

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SOLUCIÓN A PROBLEMAS  
ENCONTRADOS EN EL RÍO SAN JUAN.**

**JOSUÉ RICARDO FERNÁNDEZ  
MANUEL LINARES VARGAS**

**CÓD. 503917  
CÓD. 504458**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C  
2018**

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SOLUCIÓN A PROBLEMAS  
ENCONTRADOS EN EL RÍO SAN JUAN.**

**JOSUÉ RICARDO FERNÁNDEZ  
MANUEL LINARES VARGAS**

**CÓD. 503917  
CÓD. 504458**

**Trabajo De Grado para obtener el Título de ingeniero civil**

**Tutor: HENRY ALBERTO CÓRDOBA**  
Ingeniero civil

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL,  
BOGOTÁ D.C.  
2018**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra)



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Activa  
Ve a Co

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Bogotá D.C, Mayo de 2018

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

Inicialmente le damos las gracias a Dios, por habernos dado la sabiduría y dedicación para poder llegar a este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por ser los pilares y polos a tierra más importantes de nuestras vidas que a pesar de las dificultades siempre son y serán nuestro apoyo incondicional, demostrándonos su amor, corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos.

A nuestros hermanos, por ser unos grandes amigos por que junto a ustedes hemos pasado momentos memorables y son unos de los seres más importantes en nuestras vidas.

Al ingeniero Henry Córdoba por su valiosa colaboración, comprensión y especialmente por transmitirnos sus conocimientos para el desarrollo del presente trabajo.

A los grandes amigos que creamos durante este proceso, porque no solo dejaron enseñanzas.

A todas aquellas personas que aportaron un grano de arena para que este sueño se hiciera realidad.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>10</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
4.1 OBJETIVOS GENERAL.....	16
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
<b>5. JUSTIFICACION.....</b>	<b>17</b>
<b>6. DELIMITACIÒN .....</b>	<b>18</b>
6.1 ALCANCES .....	18
6.2 LIMITACIONES .....	18
<b>7. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>19</b>
7.1 Marco teórico .....	19
<b>8. Marco conceptual.....</b>	<b>26</b>
<b>9. Metodología .....</b>	<b>27</b>
9.1 Descripción de la zona.....	27
9.1.2 Visitas en campo .....	32
9.2 Calibración y verificación del cauce natural .....	35
9.2.1 CÁLCULO DE CAUDALES .....	35
9.2.2 HEC-RAS .....	38
9.2.3 Obtención de los tiempos de viaje.....	43
<b>10. Calidad del agua.....</b>	<b>45</b>
10.1 Análisis de muestras para calidad del agua .....	45
<b>11. analisis de resultados.....</b>	<b>54</b>
<b>12. Conclusiones.....</b>	<b>56</b>

13. recomendaciones.....	58
14. Bibliografía.....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos tomados en campo para el primer tramo .....	33
Tabla 2. Datos tomados en campo para el segundo tramo .....	33
Tabla 3. Datos tomados en campo para el tercer tramo.....	33
Tabla 4. Datos tomados en campo para el cuarto tramo.....	34
Tabla 5. Datos tomados en campo para el primer tramo .....	34
Tabla 6. Datos tomados en campo para el segundo tramo .....	34
Tabla 7. Datos tomados en campo para el tercer tramo.....	35
Tabla 8. Datos tomados en campo para el cuarto tramo.....	35
Tabla 11. Abscisas tomadas en campo como alturas de lámina de agua.....	36
Tabla 12. Áreas calculadas con los datos tomados en campo.....	36
Tabla 13. Caudales calculados con los datos tomados en campo .....	36
Tabla 14. Abscisas tomadas en campo como alturas de lámina de agua.....	37
Tabla 15. Áreas calculadas con los datos tomados en campo.....	37
Tabla 16. Caudales calculados con los datos tomados en campo .....	37
Tabla 9. Tiempos de viaje de la visita 1 .....	44
Tabla 10. Tiempos de viaje de la visita 2 .....	44
Tabla 17. Resultados del análisis de laboratorio hecho a las muestras tomadas in situ .....	46

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Desprendimiento de tierra .....	28
Ilustración 2. Vegetación y desperdicios .....	29
Ilustración 3. Vertimientos de galpones.....	29
Ilustración 4. Corriente del río .....	30
Ilustración 5. Medición de la banca del río.....	30
Ilustración 6. Medición de velocidades y altura de lámina de agua.....	31
Ilustración 7. Corriente que presenta el río en el primer tramo de medición.....	31
Ilustración 8. Reconocimiento del río .....	32
Ilustración 9. Análisis del Modelo del río para el tramo inicial mediante el HEC-RAS .....	38
Ilustración 10. Análisis del Modelo del río para el segundo tramo mediante el HEC-RAS. ....	39

Ilustración 11. Análisis del Modelo del río para el tercer tramo mediante el HEC-RAS .....	39
Ilustración 12. Análisis del Modelo del río para el cuarto tramo mediante el HEC-RAS .....	40
Ilustración 13. Análisis del Modelo del río para el tramo inicial mediante el HEC-RAS .....	40
Ilustración 14. Análisis del Modelo del río para el segundo tramo mediante el HEC-RAS .....	41
Ilustración 15. Análisis del Modelo del río para el tercer tramo mediante el HEC-RAS .....	41
Ilustración 16. Análisis del Modelo del río para el tramo final mediante el HEC-RAS .....	42
Ilustración 17. comparativo de velocidades hoja de cálculo vs HEC-RAS .....	42
Ilustración 18. Muestras colocadas en recipientes (Imhof) .....	45
Ilustración 19. Multiparamétrico instrumento de laboratorio.....	46
Ilustración 20. Espectrofotómetro .....	47
Ilustración 21. Muestra a analizar.....	47
Ilustración 22. Turbidímetro instrumento usado para conocer el valor de turbiedad de la muestra .....	47
Ilustración 23. Muestras tomadas in situ .....	48
Ilustración 24. Ácido sulfúrico e Hidróxido de sodio .....	48
Ilustración 25. Titulación de la muestra usando fenolftaleína y metil naranja.....	49
Ilustración 26. Ensayo del test de jarras a muestras tomadas in situ.....	50
Ilustración 27. Datos ingresados al QUAL2K .....	52
Ilustración 28. Datos calculados por Excel y HEC-RAS .....	52
Ilustración 29. Datos ingresados del análisis de muestras.....	53
Ilustración 30. Datos de Oxigenación del río dada por el QUAL2K .....	53

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 3. Calculo de Áreas .....	36
Ecuación 4. Calculo de caudales.....	37
Ecuación 5. Calculo de Áreas .....	37
Ecuación 6. Calculo de Caudales.....	38
Ecuación 1. Para calcular los tiempos de viaje por medio de.....	43
Ecuación 2. Para calcular los tiempos de viaje .....	43
Ecuación 7. Alcalinidad .....	49
Ecuación 8. Dureza.....	50
Ecuación 9. Coagulante .....	51

## **1. INTRODUCCION**

En la actualidad todos los sectores político, social y económico de los países enfatizan en el cuidado, uso y sostenimiento de la calidad del agua ejerciendo políticas ambientales más rigurosas proporcionando un blindaje a esta, garantizando así el uso eficiente y adecuado de los recursos hídricos disponibles, para lograr su duración en un largo plazo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que Colombia no está exenta de esto, es un país con mucha riqueza hidrológica y con mucho trabajo por hacer, a continuación se mostrara detalladamente el proceso que se realizó para poder desarrollar este documento, el proyecto se realizó en el municipio de la Vega (Cundinamarca) en un tramo del río San Juan que está paralelo a la carrera 5 comprendido entre las calles 16 a 20.

Los procedimientos llevados a cabo fueron reconocimiento del sitio, tomas de muestras, obtención de tiempos de viajes, utilización del QUAL2K y del HEC-RAS programas que fueron de vital importancia; se realiza una toma de muestras y dependiendo de los resultados arrojados en los laboratorios, observar si es capaz de poder auto depurarse o si hay la necesidad de implementar algún mecanismo para ayudar a dicho proceso.

## 2. ANTECEDENTES

En Colombia en el año 1991 comenzaron a aplicar índices de calidad del agua (ICA) los cuales de manera sencilla convirtiéndolo en un valor único número dictaminaban el estado del agua sin tener bases estadísticas, evitando que debido a algunas fluctuaciones de medición se pudiera llegar a tergiversar el rumbo de la investigación, teniendo en cuenta el uso del agua deseado y si se desea hacer una comparación entre cuerpos de agua.

Los ICA tienen grandes desventajas como la pérdida de información, el no tener en cuenta las diferencias según el ecosistema que se está evaluando y la sensibilidad ante los datos obtenidos.

Existen ICA contruidos a partir de parámetros fisicoquímicos en los cuales se evalúan condiciones como el posible uso del agua, condiciones climáticas y geológicas de la región, estos parámetros nos pueden brindar la causa probable del problema, además de las condiciones puntuales del agua. Adicionalmente existen el grupo de índices biológicos como factores de la calidad del agua, dentro de estos se encuentran los microorganismos bentónicos los cuales por medio de su alto nivel de tolerancia ante la contaminación muestra la intervención del ser humano en el ecosistema acuático.<sup>1</sup>

La presencia de ciertos microorganismos en el cuerpo de agua es esencial para poder determinar el grado de contaminación que puede ser de desechos tóxicos, residuos industriales entre otras, un ejemplo muy claro sería que, en un cuerpo de agua con poca turbiedad, alto grado de oxigenación, bajo color y baja conductividad podríamos encontrar microorganismos como los oligoquetos y moluscos lo cual nos va a afirmar que es un cuerpo de agua con un alto nivel de contaminación.

Después de esta investigación es necesario enfatizar en la importancia de parámetros como los usados en el ICA los cuales pueden cumplir un papel totalmente relevante a la hora de evaluar el grado de contaminación de cierto cuerpo de agua, como medida rehabilitante para su posterior aprovechamiento por parte del ser humano.<sup>2</sup>

En Colombia, se llevó a cabo a cabo un proyecto de investigación, la cual se denominó, *aplicación del QUAL2K en la modelación de la calidad del agua del río*

---

<sup>1</sup> Índices de calidad del agua (ICA)

<sup>2</sup> Los macro invertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua.

*Guacaica, departamento de caldas, Colombia*, en la cual se lleva a cabo Las dos campañas de monitoreo realizadas en el río Guacaica con la información existente, permitieron contar con los datos de campo necesarios para implementar el modelo de calidad del agua QUAL2K y realizar su calibración y confirmación. Los resultados permitieron evidenciar un tramo crítico sobre la corriente, el cual tiene problemas de contaminación desde su nacimiento debido a las actividades antrópicas que se realizan en la zona (cultivos de papa, ganadería y vertimientos de aguas residuales domésticas), sin embargo, el mayor impacto que se observa es en el punto en el cual el río recibe a la quebrada Olivares con una alta carga contaminante, lo cual ocasiona que los niveles de todos los contaminantes se incrementen considerablemente y deterioren la calidad del agua del río Guacaica en ese tramo.

En forma general, se puede decir que los resultados de este trabajo representan una línea base en términos de modelación de la calidad del agua para el río Guacaica, puesto que no existen experiencias previas de modelación ni se han realizado más campañas de monitoreo diferentes a las utilizadas para la implementación del modelo de calidad. Se observó que los resultados obtenidos tanto en la calibración y la confirmación del modelo representaron aproximadamente las condiciones encontradas en las dos campañas de monitoreo realizadas en el año 2012.

Además, el modelo reprodujo en menor medida las condiciones en la parte alta y media de la corriente, por lo cual es necesario contar con campañas de monitoreo futuras que permitan realizar el ajuste de las constantes cinéticas encontradas. Los resultados del modelo estuvieron influenciados por la información adicional que no fue recopilada en campo y que es necesaria para una correcta implementación del modelo: constante de re aireación, constante cinética para la DBO filtrada, carbono orgánico disuelto, monitoreo fisicoquímico de tributarios y la identificación de vertimientos importantes sobre la corriente principal<sup>3</sup>.

Así mismo se llevó a cabo una investigación denominado Modelación de la calidad del agua río azul, municipio de Pijao departamento del Quindío: el modelo de calidad del agua del río Azul a través del cual se reproduce en forma aceptable los valores de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH, Temperatura y Coliformes Fecales (CF) en las diferentes estaciones ubicadas a lo largo de la corriente hídrica en su cuenca baja.

---

<sup>3</sup> (Nacional, 2015)

La investigación constó con una campaña de monitoreo con propósitos de calibración en cinco (5) estaciones sobre el cauce principal y dos (2) vertimientos, el tramo seleccionado fue de 663 metros sobre el río Azul, el cual obedece a la inspección de campo realizada sobre esta fuente hídrica donde el mayor impacto que podría afectar la calidad de sus aguas, sería el asociado al vertimiento producido por la industria de truchas ACUAZUL LTDA.

Se concluyó que la calidad del agua en el río Azul registrada el día 28 de julio de 2015, cumple con los objetivos de calidad propuestos por la Corporación Autónoma Regional del Quindío en su Resolución No. 1035 de Noviembre de 2008, como tributario principal del río Lejos. Por el contrario, los Coliformes Fecales y Totales se encuentran por encima de los valores exigidos por el Decreto 1594/84 para la destinación del recurso hídrico en los últimos 120 metros.

De igual forma, que el vertimiento producido por la industria piscícola ACUAZUL, revela concentraciones aceptables en la calidad del agua, a excepción de los Coliformes Fecales y Totales, los cuales poseen valores de 3300 y 17000 NMP/100ml respectivamente, (incremento del 6% en comparación con el año 2014). Luego de ser vertidos al cauce principal del río Azul, se evidencia la capacidad del río amortiguar estos agentes contaminantes llevándolos a valores menores que los registrados antes del vertimiento (Bocatoma ACUAZUL).<sup>4</sup>

También es de mencionar La evaluación del software QUAL2K en fuentes receptoras de vertimientos de residuos líquidos en algunos puntos del río Cesar (Colombia) impactados por actividad minera, en el cual se determinaron las elevaciones, los largos y pendientes de cada segmento. Las pendientes laterales de los ríos estudiados se asumieron correspondientes a un canal trapezoidal con pendientes laterales 1:1. En este el modelo QUAL2K se utilizó para calcular las velocidades en cada segmento para medir el tiempo de residencia. Estas velocidades las computa por medio de la ecuación de Manning bajo condiciones estacionarias. Se empleó un coeficiente de Manning de 0.04 obtenido de las recomendaciones del manual del programa QUAL2K.<sup>5</sup>

Otra investigación denominada *Calibración del modelo Qual2K V2.07 en la evaluación del impacto de cargas orgánicas en el río Frío, Santander, Colombia*, por medio la cual se concluyó que existe una temperatura media en todo el segmento de 32 °C, erosión y baja pendiente < 5d-1), lo cual es negativo para un río de montaña. El sistema hidrogeométrico del segmento hidráulico modelado, presenta una alta rugosidad con un promedio de 0.13 de coeficiente Manning y una profundidad media de 0.6 m. La velocidad media registrada es 0.4 m/s y el

---

<sup>4</sup> (CAR, 2015)

<sup>5</sup> Biblioteca de la Universidad del Zulia sobre vertimientos en el río Cesar

balance hidráulico se evaluó en 2.03 m<sup>3</sup> S-1 con una ganancia 1.5 m<sup>3</sup>/s generadas por vertidos domésticos clandestinos y difusos. El modelo Qual2k V2.07, logra simular con una parametrización promedio de R<sup>2</sup> =0.9, esto indica que el modelo se adecua a las condiciones de modelamiento dinámico en estos ríos de montaña de alta rugosidad y baja profundidad. Las variables más ajustadas son el oxígeno disuelto, la DBOC rápida, el nitrógeno total, el amonio y los Coliformes fecales con un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) promedio de 0.97.<sup>6</sup>

La investigación Integración de los modelos weap y qual2k para la simulación de la calidad agua de fuentes superficiales llevada a cabo en la Cuenca del Río la vieja, Colombia, esta consistió en la evaluación del impacto de las aguas residuales domésticas e industriales se realizó mediante la integración del modelo WEAP en su versión más actualizada y QUAL2K (versión 2.07). En función de los modelos empleados, el modelo QUAL2K es un modelo para el análisis del comportamiento de la calidad del agua, respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés).

En esta investigación se consideró el modelo usado como unidimensional y permanente el flujo del agua, donde para la simulación del transporte de sustancias contaminantes se utilizó el QUAL2K empleando el balance de calor y temperatura en función de datos meteorológicos horarios, introducidos en un espacio de ciclo diario. El QUAL2K simula sistemas hídricos de tipo dendrítico y el cauce es considerado completamente mezclado horizontal y verticalmente, además que el modelo acepta entradas puntuales y no puntuales (distribuidas) de cargas contaminantes y caudales, así mismo la fuente hídrica simulada fue representada como una sucesión de tramos o segmentos llamados elementos computacionales, a través de los cuales se efectúan los correspondientes balances de masa, flujo y calor.

Como consecuencia de esta investigación, el modelo base desarrollado y calibrado para el caso de estudio en la prevención y control de la contaminación hídrica en la cuenca del río La Vieja se pueden encontrar escenarios donde pueden ser desarrollados en el marco del análisis de decisiones robustas y con objetivo de planificación ambiental. El modelo desarrollado para la evaluación de escenarios permitió evaluar estrategias para el control de la contaminación a escala de cuenca. La importancia de este tipo de evaluación, corresponde a la simplificación de sistemas de complejos que contribuyen a la planificación hídrica por sectores y a diferentes tipos de actores. La cuenca como unidad de análisis representa un sistema complejo, que mediante la integración de los modelos

---

<sup>6</sup> Datos tomados del departamento de Santander sobre el río frío

WEAP y QUAL2K puede ser analizada de forma sistémica y en el marco de las decisiones robustas<sup>7</sup>.

En Colombia se realizó la investigación *Modelación Hidráulica en un tramo del río San Juan*, en la cual se logró determinar la respuesta hidráulica de la cuenca para diferentes avenidas, demostrándose la factibilidad y utilidad del software utilizado, así como su fácil manejo. Los resultados del modelo HEC-HMS son de gran auxilio y pueden ser utilizados como condiciones de borde de entrada en el modelo HEC-RAS lo cual se ha comprobado en las simulaciones de este trabajo.<sup>8</sup>

La Aplicación del modelo de simulación hidráulica HEC-RAS para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá - sector Alicachin: en esta investigación se llevó a cabo la modelización con el modelo HEC-RAS la cual permitió calcular para las diferentes configuraciones de caudales para las secciones transversales a lo largo de los dos tramos estudiados del cauce del río Bogotá valores simulados de los niveles de agua, las profundidades de flujo y las velocidades, entre otros variables. Se dividió todo el tramo en estos dos tramos con el objeto de una mejor manipulación y facilidad en la computación a través de la ejecución del modelo. Por las características de la cuenca hidrográfica del río Bogotá en cuanto a la geología y geomorfología y la cobertura vegetal se seleccionaron coeficientes de rugosidad de Manning [4] que varían entre 0.03 – 0.06 bajo las condiciones particulares del sistema de drenaje, así mismo, las pendientes consideradas en el estudio para el tramo del río Bogotá (Villa pinzón – Sector Alicachin), teniendo en cuenta que, este es un río que se caracteriza por ser poco intervenido, son pendientes bajas que varían entre 10-5 y 10-4 m/m.

En esta investigación se utilizó el modelo HEC-RAS, ya que posee todas las capacidades necesarias para realizar una simulación en las condiciones previstas en el estudio, tiene una de las mejores funciones de pre y post procesamiento. Los datos presentan la disposición de editar, modificar y visualizarse en pantalla. De igual forma, tiene la capacidad para interactuar con modelos digitales de terreno (DEM) mediante entorno de sistemas de información geográfica - GIS (ArcInfo, ArcView o ArcGIS) aumentando la eficacia del análisis relativo a parámetros topográficos, asimismo, la aplicación de la extensión HEC-GeoRAS que trabaja en ese mismo entorno, proporciona resultados de alta calidad en cuanto a mapas de inundaciones con gran facilidad.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Unesco integración de los modelos weap y qual2k para la simulación

<sup>8</sup> Modelación del río san juan, Cuba

<sup>9</sup> Revista unilibre sobre el modelo de simulación del río Bogotá

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**¿De acuerdo a los estándares de calidad del agua obtenidos en el río San Juan ubicado en el municipio de la Vega, Cundinamarca es necesario lo construcción de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR)?**

Una planta de tratamiento de agua residual es una instalación en la cual, al ingresar el cuerpo de agua, buscamos eliminar la mayor cantidad de contaminantes posibles en busca de dar un uso para las necesidades básicas del ser humano o también para disponerla al receptor inicial.

El uso de una planta de tratamiento de agua residual depende del nivel de purificación requerido y de los procesos que este mismo necesite, teniendo en cuenta las diferentes etapas de purificación y del filtrado a usar.

Basados en la investigación realizada en este proyecto se podrá determinar de forma clara y concisa el proceso a seguir después de evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua, donde al final se definirá si es necesaria la construcción de una PTAR o el uso de otro método para la descontaminación del afluente.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVOS GENERAL**

Caracterizar los parámetros físico-químicos del río San Juan ubicado en el municipio de la Vega, Cundinamarca en el tramo comprendido entre la calle 16 con carrera 5 hasta la calle 20 con carrera 5.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

Recopilar información necesaria para evidenciar que tipo de agua residual se encuentra en ese sitio específico.

Determinar el grado de contaminación en que se encuentra el río San Juan en el tramo de estudio.

Obteniendo los resultados del estudio de calidad de agua se propondrá la solución más adecuada teniendo en cuenta los parámetros encontrados.

## 5. JUSTIFICACION

De acuerdo con un artículo publicado por El Tiempo el pasado 24 de marzo de 2015, a través de los años cerca del 28 por ciento de la población colombiana presentan problemas por la falta de un acueducto o planta de tratamiento lo que lleva a la ciudadanía a buscar el recurso por sus medios, consumiendo desde pozos y ríos exponiéndose constantemente a una enfermedad. El problema no solo es la falta de acueductos sino también la mala calidad del agua que reciben los colombianos.<sup>10</sup>

Según un artículo de una revista de la escuela colombiana de ingeniería considera que el agua de los ríos en su mayoría es afectada por el contenido de sólidos suspendidos por diversas actividades en su mayoría correspondientes a actividades agrícolas los cuales no solo son molestos visualmente sino que ocasionan olores desagradables, este tipo de escenarios en las fuentes hídricas ponen en peligro la salud pública y perjudican las actividades que involucran el uso del agua de fuentes hídricas, por consiguiente es importante mejorar y propiciar el mejoramiento de las condiciones de las fuentes hídricas, mejorar las condiciones con que el agua llega a la población y que también el recurso sea aprovechado de la mejor manera minimizando costos e impactos en el medio ambiente.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?, 24 de Marzo de 2015, Cristian Ávila Jiménez, El Tiempo, Disponible en: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>

<sup>11</sup> Revista Escuela colombiana de ingeniería octubre-diciembre 2000 planta de tratamiento de aguas residuales del salitre

## **6. DELIMITACIÓN**

### **6.1 ALCANCES**

Se mostrará un documento de investigación sobre la calidad del agua del río San Juan, ubicado en la Vega Cundinamarca, plasmando posibles soluciones a la contaminación encontrada en el lugar de estudio.

Se toma este lugar de estudio porque se encuentra paralelo al municipio, lo que indica que es ahí donde más afectación tiene el río por parte de la comunidad

Se realizará un análisis de calidad del agua en la zona afectada por vertimientos con el fin de buscar solución a problemas encontrados.

### **6.2 LIMITACIONES**

El trabajo solo se realizara en un tramo del río San Juan ubicado en el municipio de la Vega Cundinamarca que comprende una distancia aproximada de 450 metros que es entre la calle 16 y calle 20 con carrera 5.

El proyecto solo se enfocará en la calidad del agua que tiene el río San Juan y en los componentes que la afectan.

El límite de este proyecto será dado por los recursos disponibles y el interés que se tenga en el mejoramiento de la calidad del agua

El trabajo que se realiza va enfocado únicamente en verificar si es necesaria la implementación de una planta de tratamiento de agua residual, el río muestra una afectación en la calidad del agua que transporta dada por los vertimientos que se generan a causa del sector agrícola del municipio.

## 7. MARCO REFERENCIAL

### 7.1 MARCO TEÓRICO

Toda el agua que se encuentra disponible en la tierra presenta diferentes sustancias químicas y biológicas las cuales se pueden encontrar disueltas o suspendidas en ella, las cuales pueden ser contaminantes, también se encuentran en ella muchos organismos vivos que reaccionan con los elementos físicos y químicos, por tal motivo es de gran importancia tratar el agua para que sea apta para el consumo humano.<sup>12</sup>

Cuando el agua tiene organismos microscópicos o sustancias químicas puede ser perjudicial para algunos procesos industriales, pero a su vez puede ser la adecuada para otros usos, según la utilización que se le vaya a dar al agua se aplican los requisitos de calidad. La calidad del agua es “el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales”<sup>13</sup>.

Para poder evaluar el agua, lo primordial es conocer los requisitos de calidad para cada necesidad y con esto decir si es necesario un tratamiento y el proceso para poder cumplir la calidad demandada, cabe destacar que los ensayos que evalúan la calidad del agua deben tener una aceptación mundial con el objetivo de poder compararlos con los estándares de calidad.

La calidad del agua está ligada a los parámetros físicos-químicos de forma que, por medio de estos, se evalúan aspectos importantes como son conductividad y resistencia, color, turbiedad, temperatura (parámetros físicos), y por medio de los parámetros químicos se puede observar el PH, alcalinidad, coloides, sólidos, cloruros, sulfatos, nitrógeno, fosfatos, fluoruros, sílice, bicarbonatos y carbonatos, componentes aniónicos, metales tóxicos y gases disueltos.

Todos los factores tomados a consideración en los párrafos anteriormente mencionados anteriormente son los necesarios para determinar la calidad del agua de una fuente hídrica en la que se lleve a cabo un estudio, una vez es realizado y de acuerdo a los resultados obtenido, se puede conocer da manera más clara y precisas para que se puede utilizar esa agua y si las condiciones físico-químicas que se evidencian en esta son o no las adecuadas para un determinado uso y si es necesario llevar someterlas a ciertos procedimientos especiales para tratarla y volverla útil.

---

<sup>12</sup> Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos.

<sup>13</sup> Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales.

## Parámetros de calidad del agua

El análisis de la calidad del agua es un elemento fundamental para determinar qué tan afectada se encuentra una fuente hídrica respecto a la contaminación causada por factores naturales o por la acción humana, en Colombia con respecto a esta circunstancias se dispone, por parte del ministerio de la protección social establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada, este sistema aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.<sup>14</sup>

El agua que se encuentra de forma superficial no tiene un control estricto sobre su calidad por lo cual cobra gran importancia el análisis y determinación de sus propiedades, debido a que en muchos lugares se utiliza el agua cruda, que es el agua natural que no ha sido sometida a procesos de tratamiento para su potabilización<sup>15</sup> como el agua de ríos, de una quebrada, un manantial o de un acueducto donde no se ha realizado ningún procedimiento de potabilización, en este tipo de agua es utilizada en grandes regiones y muchas veces se encuentra con altos niveles de contaminación y puede ser un medio causante de enfermedades en las poblaciones.

Por tanto para determinar cuál es la calidad del agua se debe tomar a consideración sus características tanto físicas como químicas, ya que para lograr su depuración o limpieza se debe identificar cuales elementos tanto físicos o químicos han sido alterados, Colombia a pesar de ser un país rico en fuentes hídricas cuenta con un panorama oscuro respecto a este tema que demuestran la deficiencia de estudios y medidas que conlleven a garantizar la calidad del agua cruda ya que en Colombia **205 toneladas de mercurio** son vertidas al suelo y al agua de los ríos a nivel nacional, la afectación a la calidad del agua, expresada en cargas contaminantes de material biodegradable, no biodegradable, nutrientes, metales pesados y mercurio; se concentra en cerca de 150 municipios que incluyen ciudades como Bogotá<sup>16</sup>.

El agua es una sustancia que se encuentra en estado natural en la tierra se considera que se encuentra en un 71% de la superficie, y está disponible en sus tres estados líquido, sólido y gaseoso, además posee unas características específicas, entre las físicas y más significativas es que no posee olor, sabor o color, cuando se lleva a cabo un análisis en el agua es importante tener a

---

<sup>14</sup> decreto 1575 de mayo 9 del 2007

<sup>15</sup> Decreto 1575 de mayo 9 del 2007

<sup>16</sup> 2015 Ideam

consideración otras propiedades entre las cuales se puede mencionar la conductividad y olor, color, turbiedad y temperatura.

La conductividad es el indicador de iones disueltos en el agua<sup>17</sup> el agua se puede considerar un gran conductor debido a que permite que las moléculas que están cargadas con electricidad los denominados iones se unen o asocian fácilmente en ella, cabe resaltar que esta la conductividad también depende de la temperatura en la que el agua se encuentre, por consiguiente se puede considerar que la conductividad es la capacidad que posee el agua para transportar corriente eléctrica.

Otra característica física fundamental para determinar la calidad del agua de una fuente hídrica es el olor, se puede considerar que la percepción del olor es un análisis subjetivo del agua pero se debe apuntar que el agua en un buen estado de calidad no debe evidenciar ningún olor ya que entre una de las propiedades del agua es que es inodora, los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición<sup>18</sup>, por lo cual el olor presente en el agua puede evidenciar la efectos del acción biológica por fuente natural o acción del hombre en ella.

El agua es una sustancia sin ningún tipo de color, cuando las fuentes hídricas presentan un tipo de color es debido a elementos contaminantes, se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa,<sup>19</sup> además analizando el ecosistema que existe en la fuente hídrica los organismos que sobreviven son los primeros perjudicados cuando el agua cambia de color en los peces afecta la visión, además estos colores actúan como una barrera ante la luz solar afectando el proceso de fotosíntesis en algas y plantas acuáticas.

También se debe mencionar la turbiedad está relacionado con el color ya que en esta se hace énfasis en la barrera que debido a elementos o materiales que están suspendidos en el agua generan una barrera para que ingrese la luz solar en la fuente hídrica, esta limita los procesos de desinfección y se puede evidenciar en agua potables y agua cruda, entonces la turbiedad es la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de material sin disolver<sup>20</sup>.

Además, se debe tener en cuenta en los aspectos físicos la temperatura, se considera que esta debe estar entre 8 y 15 grados centígrados para el consumo, esta es importante debido a los efectos de esta en a la solubilidad del oxígeno, sin

---

<sup>17</sup> 2013, Leonardo Calle Páez

<sup>18</sup> 2005 Jorge Orellana

<sup>19</sup> 2005 Jorge Orellana

<sup>20</sup> 2010 Guía metas

este elemento mencionado no hay vida, cuando las temperaturas no pueden ser controlados se produce una contaminación térmica.

De igual manera que existen elementos físicos entre las propiedades del agua también se encuentran los químicos entre los cuales se encuentra el pH, el cual es la medida de la intensidad acida o básica de una sustancia en este caso en específico sería la del agua, en la cual para la vida acuática el pH se debe encontrar entre 6.0 y 7.2 por fuera de estos parámetros se desnaturaliza las proteínas, también es importante mencionar la alcalinidad del agua, que es la capacidad para neutralizar ácidos, la presencia de materia orgánica y de sólidos entre los cuales se destacan los sólidos totales, los volátiles, los fijos totales que son residuos de la alcalinización, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos fijos y sólidos disueltos totales, todos estos elementos hacen referencia a la materia sólida, disuelta y suspendida en el agua.

### **Modelación de la calidad del agua**

El comportamiento de los contaminantes en el agua es esencialmente dinámico, pues los contaminantes están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales. Los fenómenos de transporte de contaminantes en cuerpos de agua han sido ampliamente estudiados y han dado origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen su comportamiento ( Modelos de calidad de aguas, 2018). En la actualidad existe un sin número de modelos matemáticos, desarrollados con la finalidad de estudiar el comportamiento de un determinado contaminante o un grupo de éstos a lo largo de una corriente natural (García T., 2009). Por este motivo, ha sido necesario clasificar los diferentes modelos de calidad del agua existentes de acuerdo a sus características para una mejor comprensión y selección de los mismos como puede verse a continuación. (Lozano G., 2003)

Tipos de procesos: Físicos, químicos, biológicos

Tipo de método de solución: Métodos empíricos, soluciones aproximadas, análisis simplificado, modelos matemáticos con diferencias finitas.

Tipo de cuerpo de agua: Río, lago, reservorio.

Dimensión: 1, 2 o 3 dimensiones.

Estado: Estacionario, dinámico, cuasi-dinámico.

Tipo de transporte: Advección, dispersión, intercambio béntico.

Tipo de cuenca: Urbanas, no urbanas.

Comúnmente, la selección del modelo a implementar depende de la disponibilidad de información con que se cuenta, el propósito de la modelación y los procesos a modelar. Esta condición implica que no siempre un modelo puede aplicarse en el estudio de la calidad del agua en una corriente en particular. Sin embargo, se espera que un modelo de calidad del agua cuente con las siguientes características generales.<sup>21</sup>

Simulación de los parámetros básicos de calidad de agua como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno y fósforo, principalmente. Además, el modelo debe considerar la reducción de la concentración de contaminantes por el efecto de entradas de flujo adicionales.

Flexibilidad. Es decir que pueda adaptarse a las condiciones de diferentes corrientes, puesto que sería algo no viable económico y técnicamente utilizar un modelo de simulación diferente para cada corriente.

Aplicabilidad. Se prefieren los programas que hayan sido empleados en otras regiones similares a la de aplicación del modelo.

Simplicidad en su ejecución y precisión en sus resultados. Un modelo con entradas de datos o procesos más complejos, necesariamente no es más preciso.

Viabilidad económica. No se justifica hacer una gran inversión para un programa que tendría casi los mismos resultados de un programa más económico.

Articulación de información existente de calidad del agua, hidrométrica e información meteorológica.

## **QUAL2KW**

El modelo de calidad del agua QUAL2K fue desarrollado para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos por Chapra y Pelletier en el año 2003, posteriormente fue mejorado en el año 2008 y recibió por nombre QUAL2Kw. La nueva versión del modelo tiene la capacidad de simular una corriente principal y tres corrientes secundarias, las cuales pueden ser manejadas de manera independiente o integrarse a la corriente principal dependiendo de las necesidades del usuario. Algunas de las características más representativas del modelo se describen a continuación: (HUERTAS, 2015)

Tipo de software e interface gráfica: el modelo se ejecuta en ambiente Windows mediante el lenguaje Visual Basic. La interface gráfica funciona bajo el software Excel, lo que hace el modelo muy amigable y de fácil uso.

---

<sup>21</sup> (Lozano G. et al., 2003)

Segmentación del modelo: el modelo no presenta limitaciones en la especificación del número y longitud de tramos que se pueden modelar, por lo cual se pueden incluir múltiples fuentes puntuales o dispersas en cualquier tramo.

Dimensionalidad: el QUAL2Kw es un modelo unidimensional en la dirección del flujo, esto es debido a que en la mayoría de los ríos las dimensiones de la longitud son mucho mayores a las profundidades y anchos. Adicionalmente se asume que el río o canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente.

Hidrodinámica: El flujo de agua se simula en condiciones hidráulicas estables, esto quiere decir en condiciones de flujo permanente, simulando períodos de caudal y cargas constantes en el tiempo.

Modelación de sistemas hídricos de tipo dendrítico: El modelo permite realizar simulaciones en casos donde la simulación se extiende no solo a la corriente principal, sino también a tributarios. El modelo tiene capacidad de simular en total cuatro (4) corrientes superficiales de manera independiente o integrada al ramal principal dependiendo de las necesidades del usuario.

Variación diurna del calor: El calor del volumen de agua y la temperatura son simulados como función de aspectos meteorológicos en una escala de variación diurna.

Cinética diurna de la calidad del agua: Todas las variables de la calidad del agua son simuladas en escala de tiempo diurna, aunque el modelo funciona en flujo permanente, tiene la opción de trabajo en la modalidad de un modelo cuasi-dinámico

Entradas de masa y calor al sistema: Se simulan vertimientos y extracciones tanto puntuales como dispersas.

Parámetros modelados: Conductividad, sólidos suspendidos inorgánicos, oxígeno disuelto, DBO rápida, DBO lenta, nitrógeno orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, fitoplancton, detritus, patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, algas de fondo, temperatura y caudal.

Especies de DBO carbonácea: El modelo QUAL2Kw usa dos formas de DBO carbonácea para representar el carbono orgánico. Estas formas son: la DBO de rápida oxidación (DBO fast) y la DBO de lenta oxidación (DBO slow). Adicionalmente, se simula la materia orgánica particulada (Detritus), este material de detritus está compuesto por partículas de carbón, nitrógeno y fósforo en una estequiometría fija.

Patógenos: Se modela un patógeno genérico (coliformes fecales o coliformes totales). La remoción de patógenos está determinada como función de la temperatura, la luz y la sedimentación.

Algas en el fondo (periphyton o plantas radiculadas fijas): El modelo tiene un módulo completo de modelación de crecimiento de phytoplankton (plantas flotantes) y de periphyton y macrófitas (plantas radiculadas fijas) y simula explícitamente las formaciones de algas en el fondo. Los modelos de crecimiento son función de la disponibilidad de nutrientes (fósforo y nitrógeno), de la temperatura, y de la intensidad de luz que penetra en el cuerpo de agua. Esta última a su vez es función de la radiación solar incidente y de la turbidez del agua

Interacciones agua-sedimento: los flujos en la interface agua-sedimento de OD y nutrientes se simulan internamente en el modelo. De esta forma el flujo de demanda béntica (SOD) y de nutrientes es simulado como función de la sedimentación de materia orgánica particulada, reacciones dentro de los sedimentos, y de concentraciones de las formas solubles en la columna de agua.

## **HEC-RAS**

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables. (GRUPO TYC GIS, 2014)

## 8. MARCO CONCEPTUAL

En el marco conceptual se encuentran muchos términos que son de mucha importancia para esta investigación, entre estos podemos hablar de Calidad del agua que se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento, otros términos que son necesarios para el proyecto son el HEC-RAS y el QUAL2K el primero es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos. Permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables y el segundo es un modelo unidimensional en la dirección del flujo capaz de simular una corriente principal y tres corrientes secundarias, las cuales pueden ser manejadas de manera independiente o integrarse a la corriente.<sup>22</sup>

Otros términos que se utilizaron para la elaboración del trabajo de grado fueron Oxigenación, aducción, Aireación, Afluente, sedimentación y captación. Oxigenación se refiere a la cantidad de oxígeno en un medio, en este caso el agua transportada a través del río, aducción es la conducción o transporte de agua desde la cuenca hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación o directamente a la red ya sea por tubería, canal o túnel, aireación es el proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido), El afluente es el agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento, Sedimentación es el proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad y captación es la recolección y almacenamiento de agua proveniente de diferentes fuentes para su uso benéfico.

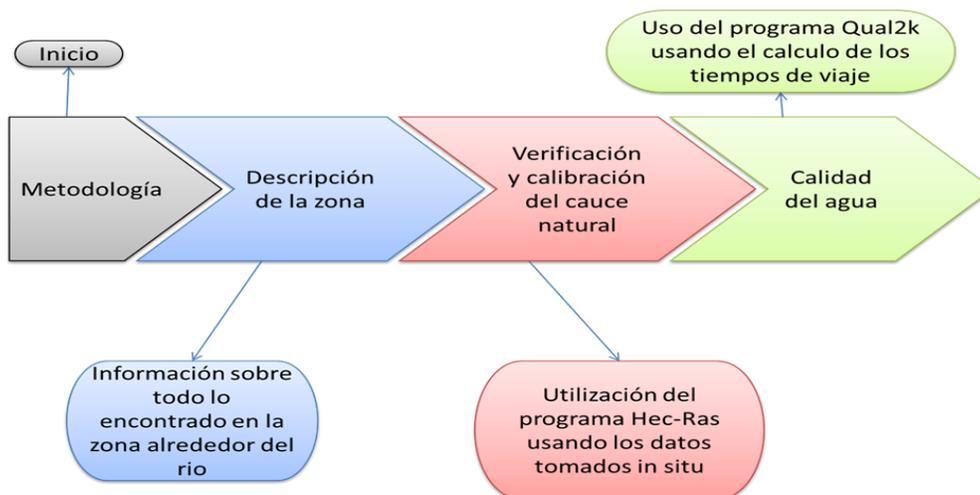
Otro concepto de importancia son las aguas residuales que son aguas procedentes de los usos doméstico, comercial o industrial, su grado de impureza es variable las aguas residuales llevan compuestos orgánicos e inorgánicos, ya sean disueltos o en suspensión, según su origen. Unos de los conceptos más importantes de esto son los tiempos de viajes que es el tiempo que tarda la masa de agua en trasladarse de una estación a otra, lo cual permite en la medida de lo posible tomar las muestras de agua de la misma masa de forma homogénea, además de poder realizar una óptima planificación del muestreo.

---

<sup>22</sup> Aplicación del qual2kw en la modelación de la calidad del agua del río Guacaica, departamento de caldas, Colombia

## 9. METODOLOGÍA

### Pasó a pasó de la investigación



Fuente: Autores

### 9.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El proyecto se realizó en el municipio de la Vega (Cundinamarca) en un tramo del río San Juan que está paralelo a la carrera 5 comprendido entre las calles 16 a 20, el recorrido se empezó río abajo y se observó los componentes que afectan el caudal.

Al realizar la salida de campo al río San Juan en la Vega (Cundinamarca), se observa que en el punto de estudio hay vertimientos causados por galpones como se puede ver en la ilustración 2 y la ilustración 3, también se ve mucha vegetación mostrada en la ilustración 5, el sector presenta una gran presencia de lluvia por lo cual se produce desprendimiento de tierra como se ve en la ilustración 1. Al hacer una identificación de la zona como paso siguiente se ingresó a la parte aledaña del río, se detalló una creciente por la presencia de lluvias lo cual dificultó la toma de muestras pero ayudo con la identificación de caudales presentados por el río en el peor de los casos mediante los datos tomados in situ.

El procedimiento usado para la recolección de muestras está regido por el protocolo de toma de muestras de aguas residuales del Instituto De Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) donde se deben seguir ciertos parámetros descritos a continuación:<sup>23</sup>

Lo primero es organizar las botellas rotuladas, purgar los baldes antes de hacer el aforo, usar recipientes oscuros para transportar la muestra, hacer la recolección de 1 a 24 horas, según lo estipulado en el plan de muestreo basado en lo investigado, en el laboratorio donde se realizará el análisis a la muestra, tapar cada botella que contenga muestra y después agitar, colocar las botellas de un mismo sitio de muestreo dentro de la nevera en posición vertical y agregar hielo suficiente para refrigerar y por último se realiza la medición del caudal del efluente que para ello se hizo una batimetría del río en 4 tramos a lo largo del río a 3 distintas distancias, se tomaron datos de velocidades y alturas de lámina de agua a lo ancho del río cada metro teniendo el río un ancho de 7 metros.

La toma de medidas se hace mediante un decámetro donde se realizó por dos personas en cada extremo del río como se puede observar en la ilustración 5 y 6, por consiguiente se hizo la toma de velocidades y alturas de lámina de agua con el caudalímetro para esto fue necesario el ingreso al río y a distancia de cada metro de la orilla hacer la batimetría correspondiente a cada tramo donde se detalló que la corriente del río es más fuerte y profunda en la mitad, todo lo anterior se puede ver en las siguientes imágenes tomadas el día de la visita.

#### **Ilustración 1.Desprendimiento de tierra**



Fuente: Autores

---

<sup>23</sup> (IDEAM)

**Ilustración 2. Vegetación y desperdicios**



Fuente: Autores

**Ilustración 3. Vertimientos de galpones**



Fuente: Autores

**Ilustración 4. Corriente del río**



Fuente: Autores

**Ilustración 5. Medición de la banca del río**



Fuente: Autores

**Ilustración 6. Medición de velocidades y altura de lámina de agua**



Fuente: Autores

**Ilustración 7. Corriente que presenta el río en el primer tramo de medición**



Fuente: Autores

Se puede detallar que la corriente baja río abajo con más fuerza por motivos de lluvia

### **Ilustración 8. Reconocimiento del río**



Fuente: Autores

#### **9.1.2 Visitas en campo**

En estas visitas que se realizan en campo para reconocimiento del sitio, toma de muestras y cálculo de caudales por medio del caudalímetro y decámetro, se toman también otros aspectos tales como que en la primera visita los datos tomados fueron en condiciones de lluvias por lo que los caudales calculados con los datos de la visita 1 se toman como máximos y en la visita 2 los datos fueron sin presencia de lluvias lo cual se tomaron como caudales mínimos, en las dos visitas se realiza el mismo procedimiento lo que cambia es el caudal con el que se encuentra el río.

Se realizó una toma de datos de velocidades y alturas de lámina de agua con ayuda del Caudalímetro a cada metro a lo ancho del río el cual consta de 7 metros, al momento de la toma de datos se hicieron a 3 distintas distancias a lo largo del río como se puede observar en las tablas 1 hasta la tabla 8 arrojando los siguientes valores:

**Tabla 1. Datos tomados en campo para el primer tramo**

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
CERO	1	4.3	0.29
	2	5.8	0.45
	3	7.5	0.78
	4	5.7	0.5
	5	3.7	0.38
	6	3.2	0.28

Fuente: Autores

### TRAMO 1

**Tabla 2. Datos tomados en campo para el segundo tramo**

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
UNO	1	5.9	0.25
	2	5.9	0.85
	3	7.2	1
	4	5.4	0.85
	5	3.9	0.51
	6	1.8	0.7

Fuente: Autores

### TRAMO 2

**Tabla 3. Datos tomados en campo para el tercer tramo**

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
DOS	1	4.8	0.28
	2	6.1	0.78
	3	6.8	0.9
	4	5.3	0.78
	5	4.1	0.62
	6	2.3	0.48

Fuente: Autores

### TRAMO 3

Tabla 4. Datos tomados en campo para el cuarto tramo

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
TRES	1	6.1	0.3
	2	5.7	0.69
	3	7.7	0.82
	4	6.1	0.74
	5	3.6	0.57
	6	2.8	0.23

Fuente: Autores

### TRAMO 0

Tabla 5. Datos tomados en campo para el primer tramo

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
CERO	1	1.5	0.3
	2	1.9	0.46
	3	1.5	0.57
	4	3.4	0.67
	5	6.7	0.60
	6	1.4	0.5

Fuente: Autores

### TRAMO 1

Tabla 6. Datos tomados en campo para el segundo tramo

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
UNO	1	1.2	0.38
	2	1.7	0.52
	3	5.5	0.49
	4	2.6	0.56
	5	1.7	0.22
	6	1.5	0.19

Fuente: Autores

## TRAMO 2

**Tabla 7. Datos tomados en campo para el tercer tramo**

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
DOS	1	0.2	0.22
	2	1.8	0.54
	3	2.3	0.46
	4	1.6	0.37
	5	1.3	0.25
	6	0.5	0.10

Fuente: Autores

## TRAMO 3

**Tabla 8. Datos tomados en campo para el cuarto tramo**

TRAMO	DISTANCIA DE MEDICION	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA LAMINA DE AGUA (m)
TRES	1	0.9	0.47
	2	1.5	0.60
	3	2.1	0.72
	4	3.7	0.52
	5	1.9	0.42
	6	1.1	0.15

Fuente: Autores

## 9.2 CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL CAUCE NATURAL

### 9.2.1 CÁLCULO DE CAUDALES

En este sub-capítulo se realiza el cálculo de caudales en las dos visitas que se hicieron en el sitio de estudio, también se muestran los valores de áreas calculados de acuerdo con las alturas de lámina de agua y las distancias a lo ancho del río, los datos se encuentran de la tabla 11 hasta la tabla 16 que están a continuación.

**Tabla 9. Abscisas tomadas en campo como alturas de lámina de agua**

ABS	0	1	2	3	4	5	6	7
PUNTO 1	0	-0.29	-0.45	-0.78	-0.5	-0.38	-0.59	0
PUNTO 2	0	-0.25	-0.85	-1	-0.85	-0.51	-0.7	0
PUNTO 3	0	-0.28	-0.78	-0.9	-0.78	-0.62	-0.48	0
PUNTO 4	0	-0.3	-0.69	-0.82	-0.74	-0.57	-0.23	0

Fuente: Excel

**Tabla 10. Áreas calculadas con los datos tomados en campo**

AREA 1 (m <sup>2</sup> )	AREA 2 (m <sup>2</sup> )	AREA 3 (m <sup>2</sup> )	AREA 4 (m <sup>2</sup> )	AREA 5 (m <sup>2</sup> )	AREA 6 (m <sup>2</sup> )	AREA 7 (m <sup>2</sup> )
0.145	0.37	0.615	0.64	0.44	0.485	0.295
0.125	0.55	0.925	0.925	0.68	0.605	0.35
0.14	0.53	0.84	0.84	0.7	0.55	0.24
0.15	0.495	0.755	0.78	0.655	0.4	0.115

Fuente: Excel

**Ecuación 1. Calculo de Áreas**

$$\text{Area: } \frac{(\text{distancia ancho del rio final} - \text{distancia ancho del rio inicial}) * \text{Altura final}}{2}$$

Fuente: Autores

**Tabla 11. Caudales calculados con los datos tomados en campo**

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q TOTAL POR TRAMO
1.10725	2.8565	4.70625	3.078	1.71125	1.248	2.451208333
1.99125	4.35125	6.66	4.3335	2.50575	0.8595	3.450208333
1.608	4.1785	5.712	4.081	2.5625	0.9085	3.175083333
1.96725	3.5625	5.90975	4.37675	1.899	0.721	3.072708333

Fuente: Excel

## Ecuación 2. Calculo de caudales

$$Q = \text{Velocidad inicial} * \frac{(\text{Area final} + \text{Area inicial})}{2}$$

Fuente: Autores

**Tabla 12. Abscisas tomadas en campo como alturas de lámina de agua**

ABS	0	1	2	3	4	5	6	7
PUNTO 1	0	-0.31	-0.46	-0.47	-0.67	-0.6	-0.5	0
PUNTO 2	0	-0.38	-0.52	-0.49	-0.56	-0.22	-0.19	0
PUNTO 3	0	-0.22	-0.54	-0.46	-0.37	-0.25	-0.1	0
PUNTO 4	0	-0.47	-0.6	-0.72	-0.52	-0.42	-0.15	0

Fuente: Excel

**Tabla 13. Áreas calculadas con los datos tomados en campo**

AREA 1 (m <sup>2</sup> )	AREA 2 (m <sup>2</sup> )	AREA 3 (m <sup>2</sup> )	AREA 4 (m <sup>2</sup> )	AREA 5 (m <sup>2</sup> )	AREA 6 (m <sup>2</sup> )	AREA 7 (m <sup>2</sup> )
0.155	0.385	0.465	0.57	0.635	0.55	0.25
0.19	0.45	0.505	0.525	0.39	0.205	0.095
0.11	0.38	0.5	0.415	0.31	0.175	0.05
0.235	0.535	0.66	0.62	0.47	0.285	0.075

Fuente: Excel

## Ecuación 3. Calculo de Áreas

$$\text{Area: } \frac{(\text{distancia ancho del rio final} - \text{distancia ancho del rio inicial}) * \text{Altura final}}{2}$$

Fuente: Autores

**Tabla 14. Caudales calculados con los datos tomados en campo**

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q TOTAL POR TRAMO
0.405	0.8075	0.77625	2.0485	3.96975	0.56	1.427833333
0.384	0.81175	2.8325	1.1895	0.50575	0.225	0.991416667
0.049	0.792	1.05225	0.58	0.31525	0.05625	0.474125
0.3465	0.89625	1.344	2.0165	0.71725	0.198	0.91975

Fuente: Excel

## Ecuación 4. Calculo de Caudales

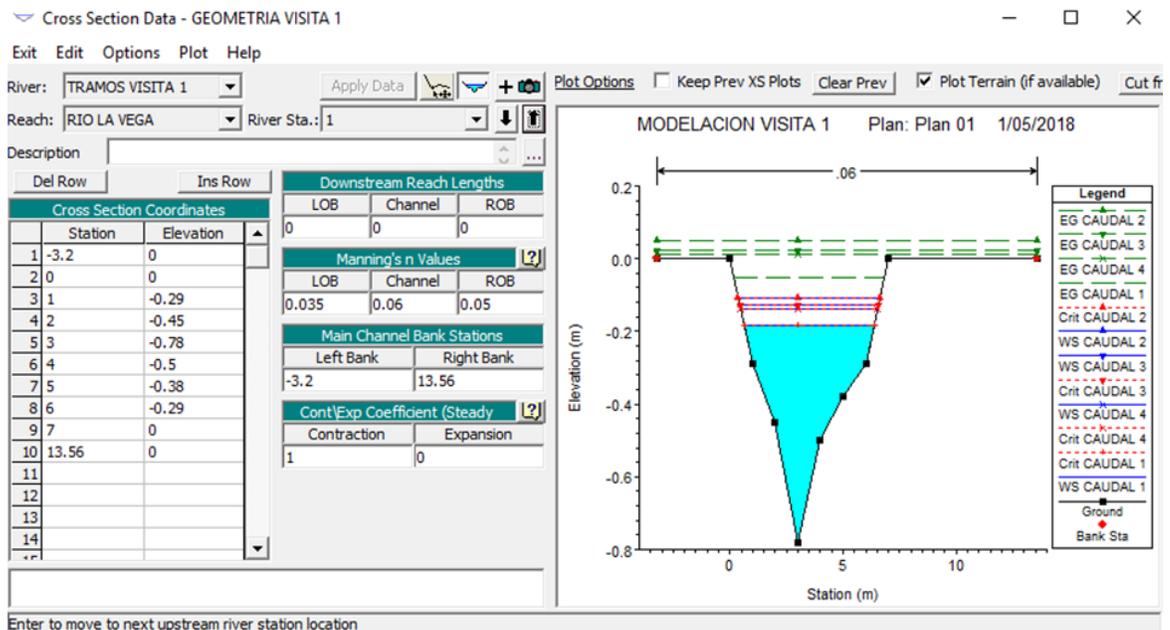
$$Q = \text{Velocidad inicial} * \frac{(\text{Area final} + \text{Area inicial})}{2}$$

Fuente: Autores

### 9.2.2 HEC-RAS

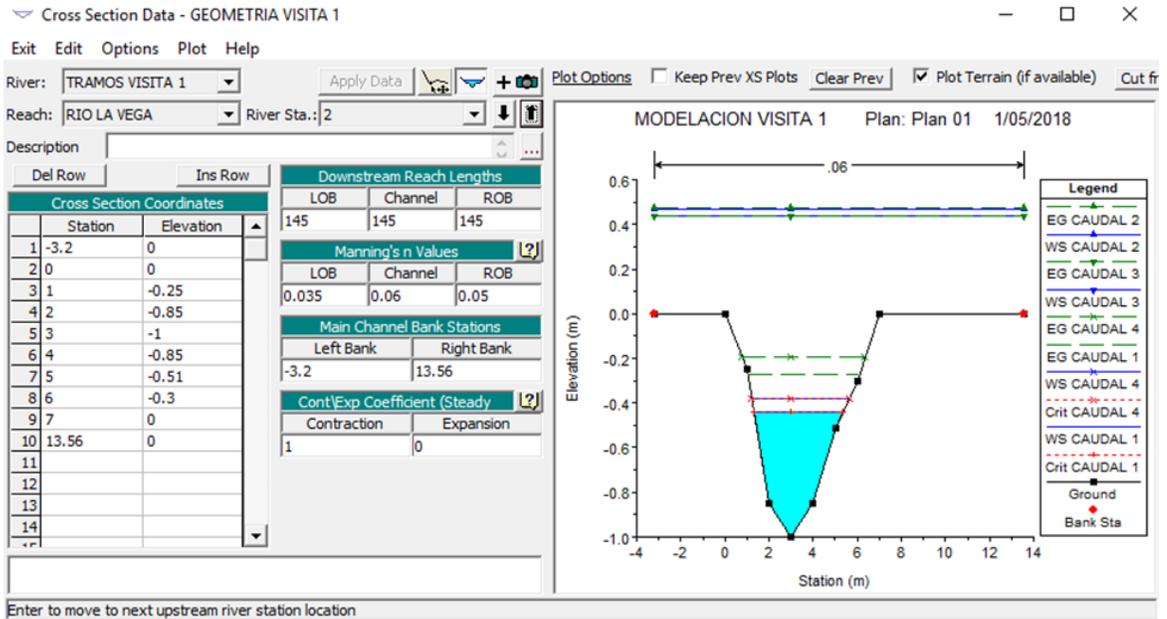
Después de usar las hojas de cálculo para encontrar los caudales se implementa el programa HEC-RAS en el cual se ingresaron los datos de altura de lámina de agua como elevación de manera negativa usando nuestro sistema de referencia para poder ver la verdadera geometría del río, se ingresó el n de Manning dependiendo de las condiciones del río, como las 3 partes del río son distintas como se ve en la ilustración 4, las condiciones del n de Manning se tomaron diferentes valores, se ingresaron las distancias de las bancas del río como se ve en la ilustración 5, este proceso se repite por cada uno de los 4 tramos que se analizaron en ambas visitas los datos de la modelación del río se encuentran desde la ilustración 9 hasta la ilustración 16.

### Ilustración 9. Análisis del Modelo del río para el tramo inicial mediante el HEC-RAS



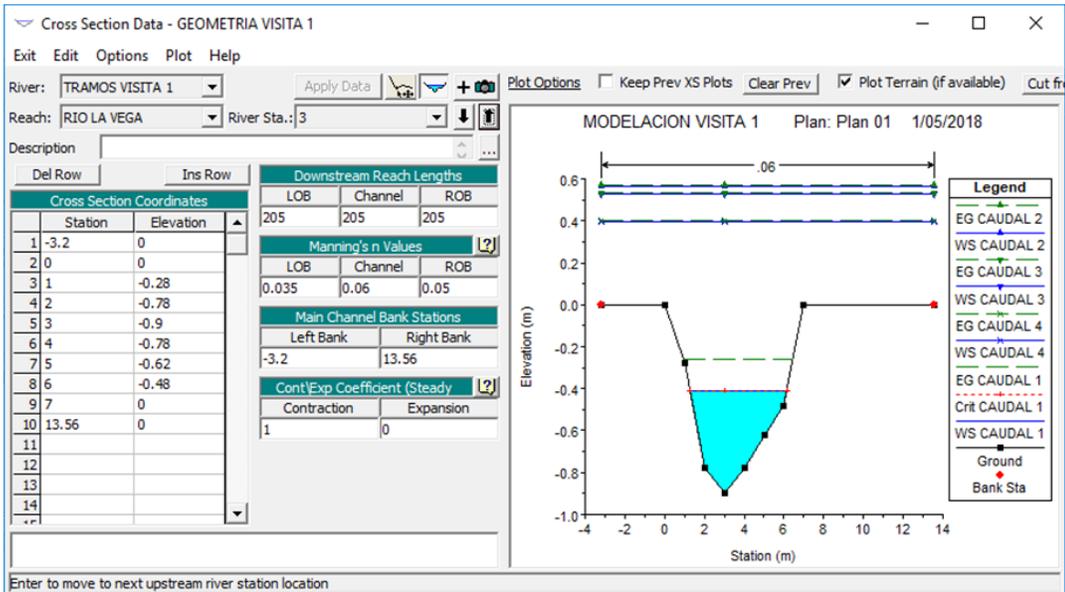
Fuente: HEC-RAS

## Ilustración 10. Análisis del Modelo del río para el segundo tramo mediante el HEC-RAS.



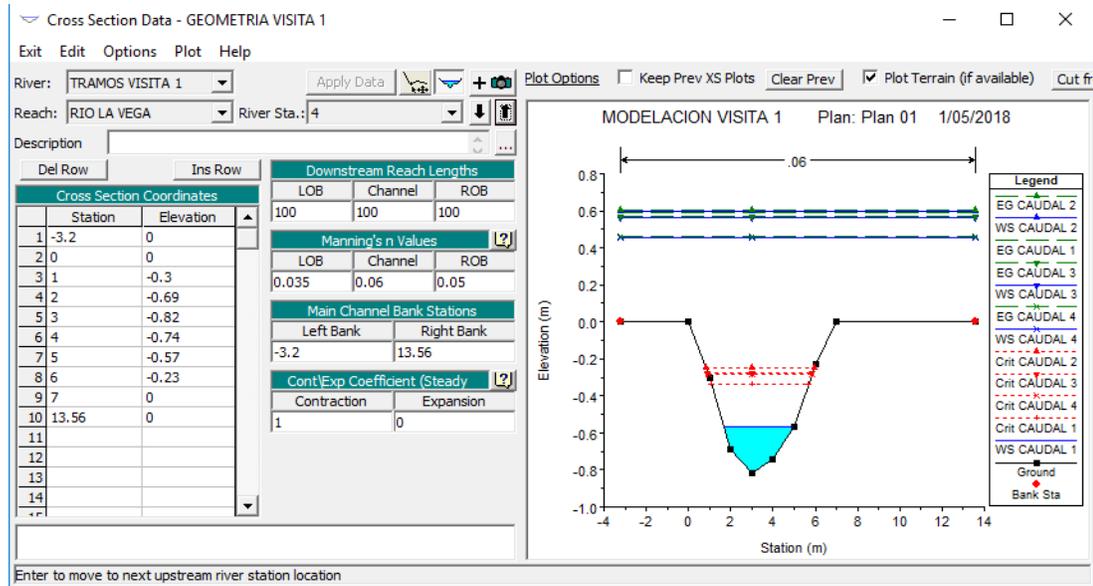
Fuente: HEC-RAS

## Ilustración 11. Análisis del Modelo del río para el tercer tramo mediante el HEC-RAS.



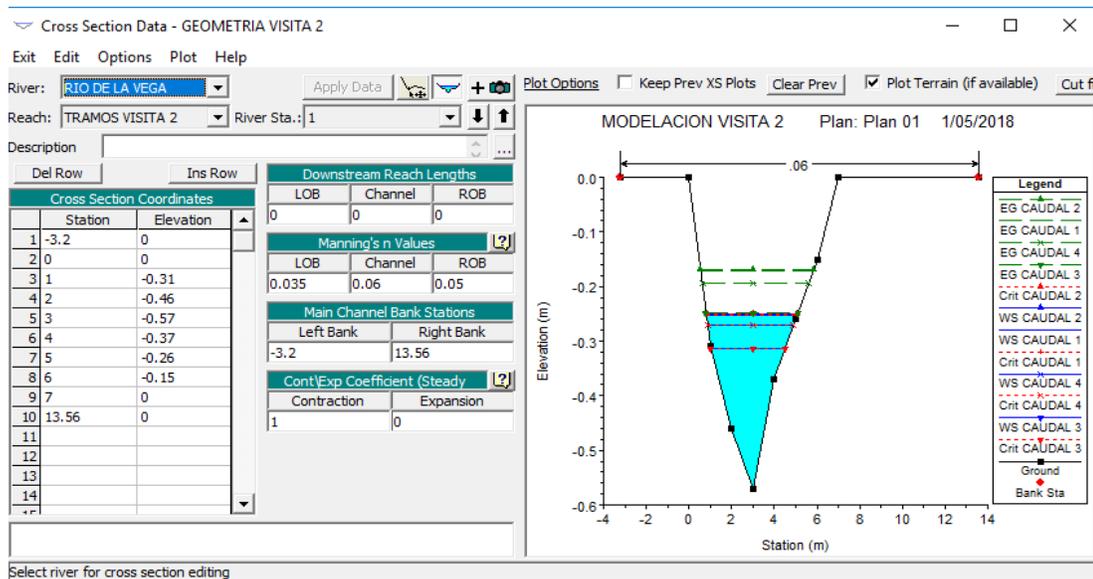
Fuente: HEC-RAS

## Ilustración 12. Análisis del Modelo del río para el cuarto tramo mediante el HEC-RAS



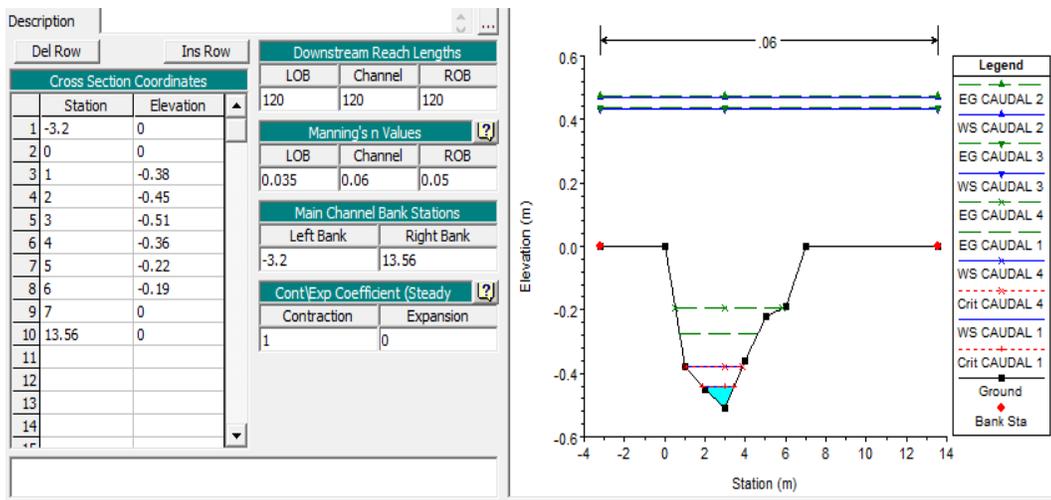
Fuente: HEC-RAS

## Ilustración 13. Análisis del Modelo del río para el tramo inicial mediante el HEC-RAS



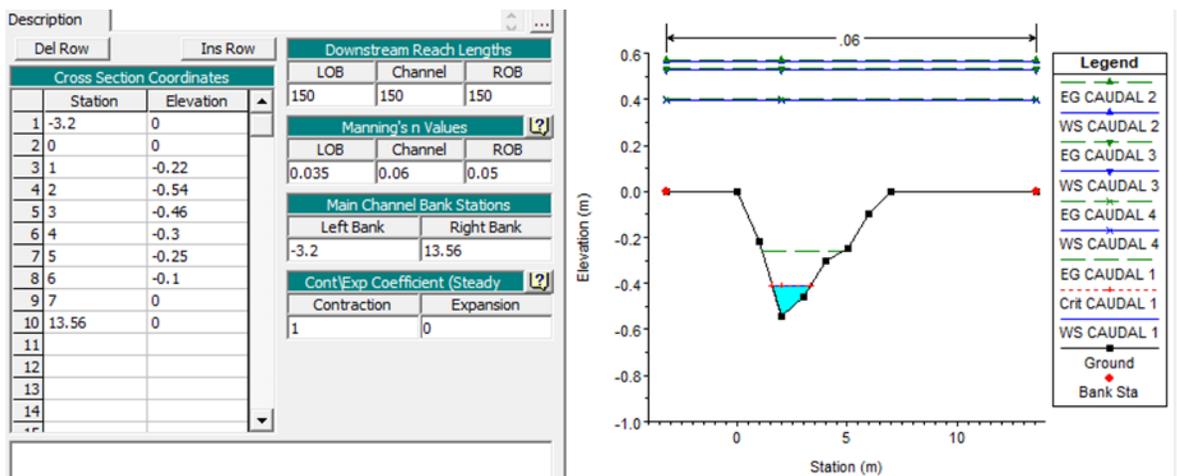
Fuente: HEC-RAS

**Ilustración 14. Análisis del Modelo del río para el segundo tramo mediante el HEC-RAS.**



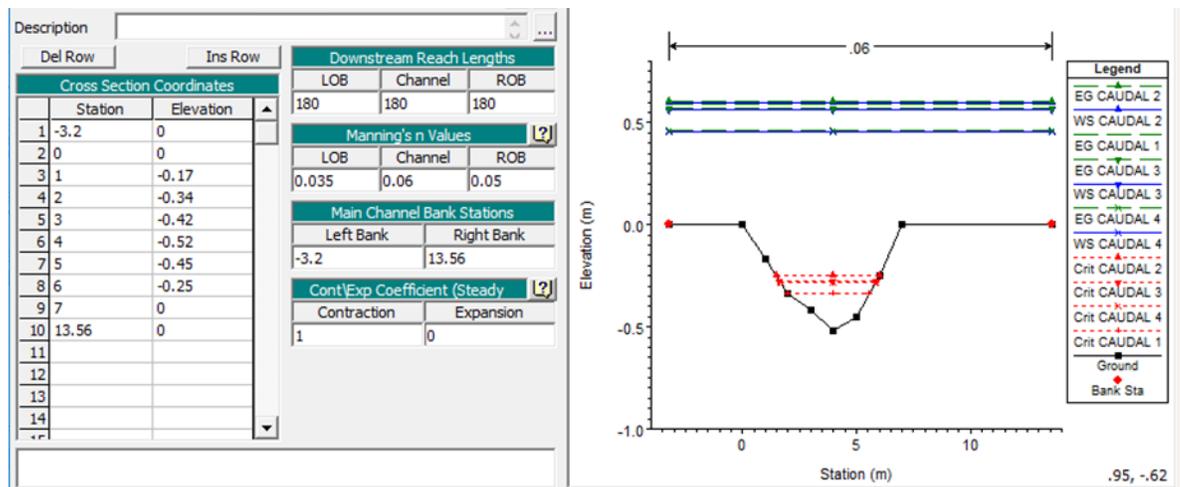
Fuente: HEC-RAS

**Ilustración 15. Análisis del Modelo del río para el tercer tramo mediante el HEC-RAS.**



Fuente: HEC-RAS

### Ilustración 16. Análisis del Modelo del río para el tramo final mediante el HEC-RAS



Fuente: HEC-RAS

### Ilustración 17. Comparativo de velocidades hoja de cálculo vs HEC-RAS

DISTANCIA BATIMETRIA	VELOCIDADES HOJA DE CALCULO				VELOCIDADES HEC-RAS			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4
0 METROS	0	0	0	0	0	0	0	0
1 METROS	4.3	5.9	4.8	6.1	3.9	5.4	4.4	5.7
2 METROS	5.8	5.9	6.1	5.7	5.6	5.5	5.7	5.1
3 METROS	7.5	7.2	6.8	7.7	7.1	6.9	6.4	7.3
4 METROS	5.7	5.4	5.3	6.1	5.3	5	4.9	5.8
5 METROS	3.7	3.9	4.1	3.6	3.4	3.5	3.8	3.2
6 METROS	3.2	1.8	2.3	2.8	2.9	1.5	1.9	2.5
7 METROS	0	0	0	0	0	0	0	0
0 METROS	0	0	0	0	0	0	0	0
1 METROS	1.5	1.2	0.2	0.9	1.1	0.9	0.1	0.6
2 METROS	1.9	1.7	1.8	1.5	1.5	1.4	1.5	1.2
3 METROS	1.5	5.5	2.3	2.1	1.2	5.3	2	1.8
4 METROS	3.4	2.6	1.6	3.7	3.1	2.3	1.3	3.4
5 METROS	6.7	1.7	1.3	1.9	6.4	1.4	1	1.6
6 METROS	1.4	1.5	0.5	1.1	1.1	1.2	0.2	0.8
7 METROS	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores

Se ve detalladamente la similitud de los datos de la hoja de cálculo con los encontrados en el HEC-RAS para así decir que el modelo esta calibrado.

### 9.2.3 Obtención de los tiempos de viaje

Se requiere la obtención de los tiempos de viaje en los diferentes puntos dentro del río Rojo para así conocer cuánto tiempo tarda la masa de agua en trasladarse de una estación a otra, lo cual permite, en la medida de lo posible, tomar las muestras de agua de la misma masa de forma homogénea, además de poder realizar una óptima planificación del muestreo.

A continuación, se explica la metodología utilizada para la obtención de los tiempos de viaje según el modelo matemático Qual2k (Chapra y Pelletier 2003) y su resultado.

El tiempo de viaje ( $T_n$ ) de una corriente hídrica es igual a la sumatoria de los tiempos de residencia ( $t_n$ ) de cada tramo discretizado, es decir:

En este caso se usara para el cálculo de los tiempos de viaje la siguiente formula:

**Ecuación 5. Para calcular los tiempos de viaje por medio de**

$$t_n = \frac{\text{Volumen}_n}{\text{Caudal}_n} \quad \text{Volumen}_n = \frac{(\text{Area}_i + \text{Area}_k) \div 2}{\Delta x_{i,k}} \quad \text{Caudal}_n = \frac{(\text{Caudal}_i + \text{Caudal}_k)}{2}$$

**Ecuación 6. Para calcular los tiempos de viaje**

$$T = \frac{X}{V}$$

Dónde:

X= Distancia entre tomas de muestra

T= Tiempo de viaje

V= Velocidad

## Resultados

**Tabla 15. Tiempos de viaje de la visita 1**

VISITA 2 IN SITU	
TIEMPO DE VIAJE 1	$T_1 = \frac{X}{V} = \frac{0m}{5.033333m/s} = 0_s$
TIEMPO DE VIAJE 2	$T_2 = \frac{X}{V} = \frac{145m}{5.016667m/s} = 28.9037_s$
TIEMPO DE VIAJE 3	$T_3 = \frac{X}{V} = \frac{205m}{4.9m/s} = 41.8367_s$
TIEMPO DE VIAJE 5	$T_4 = \frac{X}{V} = \frac{100m}{5.333333m/s} = 18.7500_s$

Fuente: Autores

En la tabla 9 se ven los tiempos de viaje calculados con las velocidades promedio tomados y las distancias de tramo a tramo.

**Tabla 16. Tiempos de viaje de la visita 2**

VISITA 2 IN SITU	
TIEMPO DE VIAJE 1	$T_1 = \frac{X}{V} = \frac{0m}{2.733333m/s} = 0_s$
TIEMPO DE VIAJE 2	$T_2 = \frac{X}{V} = \frac{120m}{2.366667m/s} = 50.7042_s$
TIEMPO DE VIAJE 3	$T_3 = \frac{X}{V} = \frac{150m}{1.283333m/s} = 116.8831_s$
TIEMPO DE VIAJE 4	$T_4 = \frac{X}{V} = \frac{180m}{1.866667m/s} = 96.4286_s$

Fuente: Autores

En la tabla 10 se ven los tiempos de viaje calculados con las velocidades promedio tomados y las distancias de tramo a tramo.

## 10. CALIDAD DEL AGUA

Se realizó un análisis de laboratorio a las muestras tomadas en campo donde se hicieron los ensayos pertinentes para calidad del agua para así finalizar con la implementación del aplicativo QUAL2K el cual se utiliza con el fin de conocer la oxigenación que tiene el río en el tramo estudiado.

### 10.1 ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA CALIDAD DEL AGUA

Después de la recolección de muestras de agua se realizó un análisis físico-químico en el laboratorio:

Lo primero que se hizo en el laboratorio fue agitar la muestra antes de verter cierta cantidad en un recipiente (Imhof) lo cual se hace con el fin de ver los sólidos sedimentables para lo cual se tendrá que esperar 1 hora aproximadamente.

#### Ilustración 18. Muestras colocadas en recipientes (Imhof)



Fuente: Autores

Será usado el multiparamétrico para hallar conductividad, resistividad, sólidos en suspensión, salinidad, temperatura, PH, oxígeno y % oxígeno

### Ilustración 19. Multiparamétrico instrumento de laboratorio



Fuente: Autores

### Resultados:

**Tabla 17. Resultados del análisis de laboratorio hecho a las muestras tomadas in situ**

RESULTADOS	
CONDUCTIVIDAD	112.8 Microcimens/centimetro ( $\mu\text{s}/\text{Cm}$ )
RESISTIVIDAD	8.93 Kilo ohmio*centimetro ( $\text{K}\Omega*\text{Cm}$ )
SOLIDOS EN SUSPENSION	58.8 mg/l
SALINIDAD	0.1 Sal
TEMPERATURA	10.4 °C
PH	7.21 (Neutro)
OXIGENO	0.3 mg/l
% OXIGENO	4% $\text{O}_2$

Fuente: Autores

La tabla 17 muestra los datos hallados en laboratorio al realizar el análisis de muestras mediante los ensayos de calidad del agua.

Usaremos el espectrofotómetro para analizar el color del agua

### Ilustración 20. Espectrofotómetro



Fuente: Autores

### Ilustración 21. Muestra a analizar



Fuente: Autores

Resultado

COLOR: 3843 UNIDADES DE PLATINO-COBALTO (Ptco)

**NOTA:** Para agua potable las unidades de platino-cobalto deben ser iguales a 20.

- **TURBIDIMETRO**

### Ilustración 22. Turbidímetro instrumento usado para conocer el valor de turbiedad de la muestra



Fuente: Autores

Resultado

**TURBIEDAD:** 901 NTU

- **ALCALINIDAD:** Para la ALCALINIDAD se tomaran 2 muestras de 100 ml en 2 matraz a las cuales se le realizará una titulación con Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), Base-Hidroxido de sodio (NaOH) con una concentración 0.02 normal, metil naranja (10 gotas) la muestra tendrá un cambio de color naranja, Fenolftaleína (10 gotas) nos mostrara un cambio de color a la muestra, los 2 mencionados últimamente serán mezclados con la muestra para así posteriormente ser usados con el ácido y la base.

**Ilustración 23. Muestras tomadas in situ**



Fuente: Autores

**Ilustración 24. Ácido sulfúrico e Hidróxido de sodio**



Fuente: Autores

### Ilustración 25. Titulación de la muestra usando fenolftaleína y metil naranja



Fuente: Autores

- **FENOFTALEINA:** Sera mezclado con 2 ml de base donde el PH de la muestra cambiara a 8 dando un nuevo color violeta
- **METIL NARANJA:** Se mezclara con 3.5 ml del ácido pasando a un PH de 3.99 cambiando la muestra a un color salmón

**NOTA:** Todos los indicadores viran a un PH distinto

Para finalizar será usada la siguiente fórmula para hallar la alcalinidad a nuestra muestra:

#### Ecuación 7. Alcalinidad

$$\frac{\text{Litros consumidos} * \text{concentracion} * 50000}{\text{volumen muestra}} = \frac{(2\text{ml} + 3.5\text{ml}) * 0.02 * 50000}{100\text{ml}}$$

$= 55 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$

Fuente: Proyecto de plantas de tratamiento de aguas

- **DUREZA:**

Para la dureza se usaran 3 reactivos y 50 ml de la muestra

- ✓ Buffer amoniacal: se usa 1ml aplicada a la muestra la cual cambiara el PH a 10
- ✓ E.D.T.A concentración 0.01 Molar ( titulante)
- ✓ Negro de eriocromo t: se usa 0.01  $g_r$  pasa de no tener color a un color violeta

Se realizara una titulación con el E.D.T.A para cambiar su color a azul se usó 2.2 ml, no baja su PH al aplicarle el titulante.  
Para hallar un valor de dureza se usara la siguiente formula:

#### **Ecuación 8. Dureza**

$$\text{Dureza total} = \text{ml consumidos titulante} * 20$$
$$\text{Dureza mg equivalentes} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{l}} = 2.2 \text{ ml} * 20 = 44 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$$

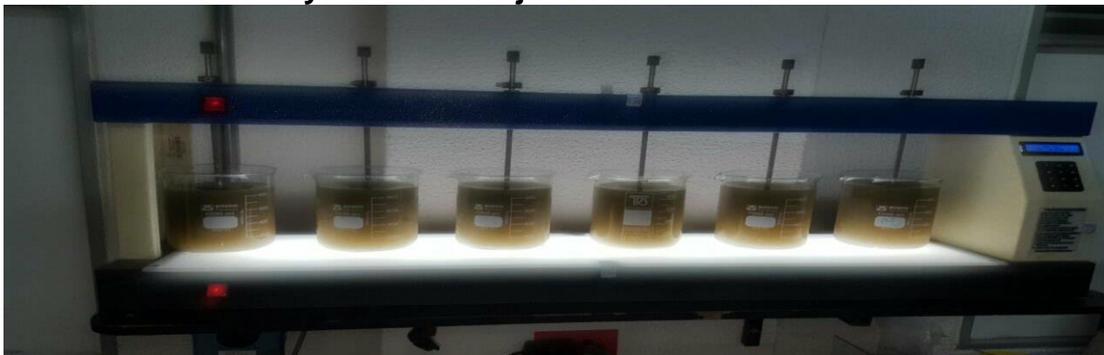
Fuente: Proyecto de plantas de tratamiento de aguas

- **TEST DE JARRAS**

Se hace una preparación de 0.1 gramo de sulfato de aluminio tipo B por litro con agua destilada después la muestra se coloca en un agitador con un imán para mezclar.

Se repite lo mismo 0.1 gramo de Bentonita en un litro lo cual se hace para una mejora de coagulación después se realizara un llenado de 800ml en 6 beaker de muestra cada uno. Para el proceso de dosificación depende si la alcalinidad es mayor o menor a 100 en este caso como es menor a 100 cogimos 0.1 gramo en un litro de muestra

#### **Ilustración 26. Ensayo del test de jarras a muestras tomadas in situ**



Fuente: Autores

Después se realizará una regla de tres para saber la cantidad de coagulante ya que solo vamos a tomar 800ml de muestra por recipiente y normalmente se tendría que trabajar con 1000ml.

## Ecuación 9. Coagulante

$$\frac{110 \text{ ml coagulante} * 800 \text{ ml muestra}}{1000 \text{ ml muestra}} = 88 \text{ ml coagulante}$$

Fuente: Proyecto de plantas de tratamiento de aguas

Para el estudio es considerado el muestreo en diferentes puntos sobre el río San Juan, donde se incluyen vertimientos directos del casco urbano del municipio de la vega. El tramo estudiado inicia paralelamente a la carrera 5 con calles 16 a 20. Las actividades que serán implementadas para el estudio serán las siguientes:

Trabajo de campo

- ✓ Determinación de tiempos de viaje
- ✓ Aforos en el río y toma de muestras de agua
- ✓ Calculo de caudales

Trabajo de universidad

- ✓ Procesamiento de la información físico-química
- ✓ Selección del modelo de simulación a implementar
- ✓ Calibración del modelo

Después de realizar la implementación del programa HEC-RAS para encontrar las velocidades y así obtener los tiempos de viaje se da por consiguiente LA utilización del programa QUAL2K para así realizar un comparativo de los valores obtenidos del análisis hecho anteriormente en el laboratorio con los valores hallados por el QUAL2K con el fin de saber la calidad en que se encuentra el agua del río.

A continuación se mostrara detalladamente los datos que son ingresados al programa con el fin de encontrar la oxigenación del río San Juan. Ya en el programa QUAL2K se ingresó el dato de 3 días para la modelación de la calidad del agua de acuerdo a la zonificación que hay en la zona, la fecha de la visita donde se tomaron las muestras, y los tiempos en horas para el funcionamiento del programa estos datos se pueden ver en la ilustración 27, en la ilustración 28 ingresaron los cálculos encontrados anteriormente en la hoja de cálculo usando los datos tomados en campo, en la ilustración 28 se ven los datos obtenidos después del análisis a las muestras recogidas en la primera visita como lo es el dato de temperatura, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto, conductividad, el n de Manning tomado del libro ven te show dependiendo de las condiciones del río como la vegetación, rocas y por último en la ilustración 29 se observa el oxígeno disuelto en el río gracias a la toma de muestras y a los valores encontrados con la implementación del programa HEC-RAS y el programa QUAL2K al introducir



### Ilustración 29. Datos ingresados del análisis de muestras

Note: \* required field

ID	Number of Headwaters*															
No. 1	Reach No.*	Headwater Name	Flow*	Elevation	Weir				Rating Curves				Manning			
			Rate		Height	Width	adam	bdam	Velocity		Depth		Channel	Manning		
			(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)			Coefficient	Exponent	Coefficient	Exponent	Slope	n	Bot Wic	
	1	Mainstem headwat	2.073	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0600	10
Headwater Water Quality		Units	12:00 a. m.	1:30 a. m.	2:00 a. m.	3:00 a. m.	4:00 a. m.	5:00 a. m.	6:00 a. m.	7:00 a. m.	8:00 a. m.	9:00 a. m.	10:00 a. m.	11:00 a. m.	12:00 p.	
Temperature		C	20.00													
Conductivity		umhos	112.80													
Inorganic Solids		mgD/L														
Dissolved Oxygen		mgO <sub>2</sub> /L	0.30													
CBODslow		mgO <sub>2</sub> /L														
CBODfast		mgO <sub>2</sub> /L														
Organic Nitrogen		ugN/L														
NH4-Nitrogen		ugN/L														
NO3-Nitrogen		ugN/L														
Organic Phosphorus		ugP/L														
Inorganic Phosphorus (SRP)		ugP/L														
Phytoplankton		ugA/L														
Detritus (POM)		mgD/L														
Pathogen		cfu/100 mL														
Alkalinity		mgCaCO <sub>3</sub> /L	55.00													
pH		s.u.	7.21													
No. 2	Reach No.*	Headwater Name	Flow*	Elevation	Weir				Rating Curves				Manning			
			Rate		Height	Width	adam	bdam	Velocity		Depth		Channel	Manning		
			(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)			Coefficient	Exponent	Coefficient	Exponent	Slope	n	Bot Wic	

Fuente: Autores con la ayuda del Programa QUAL2K

### Ilustración 30. Datos de Oxigenación del rio dada por el QUAL2K

Up Dist x(km)	Down Dist x(km)	Abstraction cms	Inflow cms	Temp C	Cond umhos	Oxygen mgO <sub>2</sub> /L
0.12	0.12	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00
0.16	0.16	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00
0.18	0.18	0.00	0.02	20.00	0.00	2.95

Fuente: Autores con la ayuda del Programa QUAL2K

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

Inicialmente se hizo una inspección de la zona aledaña al río donde se realizó todo el proyecto, para así determinar el método por el cual se realizaría la batimetría, por consiguiente, se seleccionó el caudalímetro el cual arroja valores de velocidad al entrar en contacto con la corriente del río y también se leen las alturas de lámina de agua.

La batimetría se realizó en 4 tramos distintos y con 3 diferentes distancias a lo largo del río y una toma de datos a lo ancho de este, que tiene como medida 7 metros constantes en la zona analizada, esta batimetría se hizo con el fin de encontrar los caudales que están en la tabla 13 y tabla 16 donde se calculan los datos de las dos salidas de campo realizadas a cada tramo para así con esos valores hacer un modelo que nos identifique la oxigenación que tiene el río y saber si este es capaz de depurar todos los contaminantes que ingresan en él y de no ser así tratar de implementar alguna solución a este problema que en este caso sería la realización de una PTAR( Planta de tratamiento de agua residual )

Para el cálculo de caudales se desarrolló por medio de hojas de cálculo, se ingresaron los datos tomados en campo que son velocidades y alturas de lámina de agua que se ven en la tabla 1 hasta la tabla 8 donde se encuentran los datos de ambas visitas de campo, al momento de calcular las áreas se usarían como abscisas, tal como se observa en las tablas 11 y 14 que corresponden a la visita 1 y la visita 2 respectivamente, como siguiente paso se hizo el cálculo de caudales por medio de áreas y con los datos de velocidades obtenidos in situ.

Después se entró a analizar el comportamiento de las velocidades ingresadas en la hoja de cálculo con respecto al HEC-RAS como se puede detallar en ilustración 17, donde se determina que entre estas dos hay mucha relación ya que las velocidades de la hoja de cálculo vs a las velocidades encontradas con el HEC-RAS tienen un error de 3.3% lo que nos lleva a la conclusión de que el programa se encuentra calibrado, ya cuando se entra a analizar las muestras se data un PH de 7,21 que según la resolución 0631 del 2015 el valor de este parámetro fisicoquímico debe estar entre 6-9 pero lo más recomendable es que presente un PH básico o sea por debajo de 7, según lo anterior se dice que este parámetro no lo cumple la muestra porque presenta un PH neutro, otro análisis que se realizó fue el del porcentaje de saturación de oxígeno presente en el agua donde se encontró que es del 4 % lo cual según la resolución 0631 del 2015 para que el % de oxígeno sea óptimo debe estar en un rango de 80% y 120%, los valores que estén tanto por abajo como por arriba serán considerados malos como es este caso. Después de obtener los datos por el HEC-RAS y del análisis de las muestras tomadas en campo fueron ingresados en el programa QUAL2K donde nos arrojó una cantidad de oxígeno máxima ofrecida por el río de  $2.95 \text{ mg/L}$  este valor se puede ver en la ilustración 29, teniendo en cuenta los parámetros de

oxigenación indicados en la resolución 631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible debería estar entre un rango de (7.0 a 8.0)  $mg/L$  como parámetros de una buena oxigenación.

Dicho lo anterior por la falta de oxigenación, presentar un PH por arriba del recomendado, % saturación de oxígeno bajo el estándar no se podrá encontrar especies acuáticas que puedan sobrevivir en el río San Juan, por tal razón el objetivo principal es brindar una solución para que el río pueda eliminar los contaminantes.

## 12. CONCLUSIONES

Se realizó una descripción de la zona donde se hizo una toma de muestras y una medición del terreno como alturas de lámina de agua, velocidades, longitud del río, ancho de banca y usando algunas mediciones tomadas en campo se hallaron los valores de caudales. La batimetría se hizo con el fin de realizar una calibración en 4 estaciones sobre el cauce principal y 1 vertimiento. El tramo seleccionado de 450 metros sobre el río San Juan, La Vega (Cundinamarca), al hacer la inspección de campo realizada al río se pudo analizar que el mayor impacto que afecta la calidad del agua sería el del vertimiento de galpones encontrado en la zona.

Se desarrolló el análisis a la muestra de los parámetros físico-químicos del río San Juan ubicado en el municipio de la Vega, Cundinamarca en el tramo comprendido entre la calle 16 con carrera 5 hasta la calle 20 con carrera 5, según lo estipulado en la resolución 0631 del 2015 el tipo de agua evidencia en la zona es de tipo doméstica ya que es procedente de hogares y de actividades industriales.

Dando cumplimiento al primer objetivo se inicia con el análisis de las muestras tomadas in situ en el laboratorio.

Se realizó el análisis a la muestra de los parámetros físico-químicos del río San Juan ubicado en el municipio de la Vega, Cundinamarca en el tramo comprendido entre la calle 16 con carrera 5 hasta la calle 20 con carrera 5.

Al momento de la recopilación de datos arrojados por el análisis de muestra se puede constatar que las condiciones de la calidad del agua no cumplen con los estándares adecuados para poder llamar el agua del río como condición óptima basado en documentos para la calidad del agua encontrados en el (IDEAM), el único parámetro hallado en el análisis que se encuentra en un rango aceptable fue el PH pero este no es un parámetro confiable porque hasta el agua más contaminada puede tener un buen PH y eso no la hace buena como por ejemplo para el consumo humano.

Se encontró que el grado de contaminación en que se encuentra el río San Juan en el tramo se ve muy afectado por el vertimiento ocasionado por galpones como se ve en la ilustración 2 y la ilustración 3, que colindan con el río al cual se le realizó el estudio y por el desprendimiento de tierras como se puede detallar en la ilustración 1, lo que se presenta constantemente en épocas de lluvia en este sector del municipio.

Por último y con base en lo hecho en los anteriores objetivos se realizó la verificación, calibración del cauce natural y la calidad del agua mediante la implementación de programas como (Excel, HEC-RAS, QUAL2K).

Luego de todo el análisis realizado en el laboratorio, en los programas de modelación (QUAL2k y HEC-RAS) y en la hoja de cálculo, se llega a la conclusión que el oxígeno que hay en el río San Juan no es suficiente para la autodepuración ya que no se cumple el parámetro de PH básico, el valor estándar de % de saturación de oxígeno encontrado en la muestra no cumple con lo estipulado en la resolución 0631 del 2015 por lo cual para que el río tenga las condiciones mínimas de entrega como afluente del río Magdalena, la solución más viable por la efectividad es una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) ya que es la manera más rápida para que el río pueda oxigenarse nuevamente y empiece a auto depurarse.

### **13. RECOMENDACIONES**

Hacer revisiones en la zona antes y después del tramo de río estudiado en este proyecto con el fin de conocer si hay más factores que contaminen el agua.

Realizar campañas de concientización en el municipio de la vega con la ayuda del ente encargado controlar y revisar toda la parte ambiental que es la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR) sobre los desperdicios que son arrojados por el pueblo y buscar la ayuda del mismo para hacer limpiezas al cauce del río.

Controlar los vertimientos ocasionados por galpones y contaminantes domésticos que llegan al río, reubicándolos al alejarlos de las laderas y colocando sitios especializados para depositar los desechos de la población.

Realizar una revisión urbanística del sector para conocer los efectos antrópicos que generan los desprendimientos.

Buscar ayuda de personal especializado en el tema de calidad del agua para hacer seguimiento al desarrollo y finalización de este proyecto, con el fin de dar una solución al problema de depuración de contaminantes por falta de oxigenación.

Por último y después de realizar un análisis a cada uno de los aspectos tomados en cuenta como contaminantes del río se recomienda la construcción de una PTAR con el fin de ayudar al río con el proceso de oxigenación depuración o eliminación de agentes contaminantes y la disolución de los sólidos que llegan al río.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

*Modelos de calidad de aguas.* **G., CASTILLO. 2018.** 2018.

*A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators.* **Natalia Eugenia Samboni Ruiz, Yesid Carvajal Escobar y Juan Carlos Escobar. 2007.** 3, s.l. : REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN, 2007, Vol. 27.

**AGUA, I.N.E.N. 1998.** *Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras .* Quito-ECUADOR : s.n., 1998.

**Alcaldía Municipio de la Vega, Cundinamarca; 2017.** MUNICIPIO DE LA VEGA CUNDINAMARCA. [En línea] 12 de SEPTIEMBRE de 2017. [Citado el: 1 de septiembre de 2017.] <http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>.

**Alfredo Vega Quintero.** alcaldía de Aguachica -Cesar. [En línea] <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/aguachicacesarpd20122015.pdf>.

**ambiental, Grupo de trabajo academico en ingenieria hidraulica y. 2015.** Universidad Nacional. [En línea] 2015.

*Análisis de la producción de lixiviado y biogás bajo condiciones de extracción activa en un relleno sanitario.* **Gutiérrez, C. Zafra y V. mayo, 2015.** mayo, 2015, Ingenium, vol. 16, n.º 31, pp. 9-23.

*APLICACIÓN DEL QUAL2Kw EN LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUACAICA, DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA .* **HUERTAS, MAYRA ANDREA CASTRO. 2015.** DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA : s.n., 2015.

**Area Metropolitana del Valle de Aburrá. 2017.** metropol.gov.co. [En línea] 2017. [Citado el: 14 de septiembre de 2017.] [http://www.metropol.gov.co/recursos\\_hidrico/Pages/modelacion.aspx](http://www.metropol.gov.co/recursos_hidrico/Pages/modelacion.aspx).

*Calidad del agua de las quebradas Cristalina y la Risalda.* **Arango , M.C; Alvarez L.F; Arango , G.A; Torres , O.E; & Monsalve. 2008.** 9, San luis, Antioquia : s.n., 2008.

**CAR, Quindio. 2015.** *Modelacion de la calidad del agua del Rio Azul.* 2015.

**Cesar, Consultorias y proyectos del. 2015.** *Actualización del plan de gestión integral de residuos solidos (PGIRS) del municipio de Aguachica - Cesar.* Aguachica - Cesar : s.n., 2015.

**Chapra, S. C. 1997.** *Surface Water-Quality Modelling*, The McGraw-Hill Companies. New York : s.n., 1997.

**Collazos Peñaloza, Hécto. 2013.** *diseño y operacion de rellenos sanitarios*. Bogota : Escuela colombia de ingenieria, 2013.

*Criterios ambientales y geológicos básicos para la propuesta de un relleno sanitario en Zinapécuaro, Michoacán, México.* **Juan Manuel Sánchez-Núñez, Jessica Velázquez Serna, Ma. Elena Serrano Flores, Alfredo Ramírez Treviño, Alejandro Balcazar Vázquez, Raúl Quintero Rodríguez. 2008.** 2008, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

**Cualla, Ricardo Alfredo López. 2003.** *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados (Determinar Poblacion)*. s.l. : Escuela Colombiana de Ingenieria, 2003.

**CUNDINAMARCA, ALCALDIA MUNICIPAL DE LA VEGA. 2017.** Municipio de la Vega Cundinamarca. [En línea] 12 de septiembre de 2017. <http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Pasado,-Presente-y-Futuro.aspx>.

**DANE-informacion estadistica . 2005.** *Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005*. Colombia : s.n., 2005.

**DÍAZ, CARLOS EDUARDO BARRERA. 2014.** *Aplicaciones electroquímicas al tratamiendo de aguas residuales* . MÉXICO D.F : REVERTÉ EDICIONES, 2014.

**española, Real academia de la lengua. 2017.** RAE. [En línea] 2017. <http://www.dle.rae.es/?id=KcmgAx1>.

**Espinel, Alfredo. 2014.** Unimilitar. [En línea] 2014. [Citado el: 14 de septiembre de 2017.]

[http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10837/3/EspinelOrtizAlfredoAndres2014\\_Capitulo%202.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10837/3/EspinelOrtizAlfredoAndres2014_Capitulo%202.pdf).

**G. Tchobanoglous, H. Theissen, and R. Eliassen.** *Desechos slidos. Principios de ingeniería y administración*.

**Garcia T., Pelletier G., Diaz J. 2009.** *Water quality simulation of the Chicamocha river, Colombia. An application of the QUAL2Kw Model. Ecological Modeling*. . COLOMBIA : s.n., 2009.

—. **2009.** *Water quality simulation of the Chicamocha river, Colombia. An application of the QUAL2Kw Model. Ecological Modeling*. . Chicamocha : s.n., 2009.

**Gloria I. González, Elena Rustríán, Eric Houbron, Abigail Zamora. 2008.** *Impacto de la tasa de humedad en la biodegradación de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Veracruz, México.* s.l. : ITSON, 2008.

**Greg, Chapra Steve and Pelletier. 2008.** *QUAL2Kw theory and documentation, A modeling framework for simulating river and stream water quality.* . 2008.

**GRUPO TYC GIS. 2014.** Qué es HEC – RAS y para qué sirve. *Qué es HEC – RAS y para qué sirve.* [En línea] 20 de NOVIEMBRE de 2014. [Citado el: 27 de ABRIL de 2018.] [www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirv](http://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirv).

*Guías para la calidad del agua potable.* **World Health Organization, Pan American Health Organization. 1988.** 1988, Vol. 508.

*Heavy metals in sludge during anaerobic sanitary landfill: Speciation transformation and phytotoxicity.* **Kai Yang, Ying Zhu, Ranran Shan, Yanqiu Shao, Chao Tian. 2016.** 2016, ScienceDirect.

**Holger R. Maier. 1996.** *The Use of Artificial Neural Networks for the Prediction of Water Quality Parameters.* 1996.

**Ideam. 2015.** [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). [En línea] 11 de Agosto de 2015. [Citado el: 14 de septiembre de 2017.] [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones).

**IDEAM.** [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). [En línea] [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428).

*Índice físico-químico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación .* **Rodríguez, Ana Gabriela Perez Castillo y Alexis. 2008.** 4, San Jose, Costa Rica : s.n., 2008, Vol. 56.

*Integration of QUAL2Kw and ArcGIS for Silver Bow Creek, Montana .* **Potts, Michael S. 2014.** Silver Bow Creek, Montana : s.n., 2014.

**Jaramillo, Jorge. 2002.** *Guía para el diseño construcción y operación de rellenos sanitarios manuales .* s.l. : CEPIS, 2002.

**jorge, Orellana. 2005.** Características de agua potable. *Características de agua potable.* 2005.

**Leonardo, Calle Páez. 2013.** *Principales características físico químicas del agua.* Bogota : s.n., 2013.

*Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua.*  
**Pérez, Gabriel Rolán. 1999.** 88, Medellín, Colombia : Academia Colombiana de Ciencia , 1999, Vol. 23.

*LOS RELLENOS SANITARIOS EN LATINOAMÉRICA: CASO COLOMBIANO.*  
**Katia M. Noguera, Jesús T. Olivero. septiembre de 2010.** septiembre de 2010, Acad. Colomb. Cienc. 34 (132): 347-356, 2010. ISSN 0370-3908.

**Lozano G., Zapata M.A. y Peña L.E. 2003.** *Selección del modelo de calidad del agua en el proyecto "Modelación de corrientes hídricas superficiales en el departamento del Quindío.* departamento del Quindío : s.n., 2003.

**MARTINEZ GARCIA, Jasser y GONZÁLES SILGADO, Luís Enrique. 2012.** *Evaluación del poder coagulante del a tuna (opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas residuales.* Cartagena : VILLABONA ORTÍZ, Angel, 2012.

**Ministerio de Ambiente. 2007.** Ministerio de Ambiente. [En línea] 9 de Mayo de 2007. [Citado el: 18 de Agosto de 2017.] [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1775\\_2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf).

**MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONÓMICO. 2000.** *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000.* 2000.

**Ministerio DE Desarrollo Economico . 2000.** Ministerio de Vivienda . [En línea] 17 de Noviembre de 2000. [Citado el: 1 de septiembre de 2017.] [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 LA PROTECCION SOCIAL . 2007.** minambiente.gov.co. [En línea] 9 de mayo de 2007. [Citado el: 14 de septiembre de 2017.] [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1775\\_2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf).

**Nacional, Grupo de Invesigacion Universidad. 2015.** Universidad Nacional. [En línea] 2015.

**O´R sustainable strategies . 2011.** atelieroreilly. [En línea] 2011. <http://atelieroreilly.com/wp-content/uploads/2011/07/OR-WEB-10-pasos-para-la-construccion-sostenible.pdf>.

**Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 1996.** Deposito de Documentos FAO. *Deposito de Documentos FAO*. [En línea] 1996. [Citado el: 07 de 02 de 2014.] <file:///F:/gestion%20ambiental/Nociones%20ambientales%20b%C3%A1sicas%20para%20profesores%20rurales%20y%20extensionistas.htm>.

**Parque Tecnológico Ambiental Guayabal. 2016.** Aseo Urbano . [En línea] 2016. <http://www.aseourbano.com.co/>.

**PEDROZO, EILYN ARIAS. 2012.** *ELABORACION DEL INFORME DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO LAS BATEAS MUNICIPIO DE AGUACHICA*. s.l. : UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, 2012.

**Peñaloza, Hector Collazos. 2013.** *DISEÑO Y OPERACION DE RELLENOS SANITARIOS*. Bogota : Escuela De Ingenieros Julio Garavito, 2013.

**Pérez, Roldán. 2003.** Bioindicaión de la Calidad del Agua en Colombia. [aut. libro] Roldan Pérez. *Bioindicaión de la Calidad del Agua en Colombia*. Medellín : Universidad de Antioquia, 2003.

**Proyecto de Acuerdo 113 de 2011 Concejo de Bogotá D.C. 2011.** Alcaldia de bogota -PROYECTO DE ACUERDO 113 DE 2011 "Por medio del cual se establecen los centros de disposición de residuos domiciliarios peligrosos para Bogotá, D.C.". [En línea] 2011. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=41936>.

**Publishers, Van Nostrand-Reinhold. 1994.** *Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. Nueva York, NY, Estados Unidos : s.n., 1994.

*Resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios* . **Andrés Ramirez, Diego Cuarán. 2015.** 2015, Dyna.

*Revision de parametros fisicoquimicos como indicadores de calidad y contaminacion del agua*. **Samboni Ruiz, N.E, Carvajal Escobar, Y y J.C, Escobar. 2007.** 27, 2007.

**Sbarato, Rogelio Abburá - Darío. 2009.** *EL MANEJO DE LOS RESIDUOS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES (virtual)*. s.l. : Encuentro , 2009.

**Seoanez Calvo, Mariano. 1993.** *Residuos, Problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción*. s.l. : Mundi Prensa, 1993.

**Sergio Galindo-Rodriguez, Eric Allemann, Hatem Fessi and Eric Doelker. 2004.** *Physicochemical Parameters Associated with Nanoparticle Formation in the Salting-Out, Emulsification-Diffusion, and Nanoprecipitation Methods.* s.l. : Pharmaceutical Research, 2004. 8.

**Sladeczek, V. 1973.** *System of water quality from the biological point of view.* Prague (Czechoslovakia) : s.n., 1973.

**urbano, Aseo. 2017.** Grupo Sala . [En línea] 2017. <http://gruposala.com.co/es/marcas-e-innovacion/aseo/aseo-urbano-cucuta/>.

*USO DE BIOSÓLIDOS EN LA REHABILITACIÓN DE ÁREA EN EL RELLENO SANITARIO SANTIAGO PONIENTE- CHILE.* **Lucrecia Brutti, Valentina Vallejos. marzo 2012.** marzo 2012, Acad. Colomb. Cienc. VOL. 3(1), pp. 115-121.

**VILLACRESE, Prado y VANESSA, Erika. 2015.** *Estado de la calidad del agua del río teaone (cuenca baja) entre la termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas.* 2015.

**VIZCAINO, L. 2009.** *Indices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicaciones en la ciencia lerma-chapala. [aut. libro] forma de estimarlos y aplicaciones en la ciencia lerma-chapala Indices de calidad del agua (ICA).* Mexico : s.n., 2009.

**WEBER, Walter J. 1979.** *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos. Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos.* s.l. : Reverté, 1979.