedio tiempos(s)		32.6666 667	2.1	0.1			Borde libre 0.7
						0.186			

Fuente: Autores, 2020

Tabla 26: Primer muestreo época de lluvia.

TERCER MUESTREO REALIZADO EN EPOCA DE VERANO										
Punto de muest reo	Distancia del tramo (m)	Tiempos pingpong (s)	Tiempo s trazado res químico o (s)	Datos del perfil	Área transver sal (m <sup>2</sup> )	Velocidad calculada (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s )	Q (L/S)		

2 (NE-09649-08-USR-10270-99)	13	Ti		Ti	Anc																
		ro	Tiempo	ro	ho	profundid		0.4547	0.4364	436.48											
					rio	ad(m)	0.7384	0852	838	3803											
					(m)																
		1	46	1	42	0	0.12	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>metros</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td></td> </tr> <tr> <td>rio</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Borde</td> <td></td> </tr> <tr> <td>libre</td> <td>3.4</td> </tr> </table>					metros	Ancho		rio	6	Borde		libre	3.4
	metros																				
Ancho																					
rio	6																				
Borde																					
libre	3.4																				
		2	32	2	38	0.5	0.24														
		3	29	3	36	1	0.22														
Promedios		35.666		38.666																	
		6667		6667	1.5	0.45															
		Promedio		37.166																	
		tiempos(s)		6667	2.6	0.39															
						0.284															

Fuente: Autores, 2020

## Anexo 4.

## Calidad del agua y resultados entregados por aguas de Facatativá.

**Tabla 27:** Punto 1 Parte baja del tramo 3 del río Botello.

PRIMER PUNTO DE MUESTREO PARTE BAJA									
EPOCA DE SEQUÍA ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA					EPOCA LLUVIOSA ANALISIS FICOQUIMICO DEL AGUA				
PARAMETRO	PRIMER ANALISIS	SEGUNDO ANALISIS	TERCER ANALISIS	CUARTO ANALISIS	QUINTO ANALISIS	SEXTO ANALISIS	SEPTIMO ANALISIS	OCTAVO ANALISIS	UNIDADES
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
Ph	6.38	6.15	6.71	6.71	6.95	6.86	6.9	6.71	Unidades de pH.
Turbiedad	1.43	3.85	2.61	2.61	4.48	1.86	1.8	2.61	UNT
Dureza total	57	30.8	31.3	31.3	67.5	74.1	31.3	31.3	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cloruros	18.3	22.2	3.7	3.8	18.33	19.7	19.06	3.7	mg/L Cl
OD	4.78	4.76	5.52	5.52	6.71	9.04	7.48	5.52	mg OD/L
Fosfatos	0.09	0.48	0.06	0.06	0.75	0.28	0.06	0.06	mg P/L
color aparente	14.2	21.8	21.9	22	20.6	12.4	12.4	21.9	UPC
Coliformes totales	1600	1600	1600	1600	716	1600	744	1600	UFC/100 ml
Alcalinidad total	12.4	21	14.4	14.6	35.1	24.8	30.1	14.4	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Nitritos	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07	0.04	mg NO <sub>2</sub>
Hierro total	0.4	0.38	0.44	0.44	0.19	0.37	0.32	0.44	mg Fe/L

Fuente: Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020

**Tabla 28:** Punto 2 Parte media del tramo 3 del río Botello.

PRIMER PUNTO DE MUESTREO PARTE BAJA							
EPOCA DE SEQUÍA ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA				EPOCA LLUVIOSA ANALISIS FICOQUIMICO DEL AGUA			
PARAMETRO	PRIMER ANALISIS	SEGUNDO ANALISIS	TERCER ANALISIS	QUINTO ANALISIS	SEXTO ANALISIS	SEPTIMO ANALISIS	UNIDADES
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
Ph	6.64	6.15	6.56	6.62	6.42	6.93	Unidades de pH.
Turbiedad	1.21	2.59	2.21	2.97	1.99	1.73	UNT
Dureza total	72	56.2	27.4	76.8	66.1	56.7	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cloruros	8.4	12.9	5.17	25.83	21.13	25.4	mg/L Cl
OD	6.21	3.8	5.17	7.48	6.71	7.12	mg OD/L
Fosfatos	0.11	0.18	0.07	0.26	0.44	0.36	mg P/L
color aparente	13.3	20.7	19.7	23.5	16.5	11.3	UPC
Coliformes totales	1600	1600	1600	1600	1620	1600	UFC/100 ml
Alcalinidad total	13.7	21.9	14.4	27.1	23.2	23.4	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Nitritos	0.11	0.12	0.08	0.08	0.09	0.03	mg NO <sub>2</sub>
Hierro total	0.29	0.35	0.39	0.4	0.37	0.37	mg Fe/L

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020

**Tabla 29:** Punto 3 Parte alta del tramo 3 del río Botello.

PARAMETRO	PRIMER ANALISIS	SEGUNDO ANALISIS	TERCER ANALISIS	QUINTO ANALISIS	SEXTO ANALISIS	SEPTIMO ANALISIS	UNIDADES
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
Ph	6.9	6.25	6.86	6.65	6.41	7.44	Unidades de pH.
Turbiedad	2.09	3.02	3.56	3.77	2.04	0.96	UNT
Dureza total	80.2	47.1	17.7	68.2	55.3	48.7	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cloruros	9.97	7.27	0.48	26.31	22.29	26.9	mg/L Cl
OD	6.21	6.21	5.55	6.34	8.25	9.04	mg OD/L

---

Fosfatos	0.09	0.21	0.21	0.17	0.36	0.33	mg P/L
color aparente	14.2	24.2	20.4	26.7	16.7	8.1	UPC
Coliformes totales	147	1110	1392	568	460	60	UFC/100 ml
Alcalinidad total	11.4	18	12.8	27.2	31.1	27.9	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Nitritos	0.07	0.03	0.03	0.05	0.07	0.04	mg NO <sub>2</sub>
Hierro total	0.21	0.36	0.24	0.4	0.36	0.31	mg Fe/L

**Fuente:** Autores, EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020.



EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ  
Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP

RESULTADOS DE ENSAYO - LABORATORIO DE AGUAS

ENSAJO	UNIDADES	CODIFICACIÓN		CODIFICACIÓN		CODIFICACIÓN		CODIFICACIÓN		CODIFICACIÓN	
		RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	23,0	23,7	18,9	11,5	13,8	12,0	22,6	22,9	21,4	14,7
Aluminio residual	mg Al/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amonio	mg NH <sub>4</sub> /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
Casio	mg Ca/l	5,45	5,85	5,61	5,17	5,77	3,12	13,70	5,81	5,17	5,89
Cloro residual libre	mg Cl <sub>2</sub> /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro	mg Cl/l	17,32	9,80	8,51	11,72	16,79	16,84	13,49	27,65	22,87	38,00
Color aparente	UPC	9,9	13,7	14,7	9,8	14,2	14,7	19,3	17,7	12,0	17,6
Conductividad	µs/cm	13,4	24,8	29,4	13,3	28,7	39,5	47,6	47,1	47,3	31,5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	37,3	61,0	74,2	41,0	25,5	43,9	36,0	66,1	43,2	60,4
Fenoles	mg Fenol/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,344
Fluoruro	mg F/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Fierro	mg Fe/l	0,09	0,09	0,09	0,65	1,07	0,39	0,09	0,09	0,09	0,09
Hierro total	mg Fe/l	-	-	-	0,08	0,28	0,29	0,34	0,34	0,11	0,34
Magnesio	mg/l Mg	5,75	11,27	14,62	6,82	2,69	3,08	0,43	12,53	7,36	11,22
Manganeso	mg/l Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,075
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,8
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> /l	0,04	0,08	0,11	0,04	0,08	0,09	0,06	0,12	0,05	0,09
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	Unidades	7,20	6,46	6,40	6,87	6,36	6,31	6,15	6,37	6,6	6,60
Sólidos disueltos totales	mg/l	15	28	31	14	31	30	49	49	49	35
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l	7,56	11,56	8,93	7,11	6,67	6,79	10,91	11,03	10,85	4,70
Temperatura	°C	14,3	13,4	13,2	14,9	14,0	14,7	18,0	17,8	17,9	18,7
Turbiedad	UNT	0,94	1,23	1,50	1,65	2,05	2,06	3,48	2,17	2,02	1,85
Coliformes totales	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	170	1600	228	462
Feculentos colif.	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	98	1600	140	216
Mesofitas	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LUGAR: RIO ANICIS

Revisó y Aprobó:

VANESSA DRTIZ PERILLA  
Profesional de Laboratorio

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas.  
Este reporte consolidado no se puede reproducir sin excepción, sin aprobación por escrito del laboratorio.

**Figura 31:** Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del río Botello de Facatativá.


**Fuente:** EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020

**EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ**  
Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP

**RESULTADOS DE ENSAYO - LABORATORIO DE AGUAS**

ENSAYO	UNIDADES	CODIFICACIÓN									
		1-19-527	1-19-546	1-19-547	1-19-548	1-19-610	1-19-611	1-19-612	1-19-663	1-19-664	1-19-665
		FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS
		2019-09-25	2019-10-02	2019-10-02	2019-10-02	2019-11-06	2019-11-06	2019-11-06	2019-12-04	2019-12-04	2019-12-04
		PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO
		PARTE MEDIA	PARTE BAJA	PARTE MEDIA	PARTE ALTA	PARTE BAJA	PARTE ALTA	PARTE MEDIA	PARTE ALTA	PARTE MEDIA	PARTE BAJA
RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	23,8	35,1	27,1	27,2	28,9	31,1	23,2	27,9	23,4	24,8
Aluminio residual	mg Al/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amonio	mg NH <sub>4</sub> /L	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	mg Ca/L	7,93	6,61	7,65	12,22	10,54	11,54	11,26	6,73	7,97	7,33
Cloro residual libre	mg Cl <sub>2</sub> /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruros	mg Cl <sub>2</sub> /L	22,39	18,33	25,83	26,31	18,46	22,29	21,13	26,90	25,40	19,70
Color aparente	UPC	21,7	20,6	23,5	26,7	10,9	16,7	16,5	8,1	11,3	12,4
Conductividad	µS/cm	99,1	27,7	67,1	75,4	18,5	44,8	44,6	15,4	23,6	23,6
DBO <sub>5</sub>	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	63,6	67,5	76,8	68,2	57,5	55,3	66,1	48,7	56,7	74,1
Fenoles	mg fenol/L	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluoruros	mg F <sub>2</sub> /L	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	mg P/L	0,16	0,75	0,26	0,17	0,09	0,36	0,28	-	-	-
Hierro total	mg Fe/L	0,38	0,19	0,40	0,46	0,12	0,36	0,37	-	-	-
Magnesio	mg/L Mg	10,64	12,39	14,02	9,16	7,53	6,46	9,25	7,75	8,94	13,55
Manganeso	mg/L Mn	0,220	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrosos	mg NO <sub>2</sub> /L	16,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrosos	mg NO <sub>3</sub> /L	0,10	0,04	0,08	0,05	0,04	0,07	0,09	0,04	0,03	0,04
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	Unidades	6,22	6,95	6,62	6,65	6,77	6,41	6,42	7,44	6,93	6,86
Sólidos disueltos totales	mg/L	104	29	70	78	19	46	46	16	25	25
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	12,21	9,94	8,32	9,05	8,93	9,46	9,38	6,67	7,15	5,34
Temperatura	°C	15,0	19,4	18,6	18,8	19,5	19,5	19,3	16,5	16,3	15,8
Turbiedad	UNT	2,91	4,48	2,97	3,77	1,85	2,04	1,99	0,96	1,73	1,86
Coliformes totales	UFC/100 ml	1600	716	1600	568	1560	460	1620	60	1600	1600
Echerichia coli	UFC/100 ml	572	156	236	168	430	98	564	24	1600	1600
Mesófilos	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-


LUGAR: RIO ANDES

  
Revisó y Aprobó: VANESSA ORTIZ PERILLA  
Profesional de Laboratorio

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas  
Este reporte consolidado no se puede reproducir sin excepción, sin aprobación por escrito del laboratorio

**Figura 32:** Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del río Botello de Facatativá.

**Fuente:** EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020




**EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ**  
Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP

**RESULTADOS DE ENSAYO - LABORATORIO DE AGUAS**

ENSAJO	UNIDADES	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	CODIFICACIÓN	
		1-19-186	1-19-187	1-19-257	1-19-317	1-19-318	1-19-319	1-19-375	1-19-376	1-19-377	1-19-450
		FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS
		2019-04-03	2019-04-03	2019-05-08	2019-06-05	2019-06-05	2019-06-05	2019-07-03	2019-07-03	2019-07-03	2019-08-13
		PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	PUNTO	
		PARTE MEDIA	PARTE ALTA	PARTE MEDIA	PARTE ALTA	PARTE BAJA	PARTE MEDIA	PARTE BAJA	PARTE MEDIA	PARTE ALTA	PARTE MEDIA
		RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	21,2	20,5	17,8	18,5	13,8	13,9	30,1	24,6	20,5	19,8
Aluminio residual	mg Al/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amonio	mg NH <sub>4</sub> /L	-	-	1,93	-	-	-	-	-	-	0,21
Calcio	mg Ca/L	9,97	7,65	7,61	-	-	-	11,46	9,29	8,41	9,97
Cloro residual libre	mg Cl <sub>2</sub> /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruros	mg Cl <sub>2</sub> /L	24,60	25,00	10,30	12,70	22,90	21,55	19,06	17,20	19,42	15,31
Color aparente	UPC	26,1	20,2	14,5	12,5	16,9	14,1	12,4	12,1	10,4	19,4
Conductividad	µS/cm	-	-	-	14,4	30,0	28,2	45,9	35,6	21,2	87,7
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/l	-	-	31	-	-	-	-	-	-	13
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	56,1	60,9	48,6	55,9	74,7	69,9	67,0	85,9	28,6	60,1
Fenoles	mg fenol/L	-	-	0,143	-	-	-	-	-	-	0,115
Fluoruro	mg F <sup>-</sup> /L	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	0,1
Fosfatos	mg P/L	0,20	2,44	0,09	0,16	0,09	0,09	0,63	0,44	0,09	0,09
Hierro total	mg Fe/L	0,19	0,09	0,32	0,10	0,26	0,52	0,32	0,27	0,27	0,52
Magnesio	mg/l Mg	7,58	10,1	7,19	-	-	-	12,75	15,23	1,84	8,55
Manganeso	mg/l Mn	-	-	0,081	-	-	-	-	-	-	0,068
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> /L	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	4,2
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> /L	0,05	0,03	0,06	0,10	0,05	0,03	0,07	0,08	0,03	0,04
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	6,71	6,34	5,72	8,25	6,52	7,48	8,28	7,12	9,04	-
pH	Unidades	6,70	6,70	6,57	6,81	6,92	6,73	6,90	6,60	7,20	6,48
Sólidos disueltos totales	mg/l	-	-	-	14	30	28	46	36	22	92
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	15,40	16,90	9,3	13,50	-	-	14,56	14,51	14,90	9,78
Temperatura	°C	12,4	12,5	13,4	13,2	13,6	13,6	13,0	13,3	13,2	17,6
Turbiedad	UNT	3,78	2,76	2,85	3,01	3,17	2,45	1,80	1,64	2,32	2,66
Coliformes totales	UFC/100 ml	1600	1600	1600	7	1600	1600	744	142	1600	1600
E. coli	UFC/100 ml	1600	1600	564	3	448	1600	298	20	1284	238
Meadifos	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LUGAR: RIO ANDES

  
 Revisó y Aprobó: VANESSA ORTIZ PERILLA  
 Profesional de Laboratorio

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas.  
 Este reporte consolidado no se puede reproducir sin excepción, sin aprobación por escrito del laboratorio.

**Figura 33:** Evidencia de los resultados entregados por AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP en las partes baja, media y alta del tramo 3 del río Botello de Facatativá.

**Fuente:** EMPRESA AGUAS DE FACATATIVA SAS ESP, 2020



## Anexo 5.

# Análisis ANOVA de los resultados para calidad del agua

Tabla 30: Análisis ANOVA para pH.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	40.48	6.74666667	0.17862667		
Columna 2	6	39.32	6.55333333	0.06686667		
Columna 3	6	39.95	6.65833333	0.10453667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varianza de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.11241111	2	0.05620556	0.48172061	0.62695383	3.682320344
Dentro de lo	1.75015	15	0.11667667			
Total	1.86256111	17				

Fuente: Autores, 2020

### Análisis ANOVA para Turbiedad.

**Tabla 31:** Análisis ANOVA para turbiedad.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	15.44	2.57333333	1.14518667		
Columna 2	6	12.7	2.11666667	0.38970667		
Columna 3	6	16.03	2.67166667	1.52453667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varianza de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.05247778	2	0.52623889	0.5160166	0.60711354	3.682320344
Dentro de lo	15.29715	15	1.01981			
Total	16.3496278	17				

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 32:** Análisis ANOVA para Cloruros.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	108.04	18.0066667	70.7147467		
Columna 2	6	98.83	16.4716667	78.9259767		
Columna 3	6	107.86	17.9766667	16.2240667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Fuente de la variación				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9.2443	2	4.62215	0.08360093	0.92022376	3.682320344
Dentro de los grupos	829.32395	15	55.2882633			
Total	838.56825	17				

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 33:** Análisis ANOVA para Oxígeno Disuelto.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	41.6	6.93333333	1.89674667		
Columna 2	6	36.49	6.08166667	1.89637667		
Columna 3	6	38.13	6.355	2.97175		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Fuente de la variación				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.26903333	2	1.13451667	0.50312102	0.61448897	3.682320344
Dentro de los grupos	33.8243667	15	2.25495778			
Total	36.0934	17				

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 34:** *Análisis ANOVA para Fosfatos.*

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	6	1.37	0.22833333	0.01017667		
Columna 2	6	1.42	0.23666667	0.02082667		
Columna 3	6	1.72	0.28666667	0.07870667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Grupos</i>	<i>Suma de los cuadrados</i>	<i>Libertad de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0.01194444	2	0.00597222	0.16330933	0.85081826	3.682320344
Dentro de los grupos	0.54855	15	0.03657			
Total	0.56049444	17				

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 35:** *Análisis ANOVA para Color Aparente.*

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	6	110.3	18.38333333	46.6296667		
Columna 2	6	105	17.5	21.632		
Columna 3	6	103.3	17.2166667	21.9776667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Grupos</i>	<i>Suma de los cuadrados</i>	<i>Libertad de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	4.44333333	2	2.22166667	0.07385914	0.92913816	3.682320344
Dentro de los grupos	451.196667	15	30.0797778			
Total	455.64	17				

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 36:** Análisis ANOVA para Coliformes Totales.

Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Columna 1	6	3737	622.833333	280333.767			
Columna 2	6	9620	1603.33333	66.6666667			
Columna 3	6	7860	1310	201918.4			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Entre grupos	Dentro de los grupos	Total	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3039245.44	2	1519622.72	9.45198042	0.00220702	3.682320344	
Dentro de los grupos	2411594.17	15	160772.944				
Total	5450839.61	17					

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 37:** Análisis ANOVA para Alcalinidad Total.

Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Columna 1	6	128.4	21.4	71.1			
Columna 2	6	123.7	20.6166667	28.9176667			
Columna 3	6	137.8	22.9666667	78.0746667			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Entre grupos	Dentro de los grupos	Total	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	17.1811111	2	8.59055556	0.14470958	0.86646703	3.682320344	
Dentro de los grupos	890.461667	15	59.3641111				
Total	907.642778	17					

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 38:** Análisis ANOVA para Nitritos.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	0.29	0.04833333	0.00033667		
Columna 2	6	0.51	0.085	0.00099		
Columna 3	6	0.29	0.04833333	0.00013667		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varian de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.00537778	2	0.00268889	5.51252847	0.01604157	3.682320344
Dentro de lo	0.00731667	15	0.00048778			
Total	0.01269444	17				

Fuente: Autores, 2020

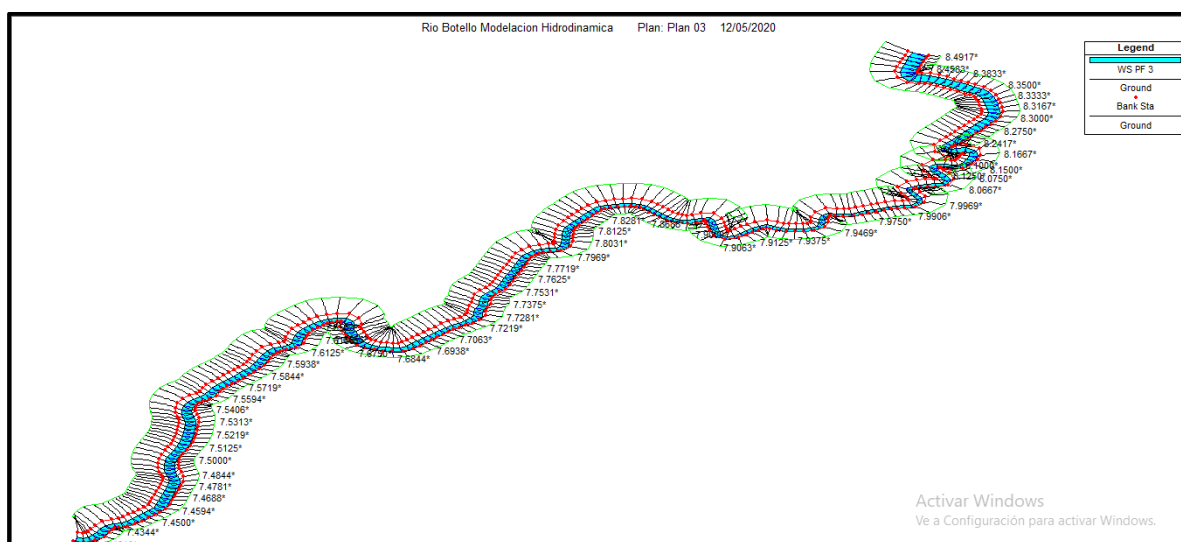
**Tabla 39:** Análisis ANOVA para Hierro Total.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	6	1.94	0.32333333	0.00826667		
Columna 2	6	2.17	0.36166667	0.00153667		
Columna 3	6	2.1	0.35	0.00768		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varian de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.00463333	2	0.00231667	0.39752145	0.67885711	3.682320344
Dentro de lo	0.08741667	15	0.00582778			
Total	0.09205	17				

Fuente: Autores, 2020

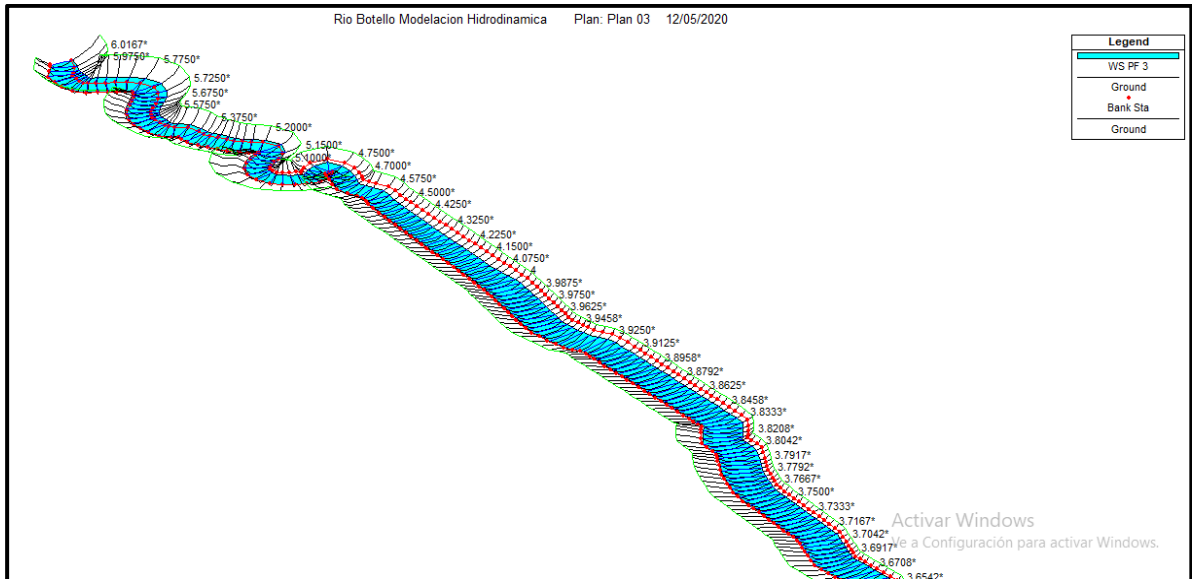
## Anexo 6.

### Escenarios de inundación con caudales históricos.



**Gráfica 40:** Perfil del tramo 3 del río Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2009.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

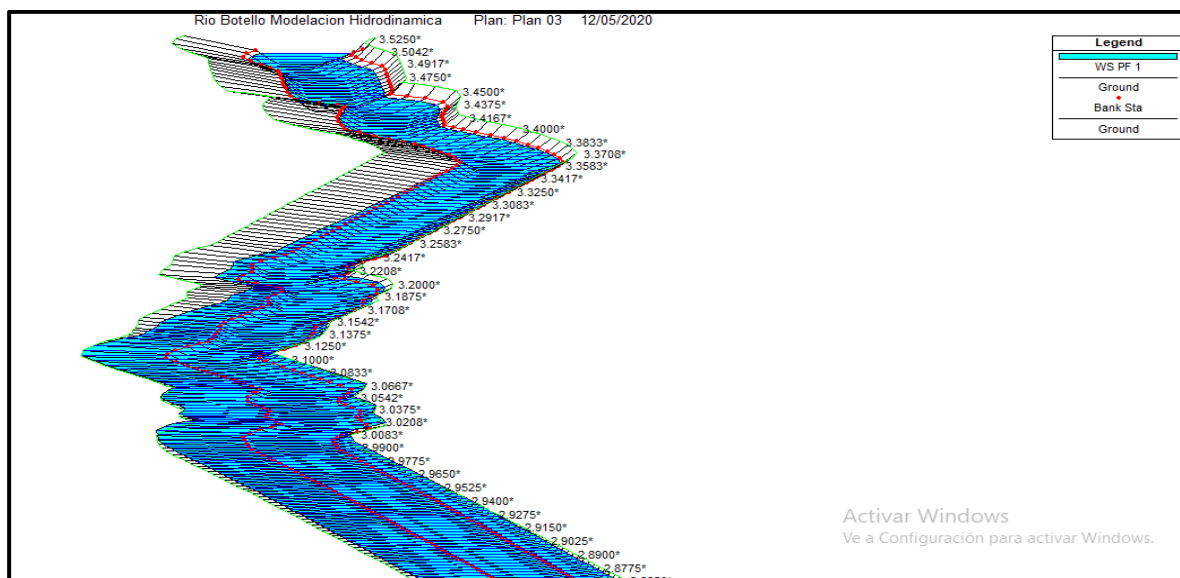


**Gráfica 41:** Perfil del tramo 3 del rio Botello parte media. Fenómeno de la niña año 2009.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

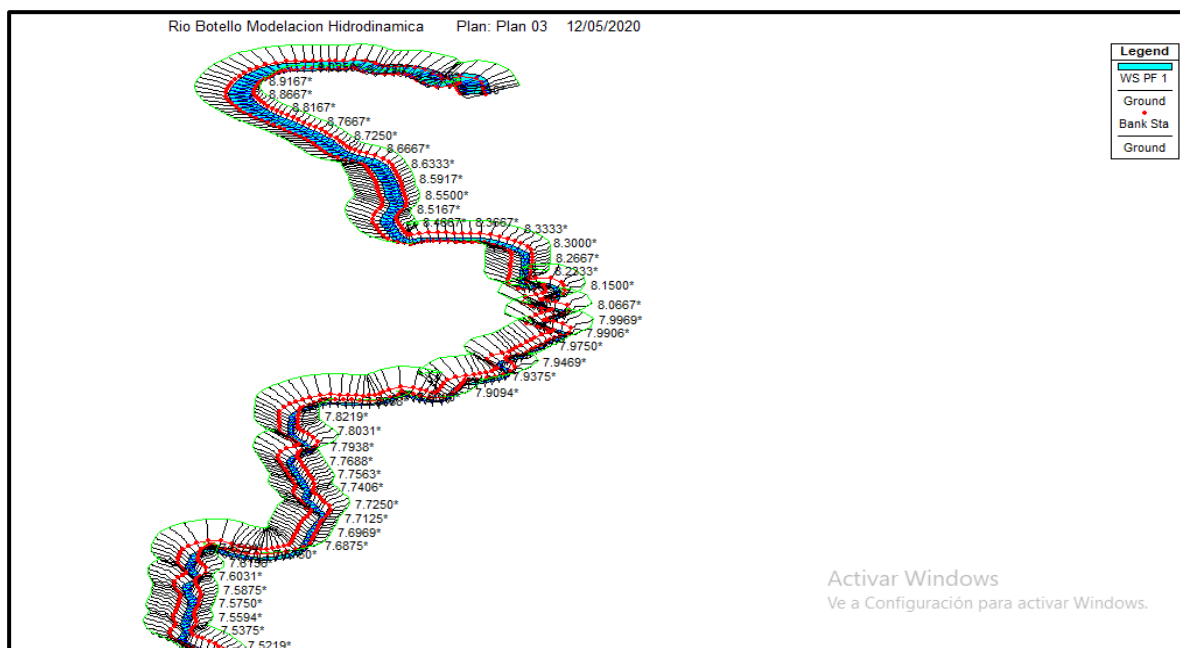
Desbordamiento del rio en la parte meda alta del rio por causa de la alta precipitación y por la parte plana que tiene la topografía de la zona.





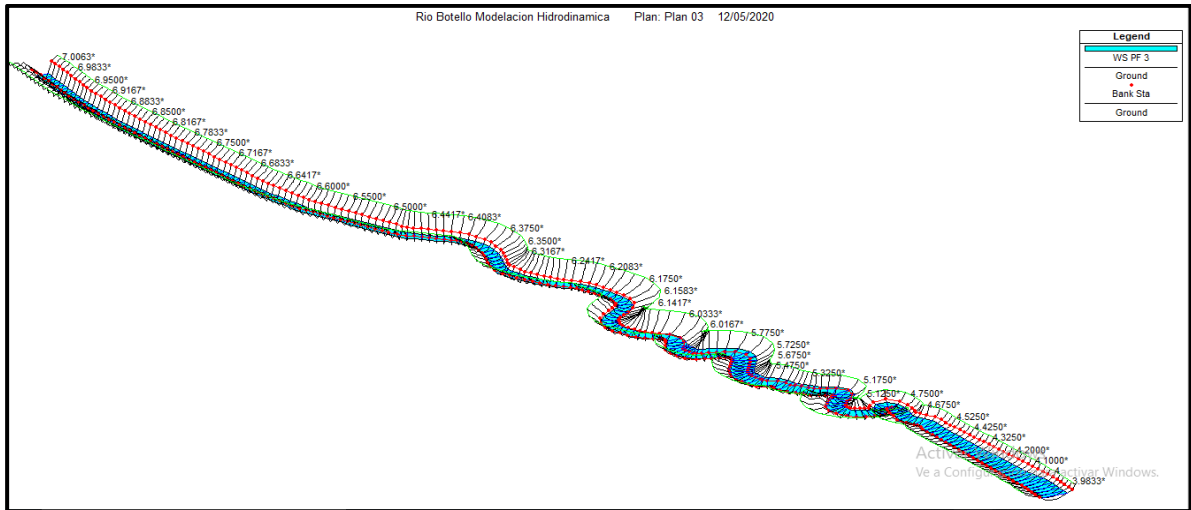
**Gráfica 42:** Perfil del tramo 3 del rio Botello parte baja. Fenómeno de la niña año 2009 inundaciones ocasionadas por los grandes caudales.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



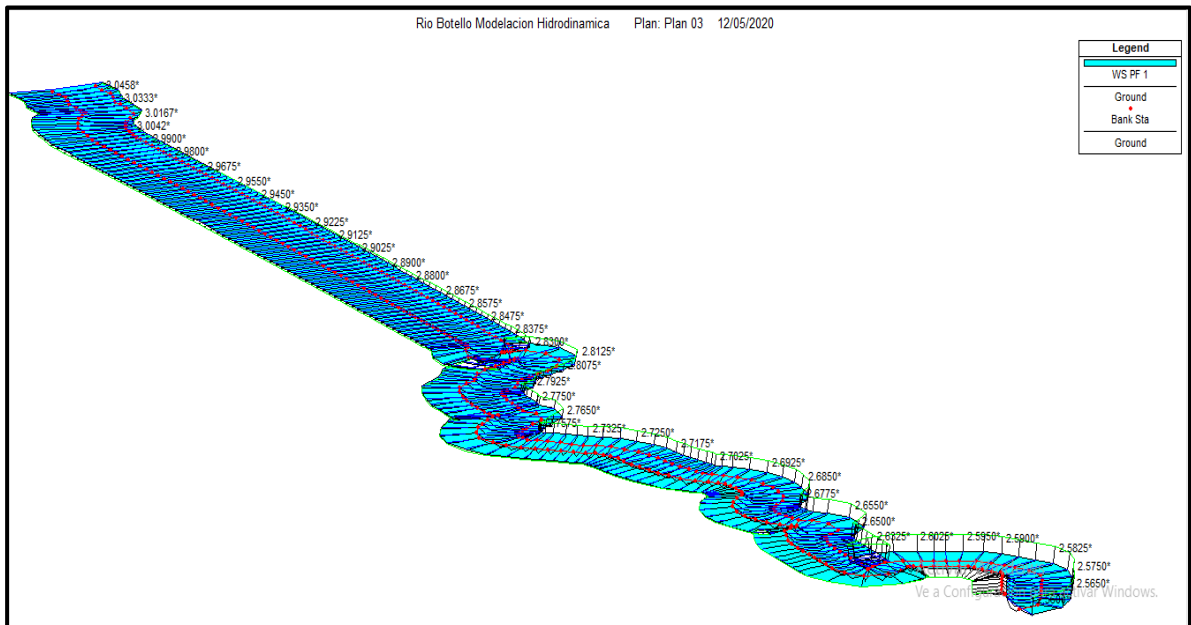
**Gráfica 43:** Perfil del tramo 3 del rio Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2011.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.



**Gráfica 44:** Perfil del tramo 3 del rio Botello parte alta. Fenómeno de la niña año 2011.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3



**Gráfica 45:** Perfil del tramo 3 del rio Botello parte baja. Fenómeno de la niña año 2011 inundaciones ocasionadas por los grandes caudales.

**Fuente:** autores, Hec Ras 5.0.3, 2020.

## Anexo 7.

### Glosario

- **Parámetro:** Es un valor que ya está establecido en un sistema y es de carácter orientativo.
- **Variable:** Es el resultado de alguna característica del sistema en un espacio y tiempo determinados y puede presentar cambios.
- **Caudal:** Es la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal. Se expresa en volumen por unidad de tiempo
- **Flujo:** Es el movimiento que tiene un fluido, involucra las leyes de movimiento de la física, propiedades del fluido y condiciones ambientales que lo pueden afectar.
- **Disponibilidad de agua:** Es la cantidad de agua que es apta para el uso y consumo humano, sujeta a parámetros que determinan condiciones de calidad.
- **Calidad de agua:** Características óptimas que debe presentar el agua para uso y consumo humano y equilibrio ecosistémicos.
- **Contaminación hídrica:** Alteración de las características óptimas del agua debido a vertimientos directos e indirectos y manejo ambiental inadecuado del recurso.
- **Muestreo:** Herramienta de investigación que muestra una parte representativa del total que se va a analizar, con el fin de obtener resultados confiables.
- **Modelo matemático:** Abstracción basada en el entendimiento de los principios físicos que gobiernan un sistema de la naturaleza (Aral, 2010).