

**MODELACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS
PARÁMETROS: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, pH, OXÍGENO DISUELTO,
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5), COLIFORMES TOTALES, AGUAS
ARRIBA DE SAN GIL EN EL RIO FONCE (SANTANDER, COLOMBIA)**

KAREN YESENIA VARGAS ESLAVA 1102493
LAURA ARACELLY LUCERO ROSERO 1102507



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2020**

**MODELACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS
PARÁMETROS: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, pH, OXÍGENO DISUELTO,
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5), COLIFORMES TOTALES, AGUAS
ARRIBA DE SAN GIL EN EL RIO FONCE (SANTANDER, COLOMBIA)**

**KAREN YESENIA VARGAS ESLAVA 1102493
LAURA ARACELLY LUCERO ROSERO 1102507**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:
INGENIERA CÍVIL**

TUTOR: Ph.D. HEBERT GONZALO RIVERA
DIRECTOR DEL PROGRAMA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2020**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios que me lo ha dado todo y por su constante presencia en mi camino, a mi padre que aunque no esté es mi motor junto a mi madre que es mi roca y mi todo, a mis hermanos por sus enseñanzas a lo largo de toda mi vida, a mi novio que es la luz en medio de la obscuridad, al ingeniero Hebert Rivera que más que mi tutor ha sido guía en mi camino, a mis compañeros y amigos por la complicidad, cariño y ayuda, y por último a mi gran amiga Laura que me ha acompañado a lo largo de toda mi carrera y sin ella este trabajo no hubiera sido posible.

Karen Yesenia Vargas Eslava.

Todo lo que he logrado hasta hoy ha sido posible gracias a Dios quien es mi pilar y mi guía en todo tiempo, a mis padres quienes han sido mi fuente de aliento, apoyo y determinación, mi abuela materna y mis abuelitos paternos que con su inmenso amor me han dado confianza, mis familiares con quienes vivo, que han creado en mí una visión diferente, al ingeniero Hebert Rivera mi tutor que ha logrado que este proyecto se lleve a cabo logrando impulsar mi camino hasta ser una ingeniera, al ingeniero Sergio Barbosa que sin su ayuda no hubiera sido posible la modelación, a todos mis amigos que me han dado su apoyo y cariño y sobre todo a mi amiga del alma Karen quien ha estado desde el inicio de mi carrera sin importar las circunstancias, logrando dar paso a la realización de nuestro trabajo en equipo.

Laura Aracelly Lucero Rosero.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
INTRODUCCIÓN	10
1. CONSIDERACIONES BÁSICAS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 JUSTIFICACIÓN	11
1.4 ANTECEDENTES.....	12
1.5 NORMATIVIDAD	14
1.6 LOCALIZACIÓN.....	14
2. COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	21
2.1 SECCIONES TRANSVERSALES	21
2.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	26
2.2.1 Comportamiento histórico de los caudales.....	27
2.2.2 Estimación del valor medio del caudal	29
2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA	30
2.3.1 Información de parámetros físicos	30
2.3.2 Información de parámetros químicos	32
2.3.3 Información de parámetros biológicos	38
3. APLICACIÓN DEL MODELO QUAL2K.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa departamento de Santander, Colombia. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).....	15
Ilustración 2. Cuencas hidrográficas del departamento de Santander, Colombia con jurisdicción de la CAS. (Departamento de investigación UNISANGIL, 2017)	16
Ilustración 3. Red hídrica del Río Fonce, (G Y R Ingeniería Ltda, 2014)	17
Ilustración 4. Topografía San Gil, Santander, Colombia, (Topographic Map, 2020).	18
Ilustración 5. Descenso rio abajo (San Gil, 2020).	20
Ilustración 6. Secciones del tramo del río, (Google Maps, 2020)	22
Ilustración 7. Parámetros de calidad del agua.....	30
Ilustración 8. Colonias de coliformes formadas en el laboratorio.....	39
Ilustración 9. Archivos QUAL2K. Fuente propia	43
Ilustración 10. Creación de la carpeta QUAL2K en el disco C y extracción de archivos de QUAL2K. Fuente propia.....	44
Ilustración 11. Características de guardado del modelo QUAL2K. Fuente propia	44
Ilustración 12. Ventana 1 para verificación del buen funcionamiento del modelo. Fuente propia.....	45
Ilustración 13. Tiempo de viaje. Fuente propia.....	46
Ilustración 14. Creación de documento con la extensión “. q2k”. Fuente propia	47
Ilustración 15. Datos iniciales de calidad de agua del tramo - Headwater. Fuente propia.	47
Ilustración 16. Datos específicos del tramo y los puntos de toma de muestra - Reach. Fuente propia.....	48
Ilustración 17. Datos de temperatura del aire - Air Temperature. Fuente propia	48
Ilustración 18. Datos de temperatura del punto de rocío - Dew Point Temperature. Fuente propia.....	49
Ilustración 19. Datos de velocidad del viento - Wind Speed. Fuente propia.	50
Ilustración 20. Datos cobertura de nube - Cloud Cover. Fuente propia.	50
Ilustración 21. Datos sombra - Shade. Fuente propia.	51
Ilustración 22. Datos de calidad de agua de origen del punto – Point Source. Fuente propia.....	51
Ilustración 23. Datos de temperatura máxima, mínima y media del tramo de estudio - Temperature Data. Fuente propia.	52
Ilustración 24. Datos de calidad de agua que se obtienen en laboratorio – WQ Data. Fuente propia.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información recolectada sobre antecedentes. Fuente propia.	12
Tabla 2. Marco normativo. Fuente propia.....	14
Tabla 3. Censos en el municipio de San Gil, Santander. Fuente propia.....	18
Tabla 4. Proyecciones de población método aritmético, geométrico, exponencial del municipio de San Gil, Santander. Fuente propia	19
Tabla 5. Longitudes y Latitudes de las secciones transversales. Fuente propia.....	21
Tabla 6. Pesos obtenidos en el laboratorio de calidad aguas.....	31
Tabla 7. pH de las secciones obtenidos en el laboratorio de calidad aguas.....	32
Tabla 8. Datos de oxígeno disuelto obtenidos en el laboratorio.	33
Tabla 9. Diluciones sugeridas en función del DQO, (Velasco, 2018)	35
Tabla 10. Datos de OD inicial de las muestras diluidas.....	36
Tabla 11. Datos de OD final (5 días después) de las diluciones establecidas.....	37
Tabla 12. Resultados obtenidos de DBO5 en el laboratorio.	Tabla
13. Rangos de clasificación de valores de DBO5, (Velasco, 2018)	37
Tabla 15. Conteo de colonias formadas en el laboratorio, fuente propia	40
Tabla 16. Características de algunos softwares comerciales, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).....	42

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Proyecciones de población para el municipio de San Gil, Santander. Fuente propia.....	20
Gráfica 2. Comportamiento de los valores mínimos de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.	27
Gráfica 3. Comportamiento de los valores medios de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.	28
Gráfica 4. Comportamiento de los valores máximos de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.	28
Gráfica 5. Comportamiento de los valores medios en el mes de marzo de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.	29
Gráfica 6. Comportamiento del pH mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia.....	54
Gráfica 7. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia	55
Gráfica 8. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia.....	56
Gráfica 9. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia.....	57
Gráfica 10. Comportamiento de los Coliformes Totales mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia	58

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Sección del tramo 1, Fuente propia.	23
Fotografía 2. Sección del tramo 2, Fuente propia.	23
Fotografía 3. Sección del tramo 3, Fuente propia.	24
Fotografía 4. Sección del tramo 4, Fuente propia.	24
Fotografía 5. Sección del tramo 5, Fuente propia.	25
Fotografía 6. Sección del tramo 6 vertimiento del hotel Villa Real, Fuente propia.	26
Fotografía 7. Sección del tramo 6, Fuente propia.	26
Fotografía 8. Sólidos suspendidos totales obtenidos en el laboratorio, Fuente propia.	31
Fotografía 9. Lectura de pH de las muestras, Fuente propia.....	32
Fotografía 10. Medición de OD de las muestras con el oxímetro, Fuente propia ..	33
Fotografía 11. Ajustes de pH con ácido sulfúrico, fuente propia.....	35
Fotografía 12. Medición de oxígeno disuelto inicial de las muestras diluidas, fuente propia.....	36
Fotografía 13. Almacenamiento de las botellas para realizar la lectura de DBO5, fuente propia.....	36
Fotografía 14. Equipos empleados en el laboratorio para determinar coliformes, fuente propia.....	38

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Valores mínimos mensuales de caudales, fuente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020)	62
Anexo 2. Valores medios mensuales de caudales, fuente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020)	63
Anexo 3. Valores máximos mensuales de caudales, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020).....	64

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Constitución Política de Colombia, el Estado deberá planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales para así, garantizar su conservación, restauración y sustitución. (Constitución Política, 1991, art. 80)

El estado colombiano debe garantizar la calidad del agua para todas aquellas actividades en que el uso de este sea necesario, especialmente para el consumo humano. El Sistema Nacional Ambiental (SINA) nace en 1993 con la urgencia de proteger y hacer uso sostenible del patrimonio ambiental, presentando la siguiente jerarquía: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (en aquel entonces ministerio del Medio Ambiente), Corporaciones Autónomas Regionales, Departamentos o Distritos y municipios, (Ley 99 de 1993, art. 4)

La cuenca hidrográfica del río Fonce está ubicada en el departamento de Santander, bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) que comprende 74 de los 87 municipios del departamento.

La modelación de una fuente hídrica es una herramienta muy importante para la planeación, el diseño y la implementación de diferentes programas de control de la contaminación. Al emplear de una forma adecuada estos tipos de modelos podrían ser usados para la estimación del impacto generado sobre el agua. Para llevar a cabo ésta es necesario contar con suficiente información sobre la calidad del agua.

El trabajo se realizó con información primaria y secundaria, toma de muestras en el río en cada uno de los seis (6) tramos seleccionados, procesamiento de la información del instituto IDEAM, procesamiento de las muestras de agua en el laboratorio de nuestra universidad, análisis de los resultados de las muestras y de la modelación, así como consulta de bibliografía específica sobre el tema del trabajo.

1. CONSIDERACIONES BÁSICAS

A continuación, se presentan los objetivos que se desean cumplir a lo largo del trabajo, para ello es necesario realizar una justificación detallando el porqué es importante llevar a cabo el estudio, describir los antecedentes que se hallaron sobre el río Fonce y las diferentes modelaciones que se han realizado con el software QUAL2K, por otro lado, es importante tener en cuenta la normatividad vigente y la delimitación para el tramo de estudio.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar mediante la modelación dinámica con el software QUAL2K, la calidad del agua con parámetros de sólidos suspendidos totales, pH, OD, DBO5 y coliformes totales a 8 km aguas arriba del río Fonce en San Gil (Santander, Colombia).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Compilar la información sobre la calidad de agua en el río Fonce para el tramo de estudio.
- II. Tomar muestras de agua en diferentes puntos del tramo del río y analizar los parámetros de calidad de agua (sólidos suspendidos totales, coliformes totales, pH, OD y DBO5).
- III. Aplicar el modelo QUAL2K para el cauce del río Fonce para el tramo de estudio.
- IV. Analizar los resultados del modelo QUAL2K.
- V. Difundir y socializar los resultados.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es fundamental tener conocimiento sobre la calidad en que se encuentran los recursos hídricos, ya que estas fuentes son necesarias para la vida. En la actualidad se ha venido presentando un deterioro progresivo de dichos recursos, provocando una afectación en varios factores, tanto naturales, como los que se relacionan con las actividades del ser humano, siendo necesario la implementación de normativas que protegen la calidad de los cuerpos de agua, al igual que un monitoreo, control y cumpliendo con lo que se establezca en cada una de las normativas que se encuentren vigentes. Para ello se han creado diferentes softwares que modelan o simulan el comportamiento de los contaminantes que se puedan encontrar en los cuerpos de agua, entre estos se encuentra QUAL2K, que permite realizar el análisis de parámetros de calidad de agua unidimensionalmente, con una amplia capacidad de datos como: oxígeno disuelto OD, demanda bioquímica de oxígeno DBO5, sólidos totales suspendidos, ciclo de nitrógeno y fósforo, coliformes totales, pH, temperatura y fitoplancton, a través de la trayectoria del cuerpo hídrico y cambios de aspectos hidrológicos.

El último informe detallado y realizado sobre análisis de la calidad del agua del río Fonce fue en el año 2014, documento que lleva por nombre “Formulación del plan de ordenamiento del río Fonce y sus tributarios” (G Y R Ingeniería Ltda, 2014). Conocer el estado de la calidad del agua mediante un ejercicio de modelación a fecha reciente es importante, dada la variación de los caudales en el tiempo, dada la necesidad de obtener

parámetros actualizados de la calidad de agua del río, también vale mencionar que debido al gran volumen de turistas provenientes del interior del país, atraídos por los deportes que se realizan en el río durante diferentes épocas del año en el municipio de San Gil, es importante verificar el uso que actualmente se le da al cuerpo de agua. Por otro lado, es un municipio con alto grado de agricultura, con presencia de hoteles y viviendas a las orillas del río.

Es esencial identificar cuán contaminado se encuentra el río Fonce aguas arriba de la cabecera municipal de San Gil por medio del análisis de la modelación de calidad de agua y el diagnóstico de éste, debido a todas las actividades anexas que se realizan en el tramo, con el fin de generar valores que se puedan tomar en cuenta a futuro en pro de la protección y recuperación del recurso hídrico.

1.4 ANTECEDENTES

Es de gran importancia conocer los diferentes valores de los parámetros obtenidos en investigaciones anteriores y también las diferentes modelaciones que se han realizado en el territorio nacional. En la tabla 1 se pueden observar algunas de las diferentes investigaciones realizadas en el río Fonce y la implementación del Software en diferentes fuentes superficiales.

Tabla 1. Información recolectada sobre antecedentes. Fuente propia.

Título	Autor	Descripción	Resultados
Análisis de los parámetros físicos de la calidad del agua del Rio Fonce (san gil Santander) en la percepción del modelo Newtoniano materia energía espacio y tiempo (MEST), 2017	Everth Jiménez & Diana López. Universidad Militar Nueva Granada	Se identifican las variables de calidad de agua, empleando el modelo MEST	Se tomaron 5 muestras de agua en el río Fonce, los parámetros analizados fueron: Color verdadero (40-50), Ph (6,78 -7,14), Turbiedad (14,55-16,18) y olor (aceptable).
Avances de investigación en la recuperación del río Fonce, 2017	Departamento de investigación UNISANGIL	Se presentan 13 estaciones de monitoreo a lo largo del río Fonce, donde se muestran los valores de los parámetros.	Con respecto a los coliformes, se incrementan a lo largo del río. No se presenta una correlación entre las variables analizadas.

Fórmulación del plan de ordenamiento de río Fonce y sus tributarios.	Consultoría G y R ingeniería Ltda.	Emplearon el Software QUAL2KW con el fin de definir usos, fijar objetivos, y determinar cargas máximas permisibles.	Se evidencia el impacto negativo en la calidad el agua del río Fonce (falta de tratamiento en vertimientos en San Gil).
Aplicación del qual2kw en la modelación de la calidad Del agua del río Guacaica, departamento de Caldas, Colombia, 2015.	Mayra Castro	Calibración y confirmación del modelo, se permitió formular un escenario de saneamiento futuro.	Permitió identificar un tramo crítico sobre la corriente, el cual presenta problemas de contaminación.
Plan de ordenamiento del recurso hídrico de la quebrada Miraflores	Corporación autónoma de Nariño – Corponariño.	Se realiza un estudio completo de calidad de agua, además de la realización del modelo en el software QUAL2K.	Permitió la clasificación, recopilación de datos para monitoreo diagnóstico, usos permitidos y disponibilidad de aprovechamiento del recurso hídrico, al igual que la implementación de una PTAR para la población de Catambuco.
Modelación de la capacidad máxima de asimilación de contaminantes de la quebrada Chaguaní por vertimientos de aguas de una estación de servicio en Silvina (Cundinamarca).	Sonia Rodríguez & Luz García	Simulación con QUAL2K de la incidencia del vertimiento de dicha estación sobre la quebrada Chaguaní.	Garantizó que dicho vertimiento no representa una alteración relevante sobre la quebrada Chaguaní, cumpliendo con los valores establecidos en las normativas vigentes de DBO5, OD, niveles de SS y niveles de nitrógeno.

1.5 NORMATIVIDAD

Los valores de los parámetros obtenidos en el laboratorio deben estar regidos bajo ciertas normativas. En la tabla 2 se presenta un marco normativo de aguas superficiales, el cual corresponde al tramo de estudio:

Tabla 2. Marco normativo. Fuente propia.

Norma	Descripción
Decreto 1594 / 1984	Reglamenta los usos, criterios de calidad del agua y vertimientos a cuerpos hídricos y las corporaciones autónomas regionales están obligadas velar su cumplimiento.
Constitución Política de Colombia / 1991	El medio Ambiente es un derecho Colectivo, El estado debe garantizar un ambiente sano.
Ley 99 / 1993	Nace el Sistema Nacional Ambiental (SINA)
Resolución 2115 /2007	Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para su consumo humano
Acuerdo 068/ 2007	Objetivos de calidad de las cuencas bajo jurisdicción de la CAS (Corporación Autónoma Regional de Santander)
Decreto 3930 /2010	En el cual se señalan los usos, ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico.
Resolución 631/ 2015	Niveles máximos permisibles en vertimientos a cuerpo de agua superficial y alcantarillado

1.6 LOCALIZACIÓN

El departamento de Santander se ubica al noreste de Colombia en la región andina. Cuenta con un área de 30.537 km² aproximadamente representa el 2.7% del territorio Nacional (Alcaldía de San Gil Santander, 2020). Limita con los departamentos de Cesar, Norte de Santander, Boyacá, Antioquia y Bolívar.

La CAS (Corporación Autónoma Regional de Santander) tendrá su sede principal en la ciudad de San Gil; su jurisdicción comprenderá el Departamento de Santander (Ley 99 de 1993, art. 33) tiene jurisdicción en las cuencas que se presentan a en la ilustración 2.

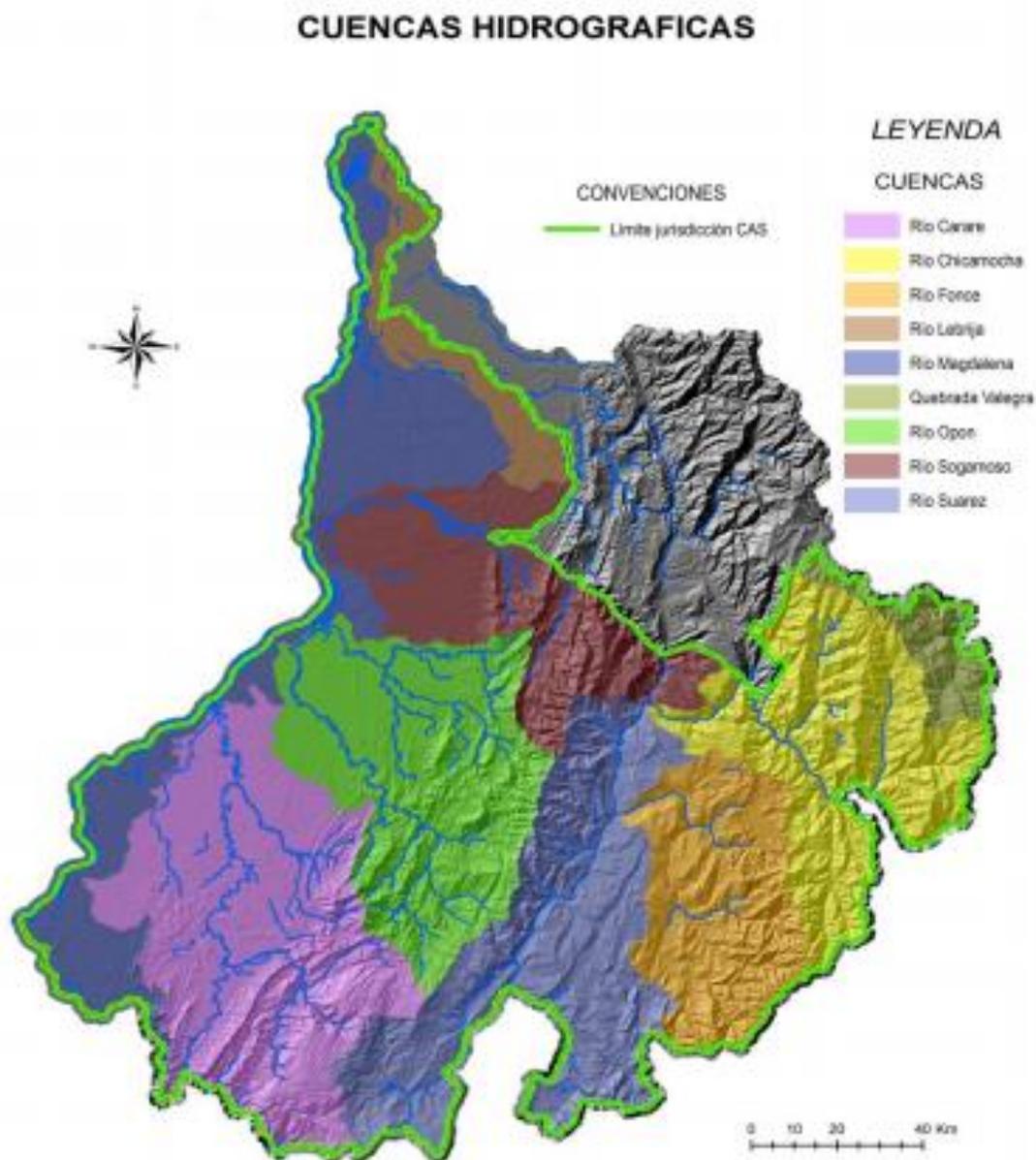


Ilustración 2. Cuencas hidrográficas del departamento de Santander, Colombia con jurisdicción de la CAS. (Departamento de investigación UNISANGIL, 2017)

El río Fonce tiene una longitud aproximada de 98 km, su cauce pasa por los municipios de Encino, Charalá, Coromoro, Páramo, Valle de San José, San Gil y Pinchote para así desembocar en el Río Suárez. Así mismo esta cuenca cuenta con efluentes como: Quebrada Lagunas, Río Guacha, Quebrada Los Sapos, Río Pienta, Río Tarqui, Río Mogóticos, Quebrada Curití y Quebrada Las Lajas.

En la ilustración 3 se puede observar el esquema de la red hídrica y sus tributarios.

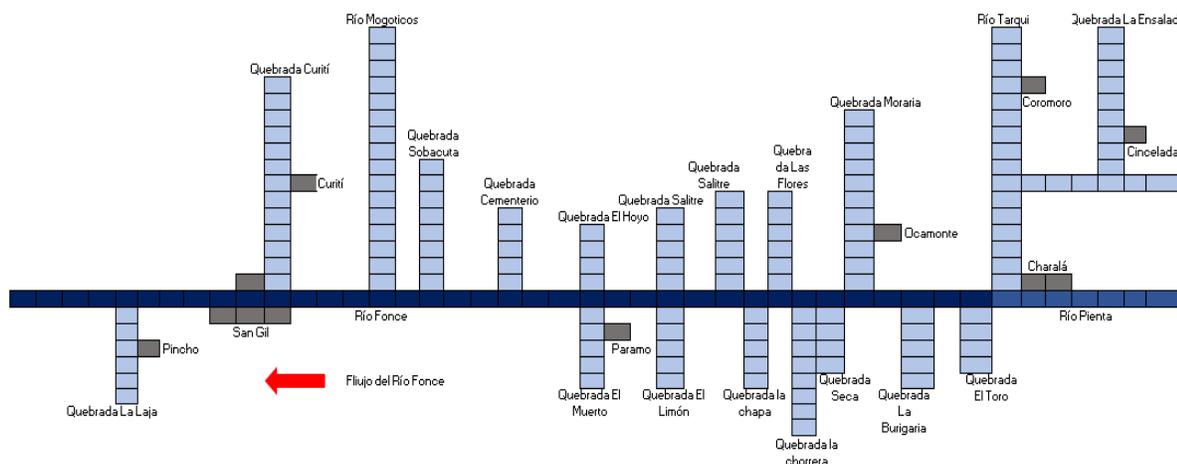


Ilustración 3. Red hídrica del Río Fonce, (G Y R Ingeniería Ltda, 2014)

A continuación, se presenta una breve información sobre el municipio de San Gil.

GEOGRAFÍA

El municipio de San Gil está ubicado a 96 km de la ciudad de Bucaramanga (capital del departamento de Santander) y a 237 km de la ciudad de Bogotá (capital de la República de Colombia), Es la capital de la provincia de Guanentá y tiene un área de 149,5 km², actualmente el área urbana supera ligeramente las 1000 Ha (Alcaldía de San Gil Santander, 2020)

Los límites intermunicipales son:

- Por el norte: Villanueva y Curtí
- Por el oriente: Curtí y Mogotes
- Por el sur: Valle de San José y Páramo
- Por el occidente: Pinchote, Cabrera y Barichara

TOPOGRAFÍA

San Gil cuenta con una extensión aproximadamente de 14590 hectáreas, de los cuales el 30% es considerado terreno plano, el 65% terreno ondulado y terrenos fuertemente ondulados y el 5% restante corresponde a terreno escarpado. Los terrenos ondulados y fuertemente ondulados tienen mayor predominación en el municipio de San Gil, debido a que corresponde al paso de la cordillera Oriental Andina. Vale mencionar que San Gil por el norte tiene altas montañas hasta llegar al alto de la Legua, por el lado Sur, tenemos alturas aproximadas de 1800 metros, luego desciende hasta llegar al cauce del río Fonce. Por el oriente tenemos parte de la cordillera Andina hasta el Alto del Mirador que tiene una elevación de más o menos 2000 msnm y por el occidente la cordillera sube hasta la región del la Guarigua. (Montoya, 2015)

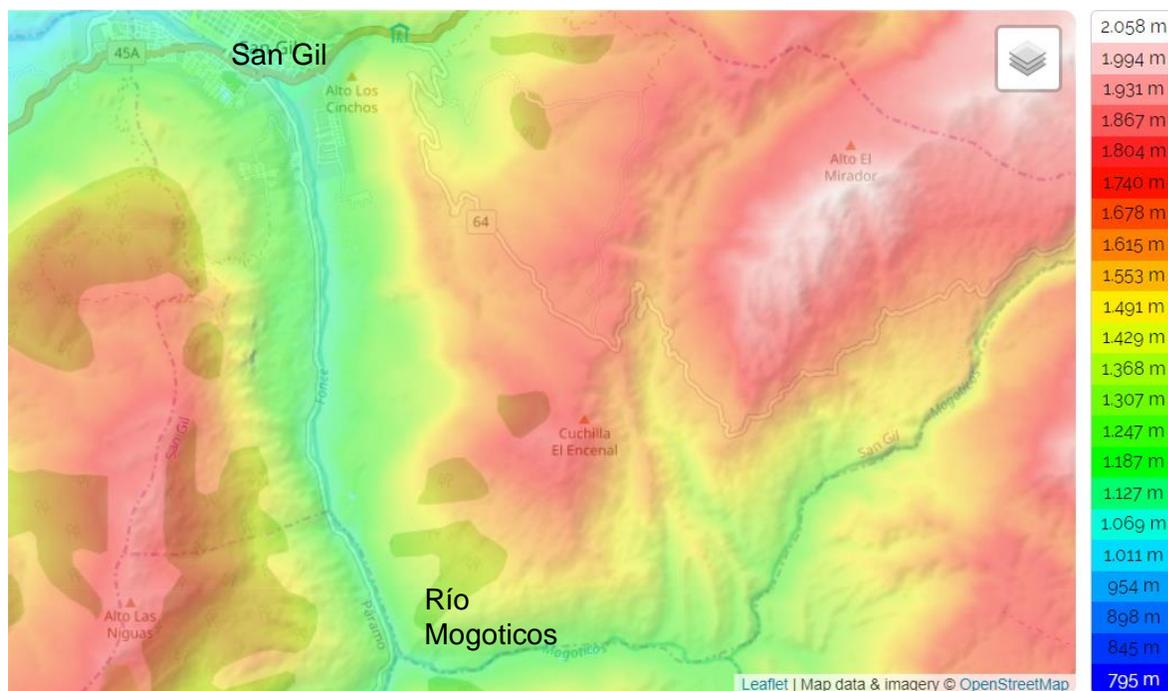


Ilustración 4. Topografía San Gil, Santander, Colombia, (Topographic Map, 2020).

POBLACIÓN

La población juega un papel muy importante en la contaminación del río, de este modo se realiza una proyección de la población hasta el año 2040.

Para realizar la proyección de la población, se debe tener en cuenta el último dato de población proporcionado por el DANE como el último censo en el proceso de proyección de la población (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2010).

En la tabla 3 se presentan los últimos 5 censos realizados en el municipio de San Gil.

Tabla 3. Censos en el municipio de San Gil, Santander. Fuente propia

AÑO DE CENSO	POBLACIÓN TOTAL
1973	28.643 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 1973)
1985	32.852 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 1985)
1993	35.123 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 1993)
2005	42.988 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005)

2018	54.687 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2020)
------	--

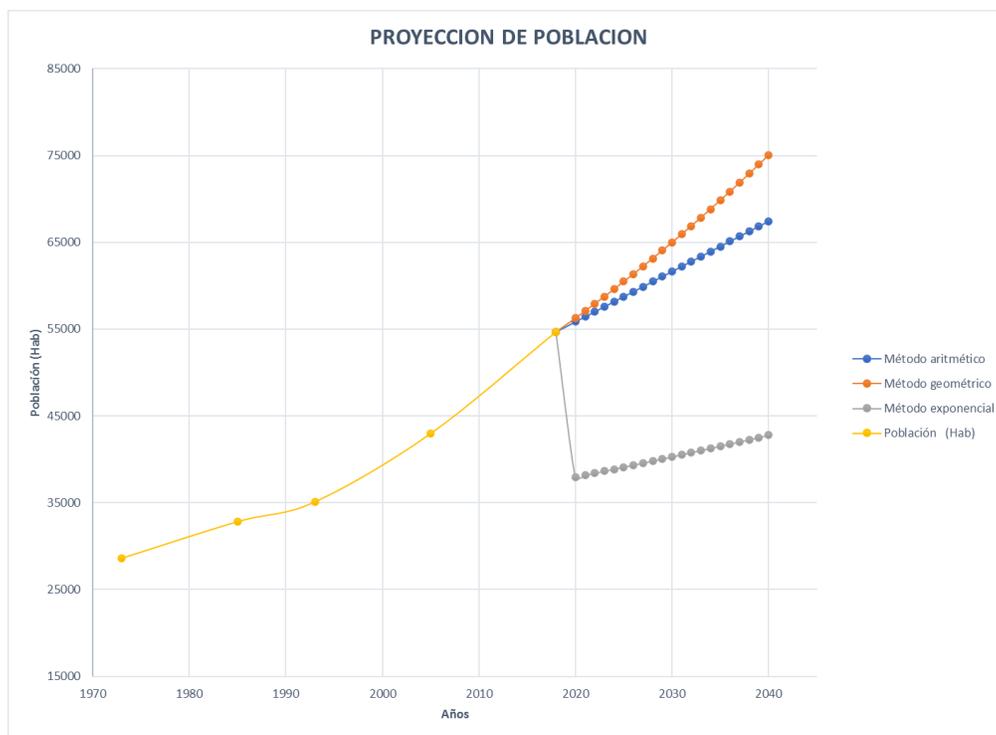
En la tabla 4 se pueden observar la proyección de la población por 3 métodos (aritmético, geométrico y exponencial), en la gráfica 1 se pueden observar los valores obtenidos en los 3 métodos descritos anteriormente.

Los 2 primeros métodos confirman que efectivamente la población crecerá y el río Fonce tendrá una mayor demanda no solo como sitio turístico sino como fuente de abastecimiento de las viviendas y hoteles cercanos a sus orillas, de este modo la contaminación crecerá ya que estos arrojan sus desechos al río sin ningún tratamiento previo.

Tabla 4. Proyecciones de población método aritmético, geométrico, exponencial del municipio de San Gil, Santander. Fuente propia

DPTO	Santander
MPIO	San Gil

Año	Población (Hab)	Método aritmético		Método geométrico		Método exponencial		
		Ka	578,76	r	0,014475254	Kg	Años de proyeccion	Poblacion Proyectada (Hab)
		2018	54687	2018	54687		2018	54687
1973	28643	2020	55845	2020	56282	0,00496194	2020	37950
1985	32852	2021	56423	2021	57096	0,00362872	2021	38178
1993	35123	2022	57002	2022	57923	0,00731297	2022	38407
2005	42988	2023	57581	2023	58761	0,0080413	2023	38637
2018	54687	2024	58160	2024	59612	0,0059862	2024	38869
		2025	58738	2025	60475		2025	39103
		2026	59317	2026	61350		2026	39338
		2027	59896	2027	62238		2027	39574
		2028	60475	2028	63139		2028	39811
		2029	61053	2029	64053		2029	40050
		2030	61632	2030	64980		2030	40291
		2031	62211	2031	65921		2031	40533
		2032	62790	2032	66875		2032	40776
		2033	63368	2033	67843		2033	41021
		2034	63947	2034	68825		2034	41267
		2035	64526	2035	69821		2035	41515
		2036	65105	2036	70832		2036	41764
		2037	65683	2037	71857		2037	42015
		2038	66262	2038	72898		2038	42267
		2039	66841	2039	73953		2039	42521
		2040	67420	2040	75023		2040	42776



Gráfica 1. Proyecciones de población para el municipio de San Gil, Santander. Fuente propia

RÍO FONCE COMO SITIO TURÍSTICO

Como se puede observar en la ilustración 5 se realizan diversas actividades de aventura, con diferentes modalidades, el descenso del río es una actividad que se destaca, de esta forma las personas tienen alto contacto con el agua.



Ilustración 5. Descenso río abajo (San Gil, 2020).

2. COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En el siguiente capítulo se presentarán las secciones transversales donde fueron tomadas las muestras de agua, la información hidrológica y los parámetros de calidad del agua determinados en el laboratorio con el fin de llevar a cabo la modelación del tramo.

2.1 SECCIONES TRANSVERSALES

Se tomaron 6 secciones a lo largo de un tramo del río como se pueden observar en la ilustración 6. Este tramo empieza antes de las desembocaduras del Río Mogoticos y quebrada Curití. El tramo seleccionado tiene una longitud aproximada de 8 km.

En la tabla 5 se determinan las longitudes y latitudes de las secciones, las cuales fueron tomadas en los diferentes puntos con ayuda de la aplicación *GPS Topography*.

Tabla 5. Longitudes y Latitudes de las secciones transversales. Fuente propia.

Sección	Longitud	Latitud
1	-73° -7' -2" w	6° 28' 38" N
2	-73° -7' -0" w	6° 29' 7" N
3	-73° -7' -23" w	6° 29' 54" N
4	-73° -7' -30" w	6° 31' 6" N
5	-73° -7' -28" w	6° 31' 46" N
6	-73° -7' -48" w	6° 33' 0" N

La visita de campo para toma de muestras se realizó el día 7 de marzo del presente año.

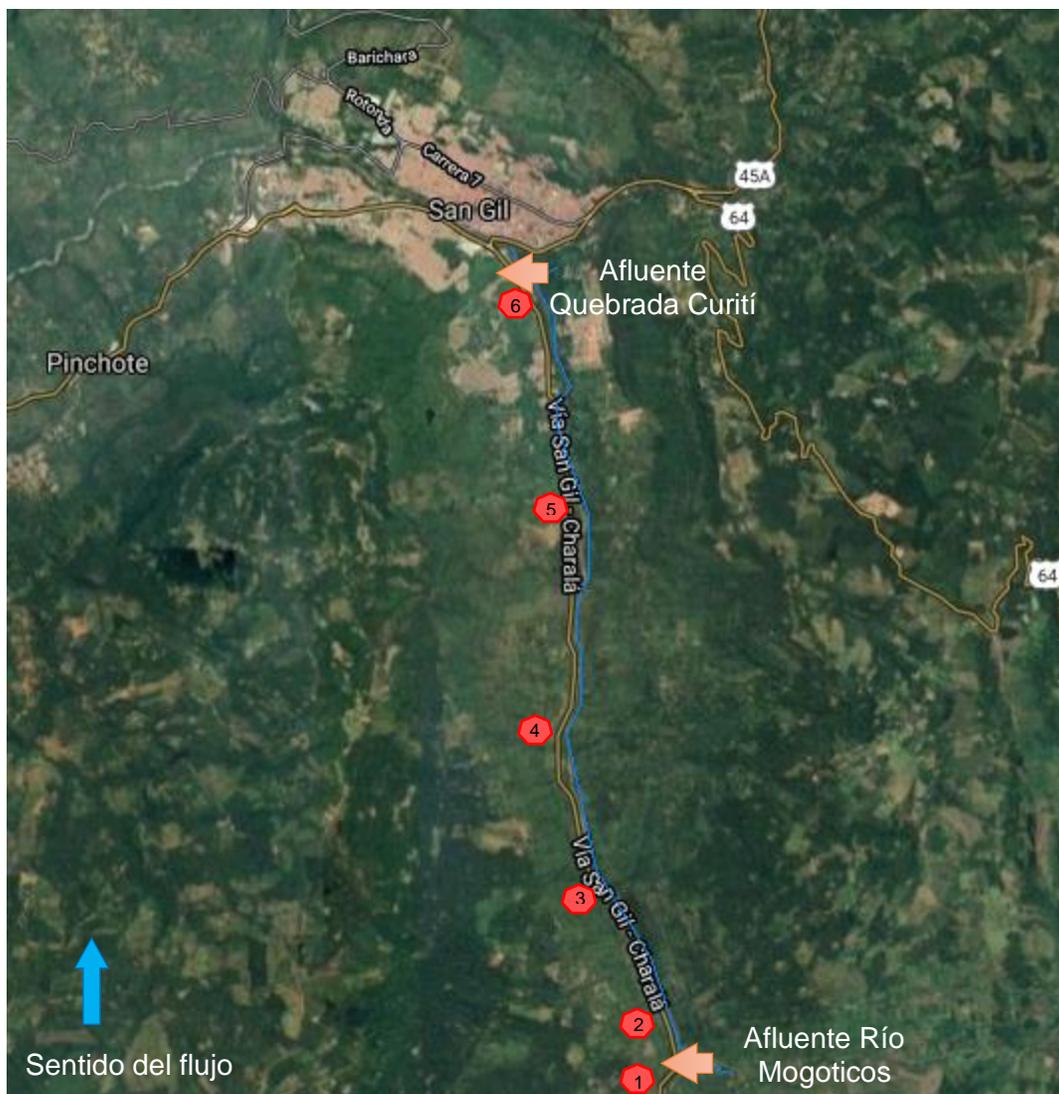


Ilustración 6. Secciones del tramo del río, (Google Maps, 2020)

SECCIÓN TRANSVERSAL 1

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el puente Miranda.

En la fotografía 1 se puede apreciar el puente Miranda, la presencia de grandes rocas poco redondeadas en el cauce del río. En este punto del río se puede determinar una gran velocidad del agua.



Fotografía 1. Sección del tramo 1, Fuente propia.

Al obtener la muestra de esta sección se pudo observar que el agua poseía poco color, no se presentaba agua estancada y no se apreció ningún olor.

SECCIÓN TRANSVERSAL 2

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el Restaurante Mirador del Río a “0,93 km” del punto 1 (Puente Miranda).

En la fotografía 2 se puede apreciar la presencia de rocas de un tamaño menor con respecto a las rocas de la sección 1, la velocidad en este punto disminuye, no hay presencia de olores fuertes.



Fotografía 2. Sección del tramo 2, Fuente propia.

SECCIÓN TRANSVERSAL 3

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el Santuario de la Virgen a “2,52 km” del punto 1 (Puente Miranda).

En la fotografía 3 se puede apreciar la presencia de rocas de un tamaño menor con respecto a las rocas de la sección 1 y 2, la velocidad en este punto disminuye, no hay presencia de olores fuertes.



Fotografía 3. Sección del tramo 3, Fuente propia.

SECCIÓN TRANSVERSAL 4

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el restaurante Mesón del Chicute a “4,89 km” del punto 1 (Puente Miranda).

En la fotografía 4 se puede apreciar la presencia de rocas de un tamaño menor con respecto a las rocas de las secciones anteriores, la velocidad en este punto disminuye notablemente, hay presencia de olores fuertes y se pueden observar estancamientos de agua.



Fotografía 4. Sección del tramo 4, Fuente propia.

SECCIÓN TRANSVERSAL 5

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el restaurante El Sazón Santandereano a “6,11 km” del punto 1 (Puente Miranda).

En la fotografía 5 se puede apreciar la presencia de rocas de un tamaño menor con respecto a las rocas de las secciones anteriores de igual forma en la cantidad de rocas a la vista, la velocidad en este punto disminuye, no hay presencia de olores fuertes.



Fotografía 5. Sección del tramo 5, Fuente propia.

SECCIÓN TRANSVERSAL 6

La muestra representativa del agua en esta sección fue tomada en el hotel Castillo Real a “8 km” del punto 1 (puente Miranda).

En la fotografía 6 se puede apreciar pocas rocas a comparación de puntos anteriores, la velocidad disminuye en este sitio. En esta misma fotografía se puede observar el vertimiento de agua (marcado por el número 1) que realiza el hotel y a simple vista se determinó que no tiene ningún tratamiento por su color, olor y densidad.



Fotografía 6. Sección del tramo 6 vertimiento del hotel Villa Real, Fuente propia.

A pesar del evidente vertimiento que realiza el hotel Castillo Real, la muestra se tomó 10 metros atrás por imposibilidad de acceso al lugar. En la fotografía 7 no se puede observar ningún vertimiento cercano, la presencia de rocas es menor con respecto a los puntos anteriores, acá el color es un poco más oscuro y hay un olor por el vertimiento.



Fotografía 7. Sección del tramo 6, Fuente propia.

2.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

A continuación, se presenta información sobre el comportamiento histórico de los caudales con el fin de determinar un caudal medio que es necesario para realizar la modelación del tramo de estudio.

2.2.1 Comportamiento histórico de los caudales

A continuación, se presentarán 3 gráficas sobre el comportamiento temporal de los caudales del Río Fonce de los valores mínimos, medios y máximos.

Para realizar la siguiente gráfica, es importante contar con la información del anexo 1 descargada en la página del IDEAM (valores en m^3/s). Se determinó el caudal mínimo de los 12 meses de cada año y a continuación, se halló el valor máximo, mínimo y medio de la última columna del anexo, arrojando que el caudal máximo de esta categoría se presentó en el año 1971 ($50m^3/s$), el caudal mínimo se encontró en el año 1960 ($5,3 m^3/s$) y se realizó un promedio de los 64 datos de la última columna para obtener el caudal medio.

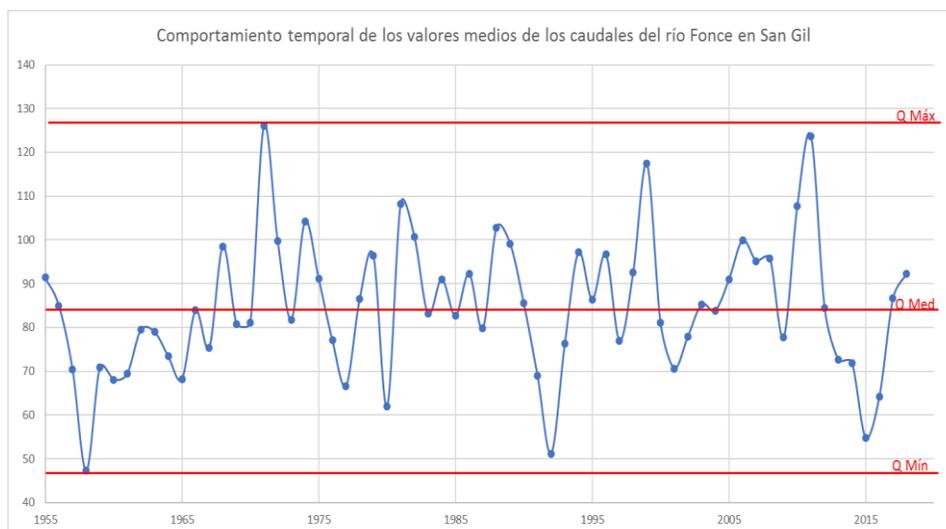
Máx	50,00
Med	25,00
Mín	5,30



Gráfica 2. Comportamiento de los valores mínimos de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.

Para realizar la gráfica 3, se requirió contar con la información del anexo 2 descargada de la página del IDEAM. Acá mismo se puede observar el caudal promedio de los 12 meses de cada año y a continuación, se determinó el valor máximo, mínimo y medio de la última columna del anexo, donde se determinó que el caudal máximo de esta categoría se presentó en el año 1971 ($126,03 m^3/s$), el caudal mínimo se ubicó en el año 1958 ($47,25 m^3/s$) y se realizó un promedio de los 64 datos de la última columna para obtener el caudal medio.

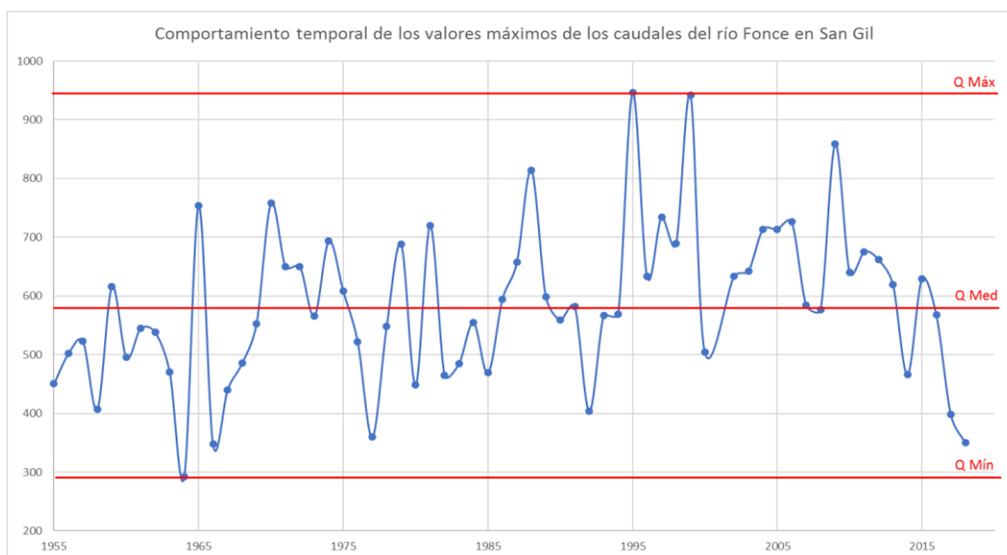
Máx	126,03
Medio	84,64
Mín	47,25



Gráfica 3. Comportamiento de los valores medios de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.

Para realizar la gráfica 4, se requirió la información del anexo 3 descargado de la página del IDEAM. Acá mismo se puede observar el caudal máximo de los 12 meses de cada año y a continuación, se halló el valor máximo, mínimo y medio de la última columna del anexo, determinando que el caudal máximo de esta categoría se presentó en el año 1995 ($946,8 \text{ m}^3/\text{s}$), el caudal mínimo se halló en el año 1964 ($292,5 \text{ m}^3/\text{s}$) y por último, se procedió a realizar un promedio de los 63 datos de la última columna para obtener el caudal medio.

Máx	946,8
Medio	593,52
Mín	292,5

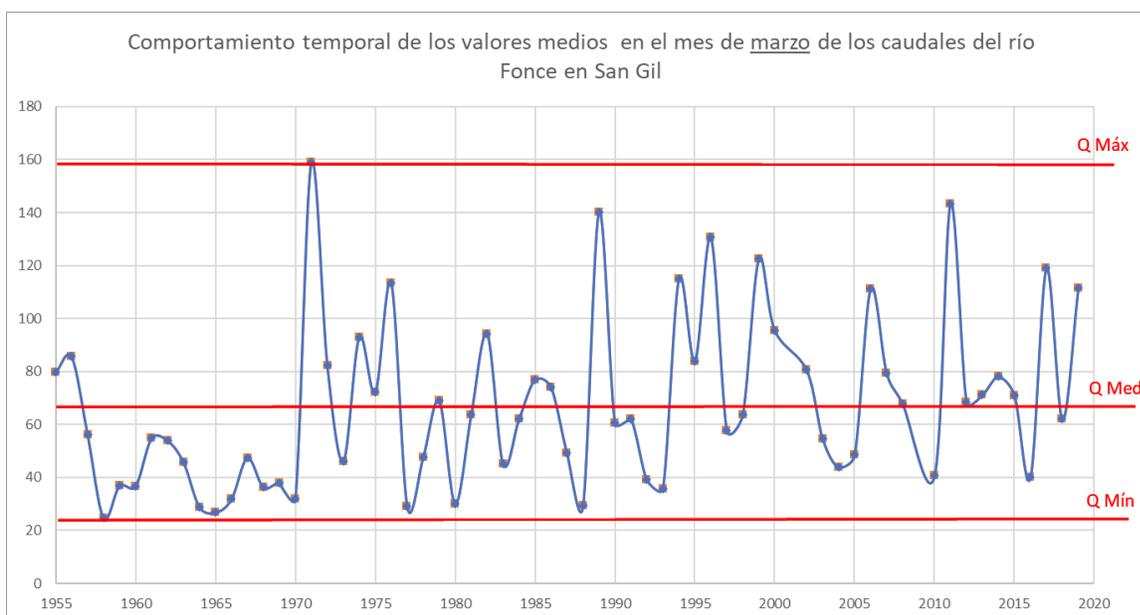


Gráfica 4. Comportamiento de los valores máximos de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.

2.2.2 Estimación del valor medio del caudal

Para elaborar la modelación de calidad de agua con los parámetros establecidos, es necesario determinar un caudal representativo a partir de la información de caudales obtenida en la página del IDEAM. Con la información establecida en el anexo 2, se realizó la evaluación de valores máximos, mínimos y medio del mes de marzo entre los años 1955 hasta el año 2019, al igual que la elaboración de la gráfica representativa de estos valores (gráfica 5). El valor arrojado de caudal máximo fue de 158 m³/s, el caudal mínimo de 24.76 m³/s, se realizó un promedio de estos datos y se obtuvo un valor de caudal medio de 67.45 m³/s.

Máx	158.9
Medio	67.45
Mín	24.76



Gráfica 5. Comportamiento de los valores medios en el mes de marzo de los caudales del río Fonce en San Gil, Santander. Fuente propia.

Partiendo de lo anterior, se escogió el valor medio de 67.45 m³/s como el caudal representativo para la modelación con el software QUAL2K, teniendo en cuenta que el dato de caudal promedio mensual interanual (en este caso el caudal medio) es el promedio de los caudales medios mensuales en un mes determinado (mes de marzo), durante un periodo de n años (1955 hasta 2019).

2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Para llevar a cabo los análisis de calidad de agua es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de parámetros, entre ellos se encuentran los físicos, químicos y biológicos como se presenta en la ilustración 7.

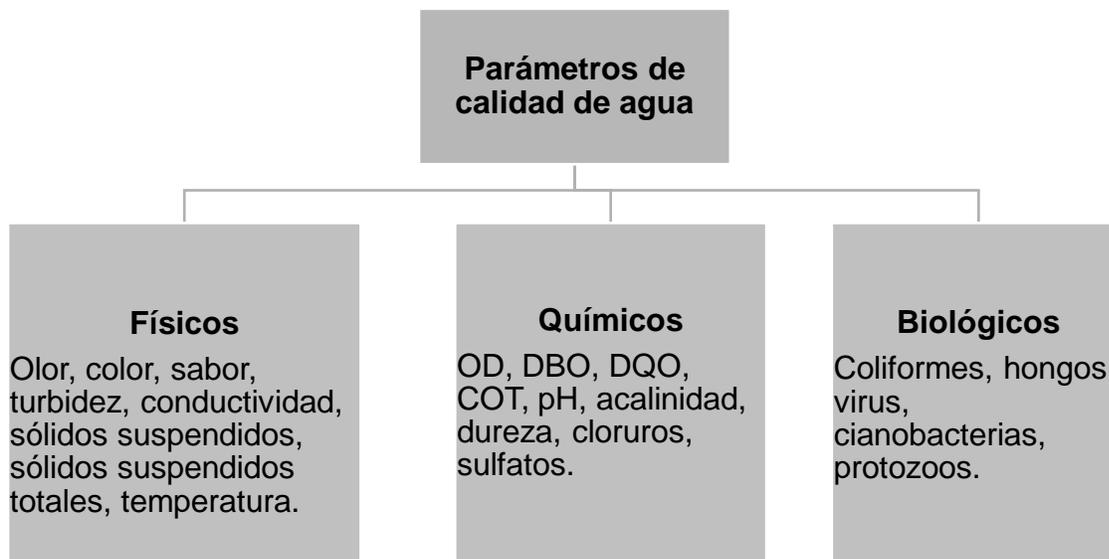


Ilustración 7. Parámetros de calidad del agua

2.3.1 Información de parámetros físicos

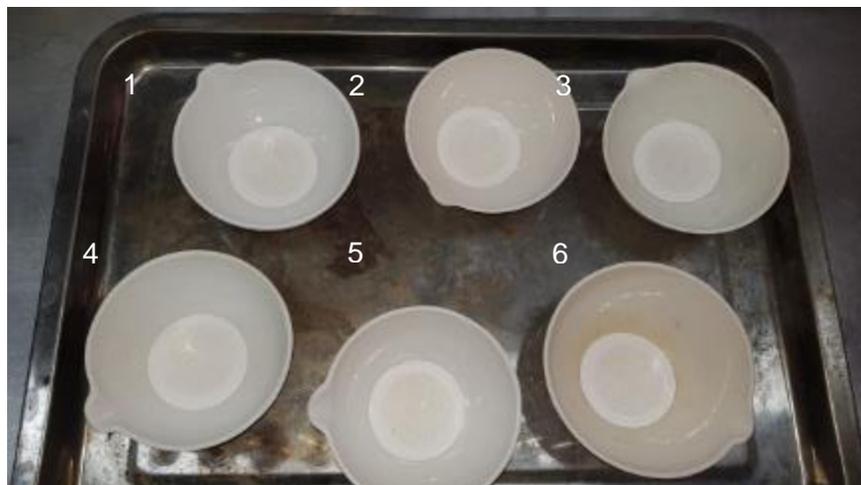
Se determinaron los sólidos suspendidos como parámetro físico en el laboratorio de la Universidad Militar Nueva Granada, fue de gran importancia seguir las indicaciones que hace el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

El procedimiento planteado es el siguiente:

1. Preparar el filtro (manejarlo con pinzas)
2. Marcar la cápsula con número de forma consecutiva (en este caso de 1 a 6).
3. Colocar el filtro en el soporte y aplicar vacío.
4. Secar en conjunto (cápsula + filtro) en el horno precalentado a 105°C por 1 hora.
5. Llevar al desecador y dejar secar hasta temperatura ambiente.
6. Pesarse (cápsula + filtro) luego de secado.
7. Colocar el filtro al vacío (fijarlo con un poco de agua)
8. Agitar la muestra en la botella varias veces.
9. Tomar una alícuota medida con probeta, transferir al filtro (100 mL).
10. Retirar el filtro cuidadosamente y colocarlo en la cápsula (repetir las 6 veces).
11. Secar en conjunto a 105°C por 1 hora.
12. Llevar las cápsulas + filtro+ sólidos al desecador y dejar enfriar por 15 minutos.
13. Pese y registre los datos.

En la fotografía 8 se pueden observar los sólidos retenidos en cada filtro.

Nota. Se realiza la toma de muestras en botellas de plástico color ámbar de 500 mL y se refrigera la muestra 4°C para minimizar la descomposición



Fotografía 8. Sólidos suspendidos totales obtenidos en el laboratorio, Fuente propia.

En la tabla 6 se presentan los valores registrados en el laboratorio y el resultado de sólidos suspendidos totales.

Tabla 6. Pesos obtenidos en el laboratorio de calidad aguas.

SECCIÓN	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	SST (mg/L)
1	68,5228	68,5258	30
2	66,8808	66,8818	10
3	67,6311	67,6321	10
4	58,3346	58,3356	10
5	72,6528	72,6548	20
6	64,6494	64,6524	50

Para determinar la columna 4 es necesario emplear la siguiente fórmula:

$$SST = \frac{(peso\ 2 - Peso\ 1) * 1000}{V}$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

Peso 2: Peso final (cápsula + filtro + sólidos), en mg

Peso 1: Peso inicial (cápsula + filtro), en mg

V: volumen de muestra filtrada, en mL

2.3.2 Información de parámetros químicos

A continuación, presentan los parámetros químicos (pH, OD, DBO5) obtenidos en el laboratorio de calidad de aguas.

pH. En los instrumentos con compensación automática de temperatura y lectura directa en unidades de pH como se puede observar en la fotografía 9, la lectura se corrige automáticamente para 25°C. Se toma la lectura obtenida en el equipo (en unidades de pH), con dos cifras significativas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007), se debe lavar el instrumento entre lectura y lectura con agua destilada.

Nota. Este dato es preferible tomarlo en campo, sin embargo, se ha tomado en el laboratorio 2 días después de haber tomado la muestra.



Fotografía 9. Lectura de pH de las muestras, Fuente propia.

A continuación, en la tabla 7 se encuentran los datos de pH obtenidos en el laboratorio con el uso del pHmetro.

Tabla 7. pH de las secciones obtenidos en el laboratorio de calidad aguas.

SECCIÓN	PH
1	7,53
2	7,66
3	7,62
4	8,00
5	7,92

6	7,80
---	------

Oxígeno Disuelto (OD). Para determinar el oxígeno disuelto de cada una de las muestras, se procede a la utilización de un oxímetro (como se presenta en la fotografía 10) el cual arroja valores de oxígeno disuelto en unidades de mg/L, con una desviación de ± 0.02 mg/L (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007). Cuando se realice la medición de cada una de las muestras de agua, en la transición del sensor del oxímetro a una de ellas, éste debe ser lavado con agua destilada para evitar que los residuos de una muestra se mezclen con otra y alteren los valores, también es necesario tener cuidado en el momento de vaciado del agua de las botellas ámbar a un vaso *Beaker*, evitando que se generen burbujas, ya que éstas permiten que el oxígeno en la muestra aumente.

Nota. Se aconseja tomar este valor en campo con el oxímetro, ya que en el tiempo de traslado y toma de valor en laboratorio el oxígeno disuelto puede cambiar.



Fotografía 10. Medición de OD de las muestras con el oxímetro, Fuente propia

En La tabla 8 se presentan los valores obtenidos de oxígeno disuelto de las muestras de agua correspondiente al tramo en estudio.

Tabla 8. Datos de oxígeno disuelto obtenidos en el laboratorio.

SECCIÓN	OD (mg/L)
1	7,33
2	7,31
3	7,46
4	7,93
5	7,71
6	7,28

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Para la determinación de DBO5 es importante considerar las indicaciones del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

Procedimiento establecido:

1. Ajuste de pH de las muestras de agua, ya que no puede ser superior a 7.5 o menor a 6.5, este ajuste se realiza con H_2SO_4 o $NaOH$, este paso está representado en la fotografía 11.

Nota. Las muestras de este tramo de estudio tienen valores de pH mayores a 7.5, por lo que se debe ajustar el pH con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y poder bajar el pH.

2. Determinación del porcentaje de dilución respectivas para las muestras.

Nota. Se hace la dilución en función de los valores de DQO, estos valores están establecidos en el documento (Departamento de investigación UNISANGIL, 2017). Los valores de DQO se encuentran entre 15 -25 mg/L de O_2 , determinando una dilución de 15% – 30%. Este valor también se rectifica con la tabla establecida en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007) para tipo de muestra de aguas superficiales parcialmente contaminadas con un valor de 5 a 50 de ml de la muestra.

3. Realizar las diluciones con el 15% de muestra de agua (45 ml) y con el 30% de muestra de agua (90 ml), el resto del porcentaje se añade de agua ultrapura en hasta completar un 100% (300ml volumen total) en botellas *Winkler*.
4. Medir el oxígeno disuelto con el oxímetro en unidades de mg/L de cada una de las diluciones realizadas, paso registrado en la fotografía 12.
5. Sellar las botellas *Winkler* y pasarlas a un horno con una temperatura de 21.5° aproximadamente durante 5 días, el almacenamiento de estas botellas se puede observar en la fotografía 13.
6. Después de los 5 días, se toma nuevamente el oxígeno disuelto por medio del oxímetro.
7. Calcular con la ecuación establecida en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).



Fotografía 11. Ajustes de pH con ácido sulfúrico, fuente propia.

En la tabla 9 se pueden observar las diluciones sugeridas en la clase del laboratorio de ingeniería ambiental.

Tabla 9. Diluciones sugeridas en función del DQO, (Velasco, 2018)

DQO de la muestra, en mg/L de O ₂	Diluciones sugeridas para la DBO ₅
1 a 5	Directa
5 a 10	Directa y al 50%
10 a 15	50% y 30%
15 a 25	30% y 15%
25 a 50	15% y 10%
50 a 100	10% a 5%
100 a 200	5% y 2%
200 a 400	2% y 1%
400 a 800	1% y 0.5%



Fotografía 12. Medición de oxígeno disuelto inicial de las muestras diluidas, fuente propia.

A continuación, en la tabla 10 se presentan los datos iniciales obtenidos de OD, procedimiento realizado para llevar a cabo la determinación de DBO5.

Tabla 10. Datos de OD inicial de las muestras diluidas.

SECCIÓN	15% (45ml)	30% (90ml)
1	6,82 mg/l	6,83 mg/l
2	6,82 mg/l	6,84 mg/l
3	6,93 mg/l	6,80 mg/l
4	6,82 mg/l	6,82 mg/l
5	7,02 mg/l	6,92 mg/l
6	6,85 mg/l	6,92 mg/l
BK	6.78 mg/l	



Fotografía 13. Almacenamiento de las botellas para realizar la lectura de DBO5, fuente propia.

En la tabla 11 se pueden observar los valores de oxígeno disuelto de las 12 botellas a los 5 días, como lo plantea el paso 6.

Tabla 11. Datos de OD final (5 días después) de las diluciones establecidas.

SECCIÓN - 5 días	15% (45ml)	T°	30% (90ml)	T°
1	5,65	19,3	5,03	19,3
2	5,8	19,5	6,04	19,4
3	6,02	19,4	6,01	19,4
4	6,08	19,4	6,53	19,4
5	5,83	19,5	5,67	19,4
6	5,56	19,4	5,78	19,6
BK		6,63		19,4

Para realizar el cálculo se debe efectuar la ecuación establecida en el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \text{ de } O_2 \right) = \frac{(OD_{inicial} - OD_{final 5}) * V_{botella Winkler}}{V_{\% \text{ de dilución}}}$$

En la tabla 12 se presentan los valores obtenidos a los 5 días, el volumen de las botellas y las diluciones realizadas.

Tabla 12. Resultados obtenidos de DBO5 en el laboratorio.

SECCIÓN	15%DBO5 mg/L	30%DBO5 mg/L
1	7.80	6.00
2	6.80	2.67
3	6.07	2.63
4	4.93	0.97
5	7.93	4.17
6	6.80	3.80
Vol. Botella Winkler	300	ml
Vol. 15%	45	ml
Vol. 30%	90	ml
OD consumido	BK	0.15

Tabla 13. Rangos de clasificación de valores de DBO5, (Velasco, 2018)

Nivel DBO (en ppm)	Calidad del Agua
1 - 2	Muy Buena No hay mucho desecho orgánico presente en la muestra de agua.
3 - 5	Aceptable: Moderadamente Limpia
6 - 9	Mala: Algo Contaminada Generalmente indica que hay materia orgánica presente y que las bacterias están descomponiendo este desecho.
100 o más	Muy Mala: Muy Contaminada Contiene desecho orgánico.

En la tabla 13 se presenta el rango de clasificación de la calidad de agua, y se procede a realizar la comparación con la tabla 12.

2.3.3 Información de parámetros biológicos

En cuanto a parámetros biológicos, se determinaron coliformes fecales y totales. Para llevar el laboratorio fue necesario seguir las indicaciones que hace el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

Nota. Es de gran importancia esterilizar todos los materiales antes de uso, también emplear un mechero para evitar interferencias de otros microorganismos presentes en el ambiente. En la fotografía 14 se pueden observar los equipos empleados para llevar a cabo la determinación de coliformes.

1. Se realizan diluciones de las muestras (en este caso 2) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)
2. Se coloca la membrana sobre el portafiltro (realizarlo de una forma rápida)
3. Se llena el embudo con la dilución obtenida.
4. Se aplica vacío
5. Se incuba el filtro en posición invertida durante 24 horas a 36°C.
6. Realizar conteo de coliformes totales



Fotografía 14. Equipos empleados en el laboratorio para determinar coliformes, fuente propia.

En la ilustración 8 se pueden apreciar las fotografías en las cuales se observan los resultados del ensayo 24 horas después, se evidencian 2 colores, eso quiere decir el tipo de colonias y esto se puede evidenciar por sus tonalidades azul para coliforme fecal y púrpura para coliforme total. El resultado de los conteos se encuentra en la tabla 15, estos valores son multiplicados por 10^2 ya que se realizaron 2 diluciones en el laboratorio.

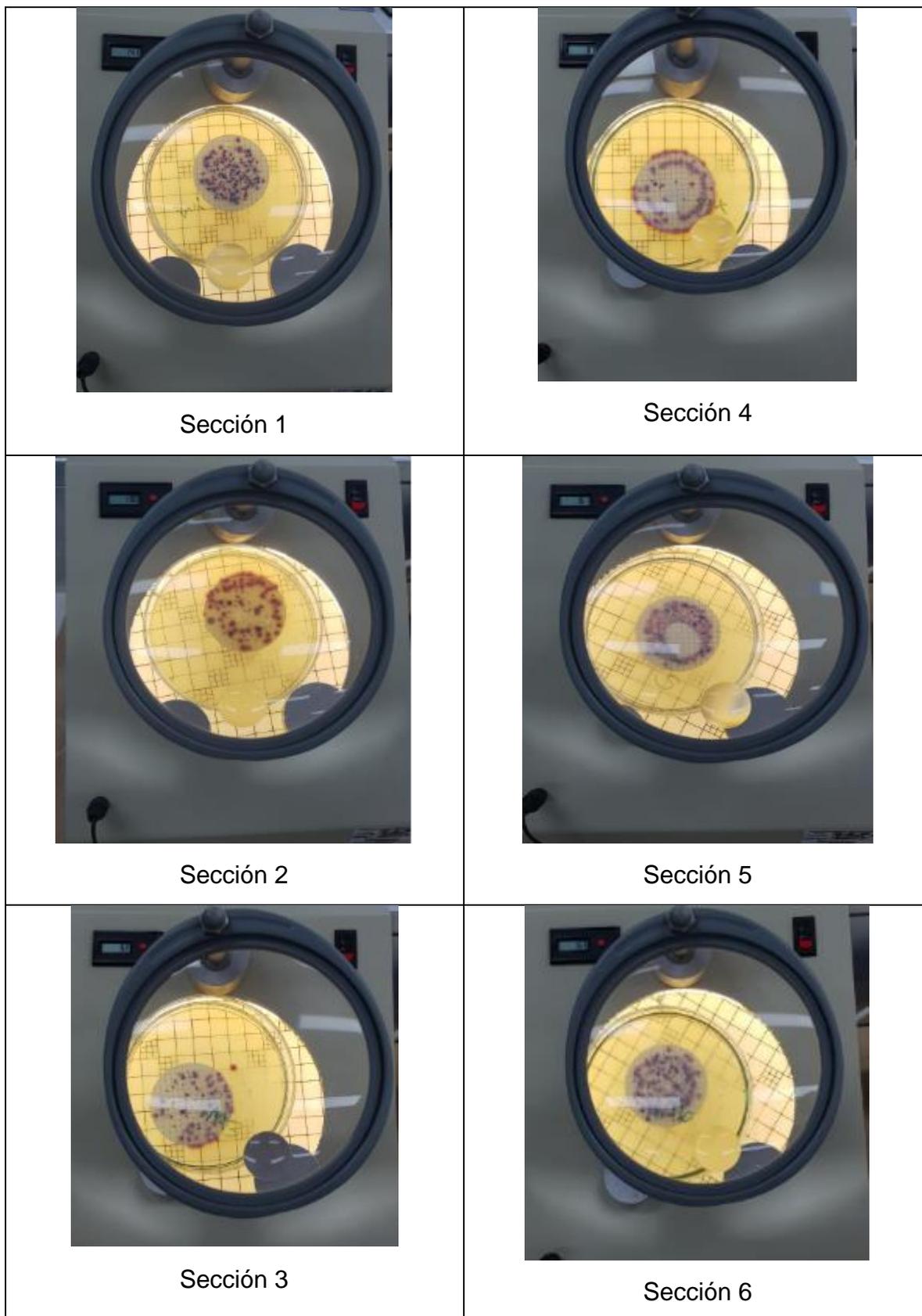


Ilustración 8. Colonias de coliformes formadas en el laboratorio.

Tabla 14. Conteo de colonias formadas en el laboratorio, fuente propia

SECCIÓN	COLIFORMES FECALES (UFC)	COLIFORMES TOTALES (UFC)
1	8900	14100
2	400	13000
3	200	8200
4	100	8700
5	3000	16100
6	4000	16300

3. APLICACIÓN DEL MODELO QUAL2K

A continuación, se presentan algunos softwares comerciales, sus respectivas características y se enfocó en el software Qual2k, realizando un paso a paso detallado para poder llevar a cabo la modelación de los parámetros establecidos en el laboratorio.

Algunos softwares comerciales recomendados para la estimación de impactos generados en el agua por contaminantes en diferentes escenarios son:

- Streeter & Phelps. Éste relaciona mecanismos que definen el OD en el cauce de agua superficial, la cual recibe descargas (aguas residuales), este método se adaptó para fuentes puntuales y fuentes difusas o dispersas.
- QUAL2KW. Simula la calidad de las aguas lóxicas. El algoritmo genético se utiliza para encontrar la combinación de parámetros y constantes de velocidad cinética. El usuario tiene la flexibilidad de seleccionar cualquier combinación de parámetros.
- EpdRiv1. Es una simulación unidimensional, la cual trabaja con un componente encargado de resolver la hidrodinámica del sistema y otro componente hace la modelación de la calidad del agua.
- WASP. Facilita la interpretación de la calidad y su respuesta a fenómenos naturales, este modelo analiza sistemas en 1, 2 y 3 dimensiones.
- CEQUALW2. Es un software hidrodinámico y de calidad de agua el cual trabaja en dos dimensiones para aguas lóxicas y lénticas, éste abarca procesos básicos de eutrofización como temperatura, OD, nutrientes, materia orgánica, entre otros.
- PC-Quasar. Es una simulación de flujo en redes fluviales y de calidad. Describe cambios de calidad a lo largo del tiempo. Facilita el comportamiento actual al de hace un tiempo, estos cambios se deben a eventos planeados y no planeados.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SOFTWARES

En la tabla 16 se presenta una comparación de características de los softwares descritos anteriormente tales como:

- El cuerpo de agua donde se trabaja aguas lóxicas (Ríos, manantiales, riachuelos y arroyos), aguas lénticas (lagunas, lagos, humedales) y estuarios (cuando un río desemboca en el mar).
- Dimensión:
 - 0-Dimensión. No hay variaciones espaciales (x, y, z) de este modo no tiene derivadas parciales y se considera una derivada parcial ordinaria.
 - 1-Dimensión. Se contempla la calidad del agua en el sentido del flujo, permite una representación básica de la hidrodinámica.
 - 2-Dimensión. Se contempla la modelación en el sentido y puede variar entre la profundidad o laterales o sea (x, y o x, z).
 - 3-Dimensión. Incluye el largo (z), ancho (x) y la profundidad (y) y se puede representar cualquier geometría.
- Transporte:
 - Advección. Es el proceso de transporte de las propiedades de un fluido por un campo de velocidades (Organización Meteorológica Mundial , 2012)
 - Dispersión. Transporte de materia disuelta en agua debido a la difusión y/o a los procesos físicos de mezcla (Organización Meteorológica Mundial , 2012)
 - Intercambio de sedimentos.
- Calidad de agua:
 - Parámetro físico. Temperatura
 - Parámetros químicos. OD, DBO5, SST, ciclo del nitrógeno, ciclo del fosforo, coliformes, fitoplancton, pH, metales pesados.

Tabla 15. Características de algunos softwares comerciales, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	SOFTWARES COMERCIALES						
		Streeter & Phelps	QUAL2K	QUAL2KW	EpdRiv1	WASP	CEQUALW2	PC-Quasar
Cuerpo de agua	Lóaticas	x	x	x	x	x	x	x
	Lénticas					x	x	
	Estuarios					x	x	
Dimensión	0					x	x	
	1D	x	x	x	x	x	x	x
	2DH (x, y)					x		
	2DV (x,z)					x	x	
	3D					x		
Transporte	Advectivo	x	x	x	x	x	x	
	Dispersión		x	x	x	x	x	
	Intercambio de sedimentos		x	x		x	x	
Calidad de agua	OD	x	x	x	x	x	x	x
	DBO5	x	x	x	x	x	x	x
	SST		x	x	x	x	x	x
	ciclo de nitrógeno		x	x	x	x	x	x
	ciclo del fosforo		x	x	x	x	x	
	coliformes		x	x	x	x	x	x
	fitoplancton		x	x	x	x	x	
	pH		x	x	x	x	x	x
	Temperatura		x	x	x	x	x	x
	Metales pesados					x		x

QUAL2K

River and Stream Water Quality Model

(QUAL2K). Es un modelo desarrollado por la agencia ambiental de Estados Unidos (EPA), considera procesos de oxigenación concurrente en los ríos, los ciclos de nitrógeno, ciclo del fósforo y algas, este modelo opera en Excel (facilitando así su operación), no tiene una limitación en los números de datos (tramos que se trabajan) que se pueden modelar.

MODELACIÓN EN EL SOFTWARE

Para el desarrollo de la modelación de calidad de agua con QUAL2K de los parámetros de pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes totales, Se procede de la siguiente forma:

Primero se debe aclarar algunas pautas para el ingreso adecuado de los datos que se obtienen en laboratorio.

En QUAL2K se encuentra la casilla de Sólidos Suspendidos Inorgánicos (SSI) por lo que el autor del modelo plantea la ecuación:

$$TSS = ISS + VSS \Rightarrow VSS = 0 \Rightarrow TSS = ISS$$

Siendo que los sólidos suspendidos totales son iguales a los sólidos suspendidos inorgánicos (ISS) + los sólidos suspendidos volátiles (VSS) asumiendo un valor despreciable para este caso, dado como resultado que los sólidos suspendidos totales son iguales a los sólidos suspendidos inorgánicos (Rodríguez y García, 2017)

En QUAL2K también se encuentra la casilla de CDBO *fast* por lo que los autores del modelo dan la facilidad de determinar la siguiente ecuación (Rodríguez y García, 2017)

$$CDBO_{fast} = DBO_{rápido} = DBO_5$$

Después de tener claro lo anterior, para el procedimiento del manejo del software se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: Descargar el documento en la página <http://www.qual2k.com/>, descomprimir el archivo Zip y exportar los archivos señalados como se muestra en la ilustración 9.

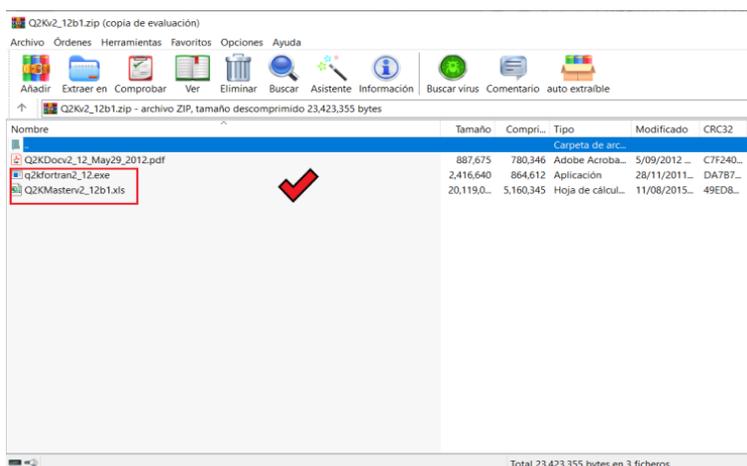


Ilustración 9. Archivos QUAL2K. Fuente propia

Paso 2: Crear una carpeta exclusiva en el disco C del equipo con el nombre QUAL2K (ilustración 10), en esa carpeta se debe extraer los archivos señalados en la ilustración 8.

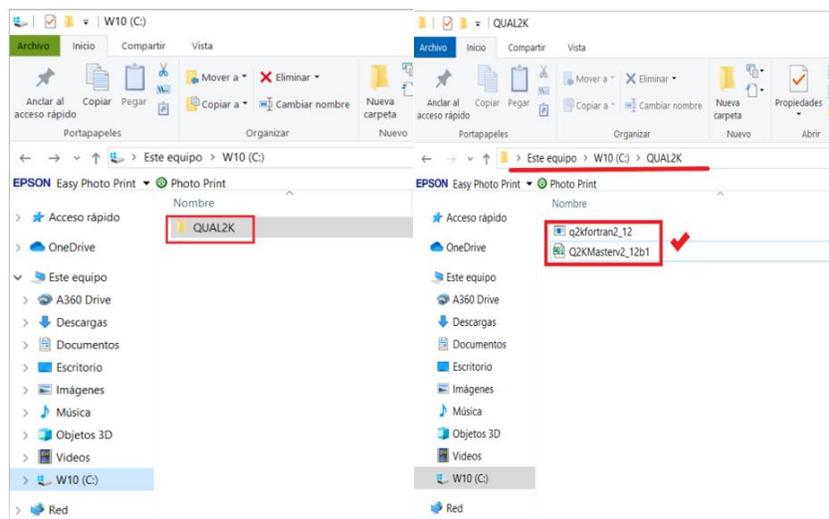


Ilustración 10. Creación de la carpeta QUAL2K en el disco C y extracción de archivos de QUAL2K. Fuente propia

Paso 3: Ir a la Hoja de Excel con el nombre Q2KMasterv2_12b1 (ilustración 11), en la columna B fila 10, escribir la ruta de acceso de la carpeta creada en el disco C QUAL2K representado en la ilustración 10 con color morado y el nombre el cual va a tener el documento “.q2k”.

	A	B	C	D	E
1	QUAL2K FORTRAN				
2	<i>Stream Water Quality Model</i>				
3	<i>Steve Chapra, Hua Tao and Greg Pelletier</i>				
4	<i>Version 2.12b1</i>				
5					
6					
7	System ID:				
8	River name	RIO FONCE		Open Old File	
9	Saved file name	QUAL2K RIO FONCE			
10	Directory where file saved	C:\QUAL2K		Run Fortran	
11	Month	3			
12	Day	7			
13	Year	2020			
14	Local time hours to UTC	-5			
15	Daylight savings time	Yes			
16	Calculation:				
17	Calculation step	0.1	hours		
18	Final time	30	day		
19	Solution method (integration)	Euler			
20	Solution method (pH)	Newton-Raphson			
21	Time zone	Eastern Standard Time			
22	Program determined calc step	0.093750	hours		
23	Time of last calculation	0.08	minutes		
24	Time of sunrise	7:02	AM		
25	Time of solar noon	1:03	PM		
26	Time of sunset	7:04	PM		
27	Photoperiod	12.03	hours		
28					
29					

Ilustración 11. Características de guardado del modelo QUAL2K. Fuente propia

Paso 4: Luego de colocar la dirección de la carpeta se cambia los valores, ajustados a las necesidades de cada proyecto, luego se corre el programa con el botón “Run Fortran”, y verificamos que los datos iniciales no generen algún error.

- Si todo está bien, el programa comenzará a ejecutarse, y se despliega una ventana como la siguiente (ilustración 12):

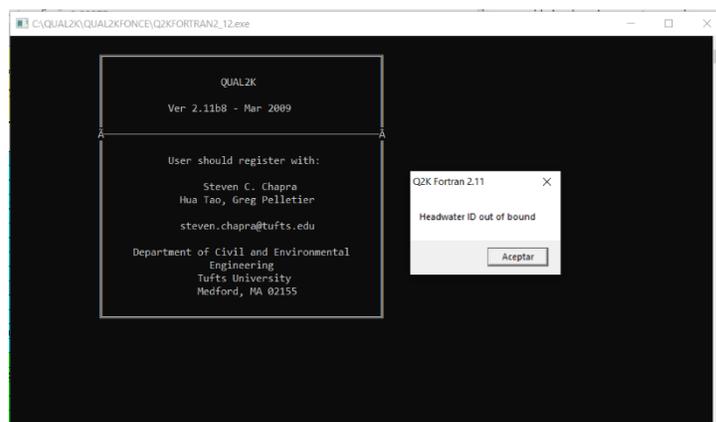
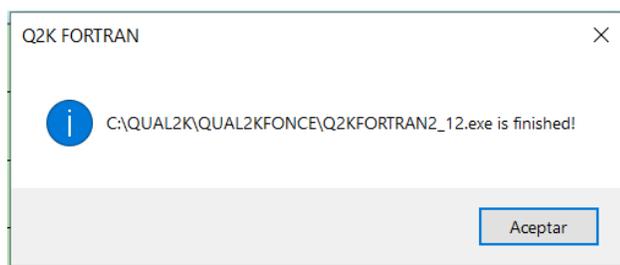


Ilustración 12. Ventana 1 para verificación del buen funcionamiento del modelo. Fuente propia

- Al desplegar dicha ventana lo que quiere decir es que el programa QUAL2K se está configurando para simular un río ficticio con un cause principal.
- Luego de finalizar dicha configuración debe desplegarse un cuadro el cual indica que el programa funciona correctamente y debe desplegarse el siguiente anuncio y presionar “Aceptar”.



- Luego del anterior anuncio, se desplegará la siguiente ventana, presionamos la opción “Ok” para ver el tiempo de transcurso de viaje del cauce principal, Además de que los segmentos y subsegmentos se actualizarán.

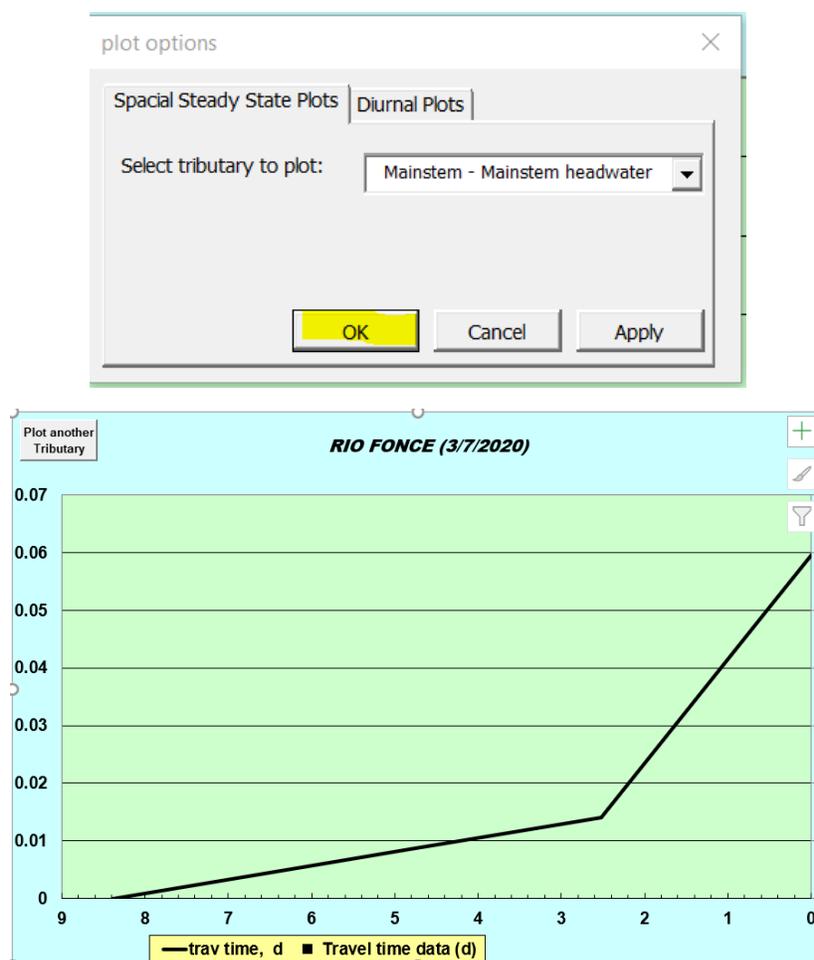


Ilustración 13. Tiempo de viaje. Fuente propia.

Paso 5: Volver a la pestaña de Excel QUAL2K y presionar el botón "Open Old File", se abrió la ventana de explorador de archivos. Ir a la carpeta QUAL2K que se creó en el disco C (ilustración 14) y se observó que se fue creado un documento con el nombre que se especificó en la celda B fila 9, en este caso con el nombre QUAL2K RIO FONCE.q2k.

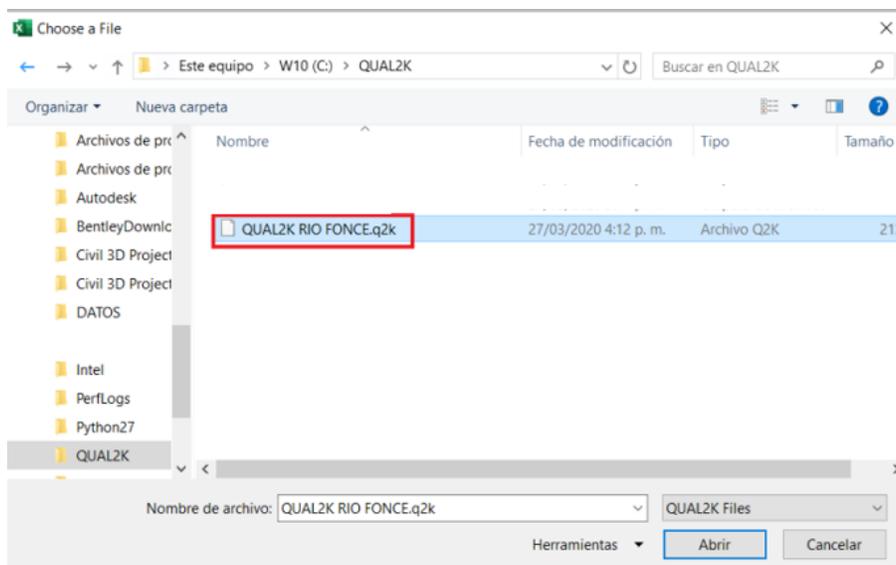


Ilustración 14. Creación de documento con la extensión “. q2k”. Fuente propia.

- El objetivo de desplegar esa ventana es para observar que cada vez que editemos una pestaña y se corra el programa él tiene que crear un documento referencia en la carpeta, especificada y con dirección”. q2k”.

Paso 6: Se edita la pestaña *Headwater* (ilustración 15), en el cual van los valores iniciales del tramo del río, esto dependerá también de los tributarios que se tengan en el proyecto, como este proyecto no tiene tributarios, solo se edita una sola cabecera de datos iniciales de calidad de agua.

Reach No	Flow	Elevation	Wear	Height	Width	adam	bdam	Rating Curves	Depth	Manning Formula	Channel	Manning	Bot Width	Side	Side	Prescribed Dispersion											
1	67.450	1113.000	0.0000	0.0000	1.2500	0.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0995	0.0700	32.36	0.45	0.45	0.00												
12	Water Quality Constituents	Units	12:00 a.m.	1:00 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.m.	1:00 p.m.	2:00 p.m.	3:00 p.m.	4:00 p.m.	5:00 p.m.	6:00 p.m.	7:00 p.m.	8:00 p.m.	9:00 p.m.	10:00 p.m.	11:00 p.m.	12:00 a.m.
13	Temperature	°C	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
14	Conductivity	µmhos	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60	106.60
15	Inorganic Solids	mg/L	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
16	Dissolved Oxygen	mg/L	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
17	CBOD5low	mgO2/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	CBODfast	mgO2/L	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
19	Organic Nitrogen	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	NH4 Nitrogen	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	NO3 Nitrogen	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Organic Phosphorus	µg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Inorganic Phosphorus (SRP)	µg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Phosphorus	µg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	Internal Nitrogen (NIP)	µg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	Internal Phosphorus (IPP)	µg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	Detritus (PCM)	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	Pathogen	cfu/100 mL	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00	887.00
29	Alkalinity	mgCaCO3/L	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	Constituent I		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	Constituent II		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	Constituent III		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	pp	n.u.	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47

Ilustración 15. Datos iniciales de calidad de agua del tramo - Headwater. Fuente propia.

Se debe trabajar con los datos que se han consultado sobre el tramo y definir el caudal, la pendiente del tramo, el coeficiente de Manning, al igual que las pendientes de laderas, el ancho del río y la enervación. Chapra, Pelletier y Tao (2008) aseguran que para determinar el n de Manning se debe utilizar la *tabla del coeficiente de rugosidad de Manning para varias superficies de canales abiertos (de Chow et al. 1988)* el cual dependerá de las características del tramo en estudio.

Upstream Label	Reach Label	Downstream Label	Reach Number	Upstream Distance km	Downstream Distance km	1:00 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.	1:00 p.m.	2:00 p.m.
Mainstem headwater	Punto 1		1	8.39	7.15	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
			2	7.15	6.11	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
			3	6.11	4.89	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
			4	4.89	2.52	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
			5	2.52	0.48	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
	Punto 6		6	0.48	0.00	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90

Ilustración 19. Datos de velocidad del viento - Wind Speed. Fuente propia.

NOTA: Para la generación de valores de velocidad del viento (km/h), (los cuales se tomaron a partir de la página web Weather Spark), se realiza una interpolación entre éstos en los días en que se desarrolla el muestreo, esto con el fin de que los datos sean más precisos.

Paso 11: Se edita la pestaña *Cloud Cover* (ilustración 20), donde van nuevamente los valores de distancia y valores de cobertura de nube del tramo de estudio, éstos pueden ser consultados, además se puede omitir esta información dependiendo del objetivo de estudio.

Upstream Label	Reach Label	Downstream Label	Reach Number	Upstream Distance km	Downstream Distance km	1:00 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.	1:00 p.m.	2:00 p.m.
Mainstem headwater	Punto 1		1	8.39	7.15	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%
			2	7.15	6.11	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%
			3	6.11	4.89	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%
			4	4.89	2.52	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%
			5	2.52	0.48	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%
	Punto 6		6	0.48	0.00	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%	12.8%

Ilustración 20. Datos cobertura de nube - Cloud Cover. Fuente propia.

NOTA: Para la generación de valores de cobertura de nube (%) (los cuales se tomaron a partir de la página web Weather Spark), se realiza una interpolación entre éstos, en los días donde se desarrolla el muestreo, esto con el objetivo de que los datos sean más precisos.

Paso 12: Se edita la pestaña *Shade* (ilustración 21), donde se requieren nuevamente los valores de distancia y valores de sombra del tramo de estudio, éstos valores pueden ser consultados, sin embargo, se puede omitir esta información dependiendo del objetivo de estudio.

Upstream Reach Label	Downstream Reach Label	Reach Number	Upstream Distance km	Downstream Distance km	12:00 a.m.	1:00 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 a.m.
Punto 1		1	8.39	7.15	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
		2	7.15	6.11	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
		3	6.11	4.89	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
		4	4.89	2.52	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
		5	2.52	0.48	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
	Punto 6	6	0.48	0.00	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%

Ilustración 21. Datos sombra - Shade. Fuente propia.

NOTA: Para la generación de valores de sombra (%) los cuales se tomaron a partir de la página web Weather Spark, se realiza una interpolación entre éstos en los días en que se desarrolla el muestreo, para que así, los datos sean más precisos.

Paso 13: En las pestañas *Rates* y *Light and Heat*, se dejan los valores predeterminados por el software, éstos se pueden editar y dependerá del objetivo de estudio.

Paso 14: En la pestaña *Point Source* (ilustración 22), se deben editar los valores de calidad de agua de origen de punto, éstos deben ser relacionados con los parámetros de estudio.

Point Name	Substation No.	Headwater Label	Location	Abstracted	Inflow m ³ /s	Flow m ³ /s	Temperature range(°C)	Time of day	Specific Conductance range(mg/L)	Time of day	Average Suspended Solids range(mg/L)	Time of day	Dissolved Oxygen range(mg/L)	Time of day	Flow mg/L	Flow mg/L	Flow mg/L	Flow mg/L	
Punto 1	0	Mainstem headwater	8.390	0.0000	0.0176	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00
Punto 2	0	Mainstem headwater	7.150	0.0000	0.0142	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00
Punto 3	0	Mainstem headwater	6.110	0.0000	0.0112	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00
Punto 4	0	Mainstem headwater	4.890	0.0000	0.0045	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00
Punto 5	0	Mainstem headwater	2.520	0.0000	0.0040	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00
Punto 6	0	Mainstem headwater	0.480	0.0000	0.0311	21.50	4.00	4:00 PM	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	4:00 PM	7.40	0.00	4:00 PM	0.00	0.00

Ilustración 22. Datos de calidad de agua de origen del punto – Point Source. Fuente propia.

Paso 15: En la pestaña *Temperature Data* (ilustración 23), se proceden a editar los valores de distancia del punto de toma de muestra y los valores de temperatura máxima, mínima y media del tramo de estudio, para este caso se coloca una constante de temperatura máxima, mínima y media. Éstos pueden ser más específicos y dependerán del objetivo de estudio.

Tributary No.	Distance x(km)	Mean Temp-data	Minimum Temp-data	Maximum Temp-data
9	8.390	21.50	17.00	26.00
10	7.150	21.50	17.00	26.00
11	6.110	21.50	17.00	26.00
12	4.890	21.50	17.00	26.00
13	2.520	21.50	17.00	26.00
14	0.480	21.50	17.00	26.00

Ilustración 23. Datos de temperatura máxima, mínima y media del tramo de estudio - Temperature Data. Fuente propia.

NOTA: Para la generación de temperatura se requieren valores, los cuales se tomaron de la página web Weather Spark, se realiza una interpolación entre los valores de temperatura máxima y mínima del mes de marzo, esto con el fin de que los datos sean más precisos.

Paso 16: En la pestaña *WQ Data* (ilustración 24), se editaron los valores obtenidos en laboratorio de la calidad de agua, éstos también estarán relacionados con los tributarios del tramo.

Tributary No.	Distance km	Cond (umhos) data	BOD (mgO ₂ /L) data	DO (mgO ₂ /L) data	COD (mgO ₂ /L) data	Worg (mgO ₂ /L) data	NH (mgN/L) data	NO ₃ (mgN/L) data	Porg (ugN/L) data	Inorg P (ugP/L) data	Phys (ug/L) data	Detr (mgO ₂ /L) data	Pathogens (cfu/100 mL) data	Alk (mg-CO ₃ /L) data	Constituent I data	Constituent II data	Constituent III data	pH data
9	8.39	50.00	7.20	3.80	16300.00								16300.00					7.80
10	7.15	20.00	7.71	7.17	8700.00								8700.00					8.00
11	6.11	10.00	7.93	0.97	8200.00								8200.00					7.62
12	4.89	10.00	7.46	2.63	13000.00								13000.00					7.66
13	2.52	10.00	7.31	2.67	14100.00								14100.00					7.53
14	0.48	30.00	7.33	6.00														

Ilustración 24. Datos de calidad de agua que se obtienen en laboratorio – WQ Data. Fuente propia

Paso 17: Ejecutar el modelo oprimiendo el botón “*Run Forna*” y verificar que el modelo corra correctamente para finalizar y obtener los resultados esperados.

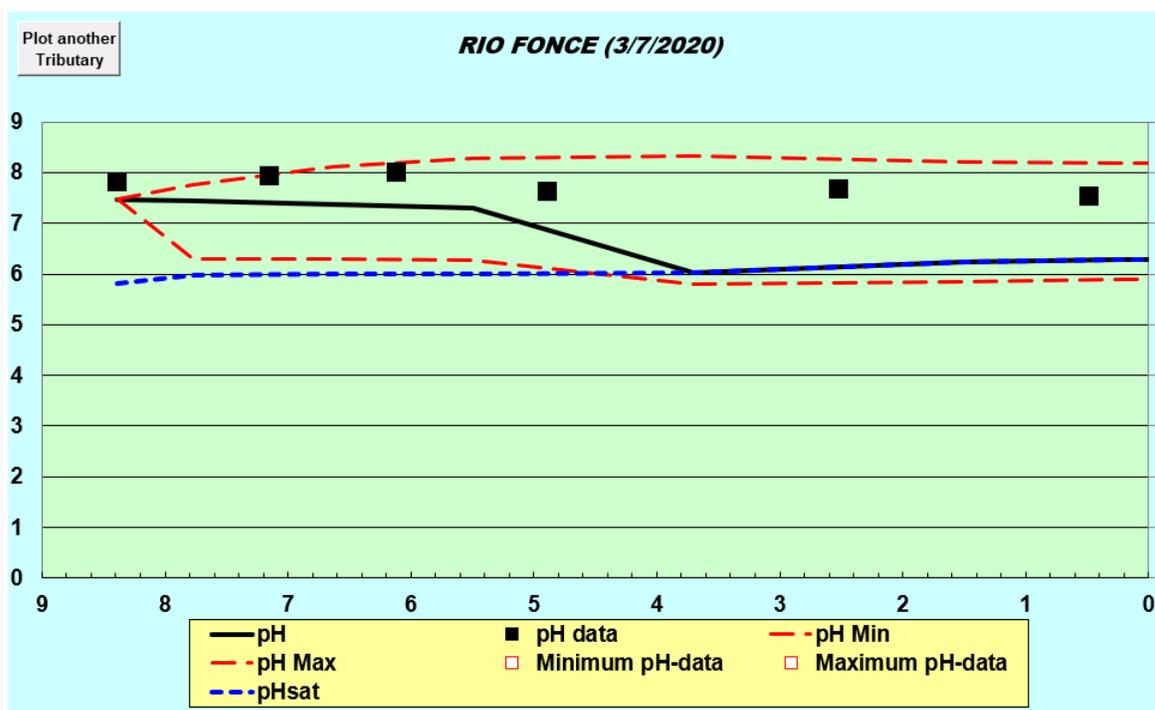
Es necesario aclarar que las pestañas que se han editado para este trabajo tienen como objetivo modelar los parámetros de pH, OD, DBO5, SST y coliformes totales de un tramo de 8 kilómetros sin ningún tributario que influya en él.

Las pestañas que se editan en el software QUAL2K son diferentes en cada proyecto y dependerá como ya se ha mencionado, de las características exclusivas de cada estudio a realizar.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MODELACIÓN

Con la aplicación de software QUAL2K de los datos recopilados de calidad de agua realizados en laboratorio, se generan las siguientes gráficas para el tramo de estudio de más o menos 8.39 km aguas arriba de San Gil en el río Fonce (Santander – Colombia).

I. Grafica de pH.



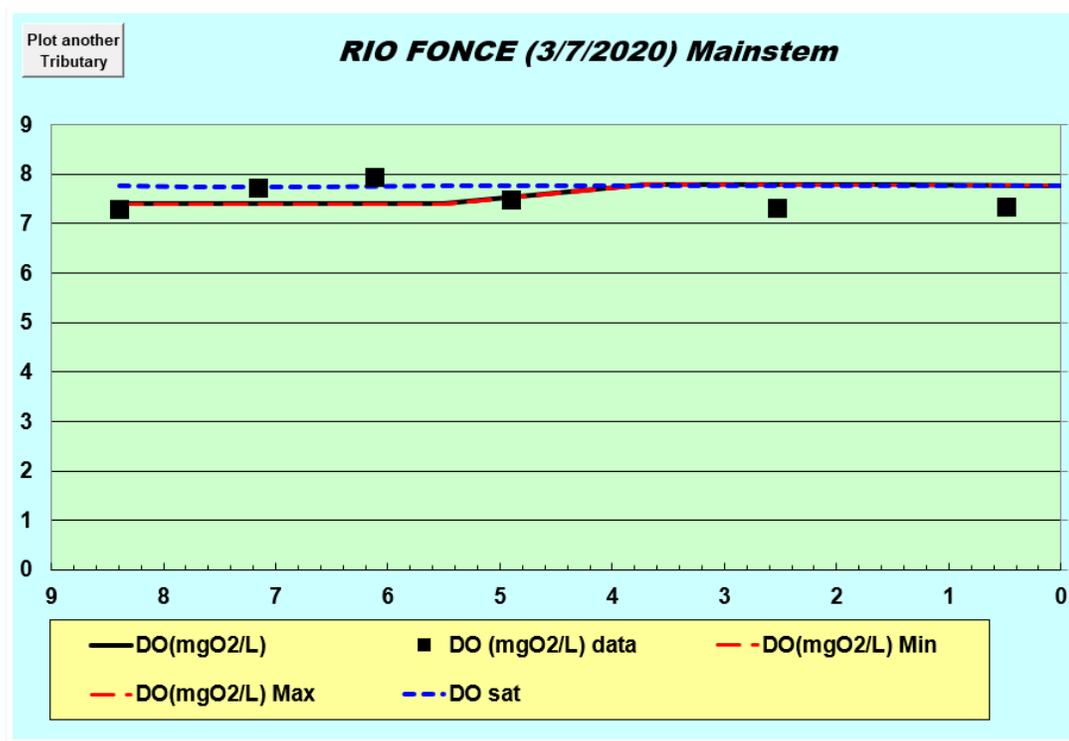
Gráfica 6. Comportamiento del pH mediante el software QUAL2k de tramo de estudio.
Fuente propia

Los datos ingresados de pH se presentan en un intervalo de 7,53 a 8, al verificar el decreto 1594 de 1984 artículo 42 (criterios de calidad para fines recreativos) se determina que está en el rango admisible (5-9). En la sección 3 se pudo observar en campo que se tomaba agua para fines de agricultura en este punto es compara el rango de pH establecido por el mismo decreto en el artículo 40 (4,5-9), donde se determina que está en los límites establecidos.

En la gráfica 6 se presenta la simulación del software, donde se puede ver la modelación del pH a lo largo del tramo, la cual se encuentra en un intervalo de 6 a 7,5. Aparte se puede observar el pH saturado que debería estar en condiciones ideales. Esta dos solo concuerdan en la dos primeras secciones (aguas arriba) en el tramo de estudio del río Fonce.

Nota: Los valores determinados de pH están sujetos a errores debido a que este valor fue determinado en el laboratorio 48 horas después de la toma de la muestra y no en campo.

II. Gráfica de Oxígeno Disuelto (OD).



Gráfica 7. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia

En la gráfica 7 se presenta la simulación del software, donde se puede apreciar el comportamiento del oxígeno disuelto (OD), en los datos no presentan cambios bruscos (7,28-7,93). Por otro lado, se puede observar el OD saturado que debería estar en condiciones ideales para este tramo del río Fonce, el cual está muy cerca a los valores ingresados hallados en laboratorio.

Al verificar el decreto 1594 de 1984 artículo 42 (criterios de calidad para fines recreativos) se determina que está por encima del límite permisible (70 % de saturación).

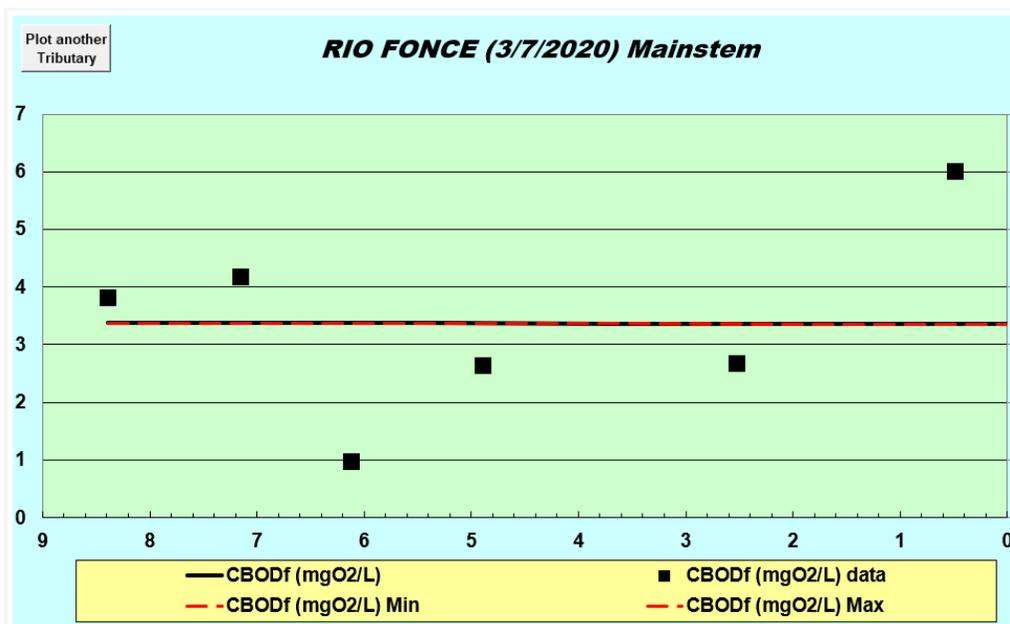
Según el acuerdo 068 de 2007, este tramo del río califica para:

- Grupo II. Pesca, paseos y paseos en bote.
- Grupo III. Baño y recreo

El objetivo de calidad para la cuenca del río Fonce, determina que el valor de OD para los Grupo II y III es ≥ 5 mg/L.

Nota. Los valores determinados de OD están sujetos a errores debido a que este valor fue hallado en el laboratorio 48 horas después de la toma de la muestra y no en campo.

III. Gráfica de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5).



Gráfica 8. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia

En la gráfica 8 se presenta la simulación del software, donde se puede apreciar el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5), se puede observar que los valores ingresados están en un rango de 0,97 a 6, los cuales son valores muy buenos.

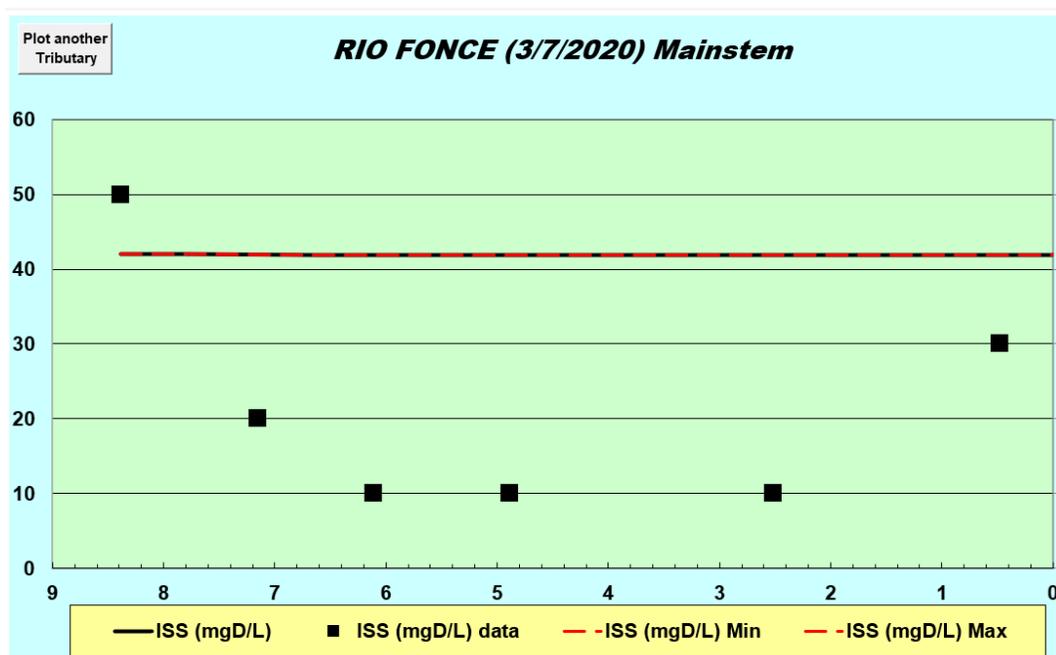
Según el acuerdo 068 de 2007, este tramo del río califica para:

- Grupo II. Pesca, paseos y paseos en bote.
- Grupo III. Baño y recreo

El objetivo de calidad para la cuenca del río Fonce, determina que el valor de DBO5 para los Grupo II y III es ≤ 5 mg/L, la sección 1 sobrepasa el valor máximo.

Dentro de los rangos de clasificación de valores de BDO5 (Tabla 13) con relación a los valores que se generaron a partir de la modelación con el software QUAL2K con el dato inicial de DBO5 (3.37 mIO2/L), considerando una calidad de agua *Aceptable: Moderadamente Limpia*. Partiendo de esto, se pudo detectar la variación de calidad de agua a través de los datos de DBO5 modelados en este tramo de estudio. La modelación que se generó fue una línea constante con un valor de DBO5 de 3.4 mIO2/L, deduciendo que no hay una variación significativa de este parámetro que alerte un alto grado de contaminación y que los pequeños vertimientos anexos al río no aportan una gran carga de contaminación, ya que el mismo río en el tramo de estudio tiene la capacidad de regenerar sus condiciones o mantenerse en un grado de aceptable frente a estas cargas.

IV. Grafica de Sólidos Suspendedos Totales (SST).



Gráfica 9. Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia

En la gráfica 9 se presenta la simulación del software, donde se puede apreciar el comportamiento de los Sólidos Suspendedos Totales (SST), se puede observar que los valores ingresados están en un rango de 10 a 50.

Según el acuerdo 068 de 2007, este tramo del río califica para:

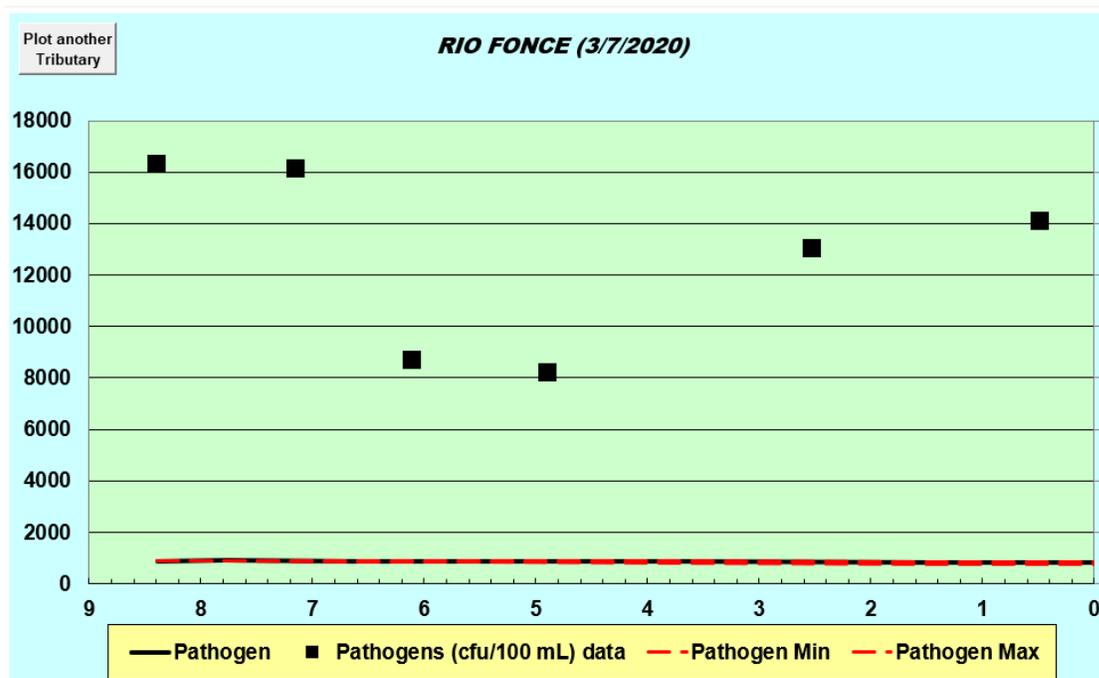
- Grupo II. Pesca, paseos y paseos en bote.
- Grupo III. Baño y recreo

El objetivo de calidad para la cuenca del río Fonce, determina que el valor de sólidos suspendidos totales para los Grupo II y III es < 200 mg/L, donde se puede observar que todos los valores determinados en el laboratorio se encuentran bajo este límite.

La modelación que se generó con QUAL2K, se sujeta al valor inicial de tramo (42 mg/L) creando una línea constante a través de la trayectoria y generando una incertidumbre en los resultados.

NOTA: Los valores determinados de sólidos totales están sujetos a errores debido a los procedimientos en laboratorio.

V. Gráfica de Coliformes Totales.



Gráfica 10. Comportamiento de los Coliformes Totales mediante el software QUAL2k de tramo de estudio. Fuente propia

En la gráfica 10 se presenta la simulación del software, donde se puede apreciar el comportamiento de los Coliformes Totales, se puede observar que los valores ingresados están en un rango de 8200 a 16300.

Al verificar el decreto 1594 de 1984, artículo 42 (criterios de calidad para fines recreativos) se determina que el valor debe ser ≤ 1000 , los valores determinados en el laboratorio están muy por encima al valor máximo permisible por este decreto.

Nota. Los valores determinados de coliformes totales están sujetos a errores debido a que el lugar de trabajo debe estar debidamente desinfectado, los materiales deben ser esterilizados y se debe trabajar muy cerca al mechero, para así disminuir la posibilidad de que los microorganismos que se encuentren en el ambiente puedan afectar el resultado final.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La información sobre la calidad del agua (en el tramo de 8 km aguas arriba de San Gil en el Río Fonce) en internet fue escasa e incongruente, por esta razón los datos iniciales para poder llevar a cabo la simulación fueron tomados de una investigación realizada por la Universidad de San Gil en el año 2014. Teniendo en cuenta que han transcurrido 6 años y los valores están sujetos a cambios, no se descarta algún error por dicha información.

Las muestras se tomaron 48h antes de ingresar al laboratorio bajo las medidas necesarias para la conservación de sus características. Para llevar a cabo la toma de muestras fue necesario emplear elementos como: un balde, una soga, botellas color ámbar de 1L (purgar con el agua de cada sección), una nevera de poliestireno expandido para el transporte de las botellas y la correspondiente refrigeración. En total se tomaron 18 L de agua en las seis secciones, los cuales fueron analizados en laboratorio.

Para determinar los parámetros de calidad del agua fue necesaria la implementación de las guías del IDEAM y la supervisión de los auxiliares de laboratorio. Debido a la falta de instrumentos portátiles la lectura de pH y oxígeno disuelto se realizó en laboratorio y no en campo, los resultados están sujetos a errores.

Para la aplicación del modelo con QUAL2K, fue necesario recurrir a documentos de investigación los cuales no fueron claros en el procedimiento de ingreso de datos. También fue indispensable la ayuda del ingeniero Sergio Barbosa para poder llevar a cabo la simulación. El manejo del software se facilita ya que éste está diseñado sobre un libro en Excel, lo cual lo hace susceptible a cambios en valores.

Las gráficas de sólidos suspendidos totales y coliformes fecales generadas por el software son confusas ya que la modelación es una línea recta y un poco lejana a los datos hallados en laboratorio. Se puede determinar que éstas están sujetas a los datos iniciales ingresados, lo cual dificulta su análisis.

El uso que actualmente tiene el agua del tramo es el adecuado, ya que los valores que se generaron cumplen con la normativa vigente, exceptuando coliformes totales, debido a que sus valores están por encima del rango permitido.

Se recomienda mejorar (con más frecuencia en tiempo y sitios) la supervisión de los vertimientos de las viviendas, hoteles y restaurantes aledaños a la orilla del río, ya que no se logró evidenciar que cuenten con un tratamiento especial de sus vertimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de San Gil Santander. (11 de 04 de 2020). *San Gil*. Obtenido de <https://sangil.gov.co/informacion-general/>
- Chapra, P. y. (2008). *A Modeling Framework for Simulating River and Stream*. Qual2K.
- Congreso de la Republica de Colombia . (1993). *Ley 99 de 1993 - se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA*. Bogotá: Ministerio del medio ambiente.
- Constitución Política. (1991, art. 80). *Constitución política de Colombia*. Bogota D.C.: Presidencia de la Republica de Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (1973). *XIV Censo Nacional de Población y III de vivienda (departamento de Santander)*. DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (1985). *Cuadros de población total con ajuste final de cobertura, por secciones del país y municipios*. DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (1993). *XVI CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y V DE VIVIENDA* . DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). *Boletín censo general*. DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (16 de 04 de 2020). *DANE*. Obtenido de <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>
- Departamento de investigación UNISANGIL. (2017). *Avances de investigación en la recuperación del río Fonce*. San Gil: UNISANGIL.
- G Y R Ingeniería Ltda. (2014). *Fórmula del plan de ordenamiento de río Fonce y sus tributarios*. San Gil: CAS.
- Google Maps. (01 de 05 de 2020). Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/place/San+Gil,+Santander/@6.5526427,-73.1536311,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e69c72715c3eca9:0xa03bfda06440ee00!8m2!3d6.554824!4d-73.13412?hl=es-419>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 días, Incubación y electrometría*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *DETERMINACIÓN DE ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES*. BOGOTÁ D.C.: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (20 de Abril de 2007). *pH en agua por electrometría*. Bogotá D.C.: IDEAM . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (02 de 08 de 2007). *Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103°C - 105°C*. Obtenido de 17. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (17 de 04 de 2020). *IDEAM*. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . (2007). *Oxígeno Disuelto por Electrodo de Membrana*. Bogotá D.C: IDEAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (10 de 03 de 2020). *Geoportal*. Obtenido de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/mapas-departamentales-fisicos-de-uso-escolar>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *GUÍA NACIONAL DE MODELACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES*. Bogotá. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/Gu%C3%ADa_modelaci%C3%B3n_Final_%20aguasuperficialcontinental.pdf
- Montoya, C. (2015). *Análisis de la variabilidad climática de precipitación, temperatura, radiación solar y nubosidad y su incidencia en los caudales medio del río Fonce en San Gil (Santander)* . Bogotá D.C.: UMNG.
- Organización Meteorológica Mundial . (2012). *Glosario Higrológico Iternacional* . En I. c. Organización Meteorológica Mundial y Organización de las naciones unidas para la educación. OMM.
- Rodríguez y García. (2017). *Modelación de la capacidad máxima de asimilación de contaminantes de la quebrada Chaguani por vertimientos de aguas de una estación de servicio en Sylvania (Cundinamarca)*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- San Gil, S. (2 de 04 de 2020). *Sitios Turísticos, Río Fonce*. Obtenido de <http://sangilsantander.com/sitios-turisticos/rio-fonce>
- Topographic Map. (15 de 03 de 2020). Obtenido de <https://es-co.topographic-map.com/maps/6e94/San-Gil/>
- Velasco, A. (2018). *Demanda Biologica de Oxígeno DBO [Apuntes de clase Ingeniería Ambiental]*. Bogotá, Colombia.
- Viceministerio de agua y Saneamiento Básico. (2010). *RAS TITULO B*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Weather Spark . (1 de Mayo de 2020). *El clima promedio en San Gil*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/24369/Clima-promedio-en-San-Gil-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

ANEXOS

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/s)

Sistema de información
Nacional Ambiental

Latitud	0632N	Tipo Est	LG	Departamento	Santander	Estación:	24027010 San Gil						
Longitud	7307W	Entidad		Municipio	San Gil	Fecha de instalación	1955-Abr						
Elevación	1113 m.s.n.n	Regional		8 Santanderes	Corriente	Fecha de suspensión							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	VR Anual
1955					60	47,2	61	45,4	46,3			57	45,40
1956		52	52	40	48,1	37	37	40,9	40,9	36,2			36,20
1957				38,5			40,9	26,9	30,4	38,5	41,1	34,4	26,90
1958	22,2	16	16	21,2	30	29,7	23,2	23,2	21	24,5	45	34,4	16,00
1959	21,6	14,8	16,6	24,2	50	38,5	40	32,8	31,1	48,4	48,8	20,6	14,80
1960	31,8	29	22,2	37,8	65	33,1	38,9	15,5	35,5	35,5	14,5	5,3	5,30
1961	33,2	28,3	26,2	27,1	37,4	38,2	32,5	28,6	34,8	34	71,8	38,5	26,20
1962	28,6	22,9	24,2	31,8	59	54,5	50	41,8	36,6	50	81,9	39,2	22,90
1963	25,5	25,5	25,5	58	92	69	55	39,2	36,2	52	37,8	37,8	25,50
1964	19	19	19	44,5	53	40	63	55	40	55	60	40	19,00
1965	31,1	26,9	25,5	29	47,2	49	32,5	32,5	34	48,1	71,9	53,5	25,50
1966	27,6	21,3	19,6	19	55	83	46,8	41,8	32,5	104,5	74,5	48,6	19,00
1967	37	34	32,5	45,4	80	53	36,2	37	30	47,2	67,1	32,5	30,00
1968	25,5	25,5	28,3	40,2	103,7	97,2	75	48,6	61	73,4	86,6	38,8	25,50
1969	35,5	29,7	26,2	23,6	61,2	62,5	35,8	33,6	24,8	92,3	81,9	40,4	23,60
1970	34	31,1	24,2	24,8	65	48,1	40	40,9	39,2	62	84,2	69,2	24,20
1971	62	66,5	92,2	97,9	138,5	67,6	52	50	68	89,6	70,1	59	50,00
1972	67,9	49,3	45,6	48,9	120,1	68,5	50,2	46,3	48	56	65,7	42,4	42,40
1973	22,1	18	19,7	23,1	48,8	47,2	42,7	43,5	68,2	73,2	74,1	72,1	18,00
1974	46,5	54,2	62,2	66,2	81,9	49,5	42,8	31,2	39,9	103,2	98	32,1	31,20
1975	23,3	22,6	36,2	29,1	77,9	49,4	59,2	59,1	59,7	55,8	95,7	69,1	22,60
1976	30	32,2	64,7	53,7	88,3	51	31,5	26,4	21,7	31	38,5	26,4	21,70
1977	19,2	12,9	8,4	18,3	48,1	44	37,7	34,4	31,7	78,9	68,4	32,4	8,40
1978	22,3	14,7	14,8	96,2	72,9	62,1	43,6	31,2	44,2	56,5	59,7	39,4	14,70
1979	24,6	18,7	29,1	39,2	61,1	89	41,6	34	60,7	46,9	102,7	42,2	18,70
1980	25,9	29,1	22,8	18,7	42,3	42,2	32,4	30,9	30,2	56,5	56,5	51,3	18,70
1981	24,5	33	32,5	28,3	143,5	102,8	64	49	39,5	45,5	80,2	45,3	24,50
1982	30	48,7	39,5	107,8	116,6	50,8	33	33,6	26,7	58,6	69,1	58,4	26,70
1983	39,69	32,69	28,24	30,4	89,7	61,8	37,6	32	40,5	59,2	53,9	62	28,24
1984	37,8	36,1	30,5	31,5	66,3	68,2	65,3	57,5	64,6	76,6	82,4	62,3	30,50
1985	34,3	25,9	29,5	51,4	58,4	40,8	31	41,4	44,7	63,6	74,4	40,1	25,90
1986	32,5	35,5	45,9	90,9	73	54,6	32,5	29	26,5	114,5	84	40,6	26,50
1987	25	21,6	23	26,5	55,5	38,8	34,9	47,6	48,7	86,7	77,9	44,7	21,60
1988	25	25	18,8	49,2	52	59,3	67,7	90,4	79	92,3	105,3	66,2	18,80
1989	63,8	71,2	79,6	58,6	66,4	50,8	42,1	39,2	68,6	83,2	64,4	46	39,20
1990	29	27,1	25,7	45,6	75,4	41,3	39	32,3	30,9	45,6	72,2	44,8	25,70
1991	23,8	21,1	26,1	35,6	54,5	53	34,2	25,2	23,9	40,7	61,9	41,3	21,10
1992	24,3	23,3	20	21,9	35,2	28	26,2	25,7	21,7	39,4	37,1	36,7	20,00
1993	29,9	18,5	17,6	34,5	78,3	35,7	31,4	24,3	31,4	46,2	92,7	43,7	17,60
1994	29	31,8	63,4	89,5	106,2	48,6	38,4	36,7	41,1	62,3	89,9	47,1	29,00
1995	26,2	17,6	31,4	43,3	53	66,8	41	62,3	45,2	61,1	55,8	47,5	17,60
1996	35,2	36,6	68,5	60	103,8	77,5	58	51,5	52,9	55	56,1	37,8	35,20
1997	34,7	38,6	36,6	77,4	67,1	55	26,6	23,3	22,8	39,6	42,5	25,2	22,80
1998	17,6	22,3	21,9	70,3	70,7	46,7	38,3	47,6	47,5	58,4	78,2	80,4	17,60
1999	57,2	70,3	79,6	70,7	42,8	46,2	46,1	49,2	55,8	90,6	100,4	52,2	42,80
2000	39,4	36,6	56,4	61,1	68,9	65,9	47,5	35,2	46,6	58,2	57	29,5	29,50
2001	25,2	18,5		30,8	53,2	42,8	37,1	27,1	24,3	45,7	63,6	64	18,50
2002	26,2	22,8	19	80,1	59,2	57,2	36,1	25,7	31	38,5	42,8	38	19,00
2003	20	22,4	19,5	40,6	61,7	52,2	29	43,3	44,7	87,4	78,2	60	19,50
2004	30,9	25,5	22,8	48	78,2	36,3	37,4	29,1	33,1	46,7	85,9	49,2	22,80
2005	41,6	44,9	29,5	62,3	64,1	47,1	40,8	37,2	32,7	61,7	90,9	42,6	29,50
2006	38,1	25,5	30,9	81,74	88,29	58,76	41,06	31,8	37,65	37,31	74,83	52,43	25,50
2007	40,58	23,7	21,97	63,14	80,24	59,35	48,06	48,98	51,59	65,93	67,72	56,27	21,97
2008	45,08	37,28	38,1	42,15	60,55	70,21	56,96	58,16	56,37	72,81	72,71	43,42	37,28
2009	39,15	47,31		81,03	53,88	45,9	31,35	41,4	33,3	30,67	48,11	28,39	28,39
2010	20,1	17,4	18,45	35,81	55,77	55,9	84,25	71,59	88,15	87,27	109	56,52	17,40
2011	36,97	32,87	55,97	79,52	101,2	62,83	42,71	39,66	41,4	77,56	67,66	74,2	32,87
2012	45,92	30,37	30,62	72,79	61,67	41,43	33,83	43,09	28,56	41,07	43,59	33,07	28,56
2013	27,35	30,4	27,35	41,45	67,66	39,54	28,11	29,26	36,88	37,64	58,56	45,58	27,35
2014	35,73	33,83	36,88	36,88	56,56	33,45	27,35	25,67	26,51	35,35	56,56	27,35	25,67
2015	27,35	28,49	31,92	59,83	36,49	26,51	31,92		22,31	22,87	47,08	23,43	22,31
2016	18,94	18,38	20,16	37,83	47	37,22	35,32	30,05	30,33	45,54	70	50,49	18,38
2017	34,2	26,22	41,07	49,58	60,55	53,57	47,58	38,78	38,02	41,83	58,56	34,97	26,22
2018	34,21	26,23	25,67	68,93	81,7	58,56	48,58	38,02	38,78	49,6	82,97	34,97	25,67
2019	27,35	27,35	40,3	68,93	59,56	41,83	37,26	32,68	28,11	40,304			27,35

Anexo 1. Valores mínimos mensuales de caudales, fuente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020)

Sistema de información
Nacional AmbientalVALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)

Latitud	0632N	Tipo Est	LG	Departamento	Santander	Estación:	24027010 San Gil						
Longitud	7307W	Entidad		1 ideam	Municipio	San Gil	Fecha de instalación						1955-Abr
Elevación	1113 m.s.n.m	Regional		8 Santanderes	Corriente	Fonce	Fecha de suspensión						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	VR Anual
1955	66,4	44,1	79,6	155	107,9	68,08	85,23	67,28	80,61	77,2	163,6	101,7	91,39
1956	84,8	84,8	85,62	87,35	78,93	65,31	55,07	61,9	58,38	135,7	137,8	91,5	85,60
1957	60,2	45	56,2	69,72	137,3	98	55,57	43,46	46,48	112,1	66,52	55,17	70,48
1958	28,15	23,23	24,76	51,05	61,58	57,43	28,92	38,14	32,28	59,96	104,9	56,62	47,25
1959	29,73	18,95	36,97	65,98	133,3	75,72	52,43	51,22	46,21	132	150,5	57,54	70,88
1960	58,17	45,43	36,67	80,08	122,6	76,58	53,93	51,6	48,83	110,3	59,48	73,06	68,06
1961	43,86	32,56	54,82	102,4	71,43	51,7	46,65	53,12	58,37	94,11	165,8	58,29	69,43
1962	44,8	38,28	53,96	80,02	139,8	97,64	63,93	61,66	53,12	104,6	156,5	59	79,44
1963	32,37	28,37	45,82	124,8	155,8	109,4	67,25	58,11	54,37	101,4	123,2	46,89	78,98
1964	27,49	29,78	28,85	183,3	82,44	93,1	78,62	75,7	60,53	88,39	80,67	51,95	73,40
1965	39,03	30,21	26,77	92,71	101,8	52,18	43,46	68,44	48,8	92,45	152	70,4	68,19
1966	44,47	27,92	31,8	57,95	113,9	116,1	73,73	57,75	68,44	154,6	140	120,1	83,90
1967	41,06	48,6	47,41	127,4	123,1	91,03	47,07	44,34	58,71	117,1	114,1	44,47	75,37
1968	33,5	31,81	36,34	156,4	135,1	131,4	99,26	72,68	112,6	171,2	137,1	65,06	98,54
1969	47,31	43,53	37,74	118,8	98,46	77,96	49,54	57,82	74,09	174,9	123,5	65,19	80,74
1970	48,32	44,33	31,88	85,19	98,5	69,59	54,21	53,13	53,98	147,4	182,4	104,9	81,15
1971	118,4	119,5	158,9	149,1	208,1	101,9	71,29	87,54	117,7	163,9	134,5	81,5	126,03
1972	117,1	78,01	82,31	137,3	172,9	134,4	73,18	71,77	66,47	84,96	114,9	64,44	99,81
1973	31,5	21,91	46,14	77,99	83,42	69,47	56,78	67,16	118,2	113,8	170,1	125	81,79
1974	80,84	109,6	93,09	121,1	163	67,65	58,48	51,67	102,5	173,2	171,4	57,45	104,17
1975	30,48	42,12	72,06	64,57	137,3	64,7	94,13	84,72	95,85	117,7	174,4	115,6	91,14
1976	45,48	58,81	113,3	122,9	134,2	89,82	45,35	31,67	31,69	109,4	92,02	50,04	77,06
1977	23,32	18,41	29,06	48,67	87,1	82,37	57,54	58,16	68,72	118,1	155,2	53,11	66,65
1978	29,94	21,15	47,61	166,5	139,5	107,1	72,74	47,14	85,41	113,8	117,3	89,39	86,47
1979	31,61	32,71	68,99	119,9	133,2	136,6	69,36	75,52	95,91	136,4	188	68,76	96,41
1980	35,11	64,8	30,12	40,68	62,61	76,02	42,08	46,13	55,24	98,77	103,2	88,68	61,95
1981	40,48	68,93	63,55	135,5	235,1	166,6	99,81	83,78	88,8	135,7	112,9	68,05	108,27
1982	61,64	93,13	94,26	200,1	184,2	88,74	51,89	45,27	58,93	152,6	99,1	78,7	100,71
1983	65,16	54,18	45,13	117,3	149,5	99,95	54,39	58,01	64,08	103,8	90,51	94,47	83,04
1984	57,09	60,96	62,11	74,31	115,9	95,65	89,17	76,83	109,2	132,2	126,9	92,32	91,05
1985	58,23	35,92	76,99	114,8	97,6	68,02	48,57	64,66	88,64	121,7	120,9	95,49	82,63
1986	51,55	76	74,08	157,7	119,2	88,03	43,59	38,4	70,1	199,6	130,8	58,83	92,32
1987	37,7	34,6	49,2	61,9	98,4	63,9	71,94	75,9	84,3	171,2	126,6	81,5	79,76
1988	36,25	57,39	29,4	84,06	84,87	111,6	93,91	128,3	137	146	214,1	110,8	102,81
1989	95,94	114,4	140,2	86,26	113,9	76,14	52,59	61,05	122,3	124,4	120,2	82,32	99,14
1990	46,3	68,1	60,5	132,5	124,2	64,1	51	47,9	50,4	154,5	132	94,5	85,50
1991	40,1	36,8	62,1	74,47	116,1	69,2	52,3	39,9	61,1	71,4	128,4	75,8	68,97
1992	33,7	38,5	39	61,5	65,6	54,43	34,6	38,3	45,5	62,8	66,6	73,3	51,15
1993	55,4	35	35,8	107,8	131,9	50,7	45,4	37,7	80,3	90	141,9	103,7	76,30
1994	49,2	58,1	114,9	156,9	159,2	82,3	53	54	91,1	114,4	147,9	84,6	97,13
1995	34,03	30,24	83,98	74,8	96,53	96,83	73,81	98,57	79,39	176,6	109,6	82,35	86,39
1996	50,71	66,94	130,6	111,3	143	121,8	102	78,85	78,79	120,9	91,76	63,77	96,70
1997	57,81	76,8	57,76	124,8	131,5	92,93	36,38	27,74	77,1	76,89	113,5	50,68	76,99
1998	27,22	42,96	63,8	121,6	129,6	72,02	65,2	74,93	84,2	156,6	139,6	133,33	92,59
1999	86,14	155,5	122,4	137,1	125,1	88,81	68,62	73,23	119,2	149,8	173,6	109,3	117,40
2000	59,67	73,87	95,5	92,31	104,2	93,06	66,99	49,48	81,58	93,4	110,3	52,17	81,04
2001	41,1	37,57	*	56,12	93,58	77,9	49,42	36,93	54,04	114,3	115,4	100,7	70,64
2002	38,95	39,79	80,53	159,1	108,5	110,8	50,9	40,77	63,96	84,48	84,57	72,78	77,93
2003	33,91	32,54	54,56	127,1	90,29	91,91	53,72	64,16	79,31	156	136,6	102,9	85,25
2004	56,03	36,87	43,79	123	156,5	63,84	50,17	39,27	77,62	113,2	163,6	82,35	83,85
2005	75,39	89,14	48,53	100,1	119,8	80,83	59,17	50,48	56,88	160,8	169	80,65	90,90
2006	62,38	41,93	111,3	143,4	173,7	115,7	52,37	47,74	57,09	124,5	154,2	114,1	99,87
2007	64,75	31,95	79,47	127,5	131,1	90,93	69,13	80,35	79,81	162,2	123,8	101	95,17
2008	74,23	56,32	67,82	87,02	129,8	97,73	84,4	100,8	97,79	127,7	146,5	79,29	95,78
2009	77,02	99,57	*	115	86,58	77,69	44,61	72,39	54,15	58,97	120,5	49,03	77,77
2010	26,27	26,26	40,74	85,69	117,2	101,5	138,9	102,3	166,7	161,8	197,8	126,9	107,67
2011	54,98	68,33	143,4	225,9	181,4	97,93	60,2	68,9	72,47	181,4	153,5	175,4	123,65
2012	95,02	48,31	68,29	190	151,5	61,49	47,05	81,86	46,45	114,8	61,71	46,65	84,43
2013	32,5	64,58	71,25	92,82	134,1	52,53	36,04	57,7	55,59	71,82	115,8	87,27	72,67
2014	55,6	71,98	78,08	74,68	119,2	45,2	42,43	41,67	40,52	90,32	141	61,97	71,89
2015	31,39	51,44	70,93	132,9	45,97	35,73	37,95	37,95	34,46	54,85	74,97	32,24	54,80
2016	22,9	24,65	40,09	80,95	91,8	54,56	49,57	41,76	39,84	87,49	129	107,2	69,54
2017	61,2	34,94	118,95	109,01	143,01	108,015	74,33	54,02	62,11	78,77	107,22	63,376	86,62
2018	60,98	37,78	61,97	134,39	184,67	89,37	69,5	53,59	57,19	162,47	141,05	53,95	92,24
2019	34,99	61,72	111,6	115,45	79,44	49,63	42,23	51,21	80,8415	*	*	*	*

Anexo 2. Valores medios mensuales de caudales, fuente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020)

Sistema de información
Nacional Ambiental

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/s)

Latitud	0632N	Tipo Est	LG	Departamento	Santander	Estación:	24027010 San Gil
Longitud	7307W	Entidad		1 ideam	Municipio	San Gil	Fecha de instalación
Elevación	1113 m.s.n.r	Regional		8 Santanderes	Corriente	Fonce	Fecha de suspensión
							1955-Abr

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	VR Anual
1955					451	270,8	398,5	356,5				234,5	451
1956		234,5	430	410,5		269,3	336		107,8	502			502
1957				179,5			73,4	78,9	147,5	523	205,5	361	523
1958	49	64	74,5	195,4	198,2	407,5	47,2	82,4	95,9	205,5	205,5	116,2	407,5
1959	62	40,9	144,6	237,4	615,8	192,4	147,5	141,7	123,2	485,5	525,1	291,9	615,8
1960	292,5	140,2	74,5	250,4	388	322,8	110,4	169,9	163	496	242,8	240,9	496
1961	153,7	53	180,8	264,7	359,5	92	234,5	222,9	163	515,5	545,5	147,5	545,5
1962	105	77,8	307	269,3	538	307	105	105	10	350,5	403	119,8	538
1963	44,5	40	80	188,1	205,5	163	75,6	336	156,8	470,5	470	80	470,5
1964	43,6	80	80	292,5	191	191	89,6	110,6	80	257,7	191	67	292,5
1965	65	32,5	32,5	220	754	65	61	227,2	69	263,5	291	198,2	754
1966	89,6	42,7	67	234,5	263,5	218,6	158,4	211,3	179,4	315,7	347,6	299,8	347,6
1967	95,9	96,4	92	440,5	234,5	176,5	67	69	234,5	285,2	260,6	65	440,5
1968	49	80	133	388	298,3	315,7	176,5	34,7	305,5	485,5	485,5	153,7	485,5
1969	165,7	140,2	253	485,5	361	227,2	173,8	321,5	431,5	553	455,5	188,1	553
1970	321,5	176,5	80	404,5	431,5	275,1	211,3	178	133	532	758	475	758
1971	443,5	404,5	650,5	542,5	605,5	473,5	292,5	368,5	539,5	614,5	400	289,6	650,5
1972	475	183,8	312,8	446,5	479,5	650,5	395,5	235,9	220	238,8	431,5	191	650,5
1973	71,8	53	252	426,4	326,2	260	192	198	371	431,8	566	435,4	566
1974	214	435,4	444,5	486,8	540,6	172,5	523,5	275	693,7	544,4	60	253,6	693,7
1975	67	181	413	351,8	411,4	180	588	348,6	461,2	608	536,8	356,6	608
1976	99	318,2	426,4	476	411,4	521,6	195	79	109	414,6	421	180	521,6
1977	30	50	165	138	235,7	215,8	140,5	153,4	290,6	284	359,8	129,2	359,8
1978	91,2	46,4	308,8	501,4	471	356,5	357,6	211,4	290,6	548,7	372,5	442,2	548,7
1979	96,4	138	183,5	388,1	582	544,8	178,3	336,6	284	688	655	177	688
1980	115	449	101,6	213,6	277,4	281,8	102,9	143	182,2	359,8	449	449	449
1981	97,4	252	229,6	496,6	720	537	287	206,6	217	416	336	192,8	720
1982	146,6	329	240,8	465	393	190	92,4	145,2	189,6	275,8	156	169	465
1983	191,8	163,4	176	416	483	247,8	150,8	134	118,2	485	340,2	197	485
1984	162	185,8	409,6	337,4	301	247,8	280	334,6	422,4	554,8	509,4	259	554,8
1985	130,1	159,2	355,6	416	261,8	302,4	178,8	368,2	284,2	455,4	449	469	469
1986	115,4	194,9	295,1	594,6	504,6	162	115,4	87,2	287	471	498,2	199,8	594,6
1987	139,6	104,6	236,6	282,8	442,8	167,6	504,6	391,6	362,6	657,5	613,4	359,8	657,5
1988	96,2	192,8	138,2	261,8	210,5	542,2	238	285,6	287	473	814,6	377	814,6
1989	326,2	362,6	594,6	152,2	278,6	412,8	104,6	226,8	588,3	422,4	489	598,8	598,8
1990	194	558,8	312,5	552,4	527	199,1	165,3	100	136,1	382,5	421,2	541,6	558,8
1991	113,6	150,9	353,1	293,4	582,1	200,8	207,6	109	326,5	214,4	577,8	351	582,1
1992	74,7	143,6	195,7	404,2	382,5	245	190,6	194	118	160,3	168,3	362	404,2
1993	214,4	130	228	335,2	347,5	85,9	85,9	136,1	286,8	567,2	380,7	394,7	567,2
1994	382,5	177,1	556,7	463,5	569,4	205,9	173,8	278,5	476,2	312,5	480,4	286,8	569,4
1995	48	85,9	262	177,1	245	245	273,5	190,6	228	946,8	253,5	155,7	946,8
1996	109	173,8	598,6	482,7	439,3	633,3	317,8	372	302	513,5	444,7	234,8	633,3
1997	442,9	584,1	389,5	457,4	734,2	404,2	52,8	38,5	379	598,6	633,3	502,6	734,2
1998	94,4	185,6	544,3	319,5	375,5	305,5	236,5	222,9	317,8	689	613,3	587,7	689
1999	393	549,7	437,5	941,6	479,1	515,3	160,3	167	439,3	644,5	723,8	504,4	941,6
2000	214,4	402,1	504,4	448,3	214,4	262	109	77,5	178,8	349,3	497,2	110,5	504,4
2002	106	204,2	361,5	506,3	515,3	515,3	326,5	275,2	524,4	633,3	358	221,2	633,3
2003	115	109	217,8	556,9	127	262	127	127	270,3	642,2	602,2	326,5	642,2
2004	286,8	112	112	428,4	713,4	100	151,2	107,5	271,9	245	600,4	288,4	713,4
2005	393	361,5	107,5	278,5	262	290	119,5	90,2	204,2	511,7	713,4	130	713,4
2006	202,5	168,7	484,5	526,2	726,4	386	139,1	245	177,1	589,5	598,6	566	726,4
2007	197,4	58,76	517,1	484,5	555,1	584,1	250,1	328,3	363,3	330	358	433,8	584,1
2008	421,2	142,1	140,6	194	421,2	175,4	148,2	338,8	307,3	321,3	576,9	239,9	576,9
2009	817,2	410,6	*	330	414,8	437,5	276,9	858,7	258,6	314,3	522,5	177,1	858,7
2010	55,17	113	386	437,5	489,6	410,3	420,9	406,7	571,5	510,7	640,7	633	640,7
2011	262,3	495,4	600	675,7	594,3	554,4	123,7	328,2	272,8	601,9	584,8	625,2	675,7
2012	420,9	267,5	330	662,1	646,6	371,2	202	601,9	195,5	562	150	82,97	662,1
2013	42,59	164,6	312	401,4	619,4	80,42	50,57	222	150	456,9	600	279,8	619,4
2014	128,3	324,6	215	303	321	58,56	103,6	158,1	150	250	466,5	190,6	466,5
2015	58,56	167,9	267,5	629,1	68,93	55,56	56,56	*	72,76	166,3	206,9	58,56	629,1
2016	67,66	68,93	312	346,2	567,7	125,2	218,5	125,2	86,8	344,4	543	426,2	567,7
2017	322,8	95,82	594,3	481,9	667,9	605,82	187,38	206,88	378,3	470,35	431,85	335,4	667,9
2018	281,5	182,5	378,3	493,45	603,88	319,2	321,5	177,63	129,88	607,76	437,63	276,25	607,76
2019	89,628	312,5	629,1	664,02	372,98	218,5	154,88	128,33	297,6	437,63	*	*	

Anexo 3. Valores máximos mensuales de caudales, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020)