

Modelación de calidad de agua de la fuente Río Suarez

Enmarcado en el proyecto

“Metas de carga global contaminante ”

Presentado a: Ingeniera Amanda Medina Bermudez

Profesional especializado

Realizado por: María Camila Naranjo

Ingeniera ambiental

Tabla de contenido

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
Material y método utilizado	6
Herramientas de modelación:.....	6
Metodología utilizada	7
Segmentación del cuerpo receptor	8
Estaciones de monitoreo	8
Puntos de Monitoreo	9
Constantes y coeficientes	10
Modelo de re aireación	11
Constante de desoxigenación carbonácea	12
Ecuación de transporte de masas	12
PARAMETROS MODELADOS	15
Parámetros Qual2Kw.....	15
Parámetros modelados para analizar el estado de la calidad de agua de la cuenca principal Sutamarchán - Moniquirá, Suarez AD	17
RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DEL MODELO.....	19
Características de la cabecera de la corriente	19
Alimentación del modelo	20
Resultados de calibración	22
Resultados Modelados y análisis.....	27
Resultados de Oxígeno disuelto	27
Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno	28
Resultados de Potencial de hidrógeno	29
Resultados Nitrogeno Organico y Nitratos	30
Resultados de Fósforo Organico e inorganico.....	31
REFERENCIAS	33

Tabla de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Ubicación geográfica de la Cuenca Sutamarchán, Moniquirá y Suarez A.D</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 2 Flujograma Proceso de Modelo de Calidad</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 3 Definición de estaciones y puntos de monitoreo</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 4 Definición Puntos de Monitoreo</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 5 Cabecera (Headwater) del modelo de calidad</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 6 Datos de entrada modelo de calidad</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 7 Características de calidad e Hidráulicas</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 8 Registro de Parámetros tomados en campo y laboratorio (WQdata)</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 9 Recopilación de información meteorológica</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 10 Recopilación de Información relacionada a Afluentes y/o Vertimientos a la cuenca principal</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 11 Calibración por el programa Qual2kW para Velocidad</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 12 Calibración por el programa Qual2kW para Caudal</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13 Calibración por el programa Qual2kW para el parámetro de Temperatura</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14 Calibración por el programa Qual2kW para el Oxígeno Disuelto</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 15 Calibración por el programa Qual2kW para la Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 16 Calibración por el programa Qual2kW para el Nitrógeno Amoniacal</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 17 Calibración por el programa Qual2kW para el Potencial de Hidrógeno</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 18 Resultado modelado de Oxígeno Disuelto por el programa Qual2kW</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 19. Resultado modelado de DBO por el programa Qual2kW</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 20 Resultado modelado de pH por el programa Qual2kW</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 21 Resultado modelado de Nitrógeno Orgánico por el programa Qual2kW</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 22 Resultado modelado de Nitratos por el programa Qual2kW</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 23 Resultado modelado de Fósforo Orgánico por el programa Qual2kW</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 24 Resultado modelado de Fósforo Inorgánico por el programa Qual2kW</i>	<i>32</i>

Lista De Tablas

<i>Tabla 1 Localización geográfica de estaciones hidrométricas del área de estudio</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2 localización geográfica de los puntos de monitoreo de los afluentes del Rio Suarez</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 3 Ecuaciones de re aireación utilizadas por el programa Qual2kW</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 4 Valores de la constituyente de la ecuación para los efectos de advección, dispersión y dilución</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 5 Variables modelados para el análisis de calidad por el programa Qual2kW</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 6 Parámetros modelados y calibrados para el proyecto de cargas contaminantes</i>	<i>17</i>

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca alta del río Suarez se encuentra ubicada en el departamento de Boyacá con una longitud de 71.4 km y con un área total de 192.3474,50 hectáreas, la componen 16 municipios entre los que se encuentran Tinjacá, Sutamarchán, Sáchica, Santa Sofía, Gachantiva, Samacá, Cucaita, Sora, Sáchica, Villa de Leiva, Moniquirá, Santana, Chitaraque, Arcabuco y Togüí. Su cabecera se encuentra en el municipio de Tinjacá y desemboca en la unión del río Lenguarico con el río Suarez. Esta cuenca hídrica corresponde al área Hidrográfica del Magdalena, Cauca, zona hidrográfica de Sogamoso y sub zona hidrográfica del Magdalena Cauca (IDEAM 1994) los principales ríos afluentes son río Sáchica, río Cané, río Ubaza y río Lenguarico.

Se tomó como información base la caracterización físico-química desarrollada en el año 2017 con la que se realizó un levantamiento hidrométrico del río tomando como referencia diez estaciones de monitoreo que se encuentran en todo el cauce, las cuales son: Río Tinjacá, Villa de Leiva Vereda Salto, Puente Gachantiva a Santa Sofía, puente Moniquirá Vereda Coper, Moniquirá- comfaboy, Salida Moniquirá, final Río Moniquirá, Puente de San José de Pare, Puente principal Santana y final Río Suarez. De igual forma se analizaron ocho puntos de monitoreo que fueron seleccionados para establecer el impacto que causan los vertimientos aguas de bajo de sus descargas los cuales fueron: Vertimiento Tinjacá, Río Sáchica, Río Cané, vertimiento caudal Ocaña, vertimiento Lavadero, Río Suarez puente Vía Barbosa, Río Ubaza y Río Lenguarico.

Tabla 1 Localización geográfica de estaciones hidrométricas del área de estudio

Nombre	Coordenadas de estaciones de monitoreo					
	Latitud			Longitud		
Río TINJACA	5.00	34	29	73	38	49
RIO TINJACA DESCARGA TINJACA	5.00	34	44	73	38	37
RIO MONIQUIRA PUENTE GACHANTIVA	5.00	44	39	73	34	41
RIO MONIQUIRIA VDA COPER	5.00	48	38	73	34	46
RIO MONIQUIRA COMFABOY	5.00	51	45	73	34	20
RIO MONIQUIRA PTAR COMFABOY	5.00	51	54	73	34	19
RIO MONIQUIRA FINAL	5.00	55	48	73	36	26

RIO SUAREZ PUENTE SAN JOSE	5.00	59	14	73	35	30
RIO SUAREZ PUENTE SANTANA	6.00	1	24	73.00	33	44
Rio TINJACA	6.00	16	26	73.00	29	53

Fuente: Informe de monitoreo año 2021

Tabla 2 localización geográfica de los puntos de monitoreo de los afluentes del Rio Suarez

Nombre	Norte	Este
RIO GACHANECA		
RIO LEYVA DESP VRT VILLA DE LEYVA		
RIO SÁCHICA		
RIO CANE		
RIO SUAREZ PUENTE BARBOSA		
INICIO TRAMO 2 S		
RIO POMECA ANTES ARCABUCO		
RIO POMECA		
RIO POMECA DESPUES Q COLORADA CON Q NN		
RIO POMECA DESP PTAR ARCABUCO		
RIO UBAZA TOGUI		
RIO UBAZA		
RIO LENGUARUCO		

A continuación, se ve la delimitación del área de influencia:

Ilustración 1 Ubicación geográfica de la Cuenca Sutamarchán, Moniquirá y Suarez A.D



Material y método utilizado

Herramientas de modelación:

El programa de modelación utilizado para la planificación de metas de carga contaminante para el quinquenio que comienza en el año 2020 y finaliza en el año 2024, es el programa matemático Qual2kW, versión 0.7, el cual simula la hidrodinámica de calidad de aguas de ríos y arroyos donde se asume zonas anóxicas y tramos longitudinalmente heterogéneos, maneja tributarios, fuentes difusas y puntuales.

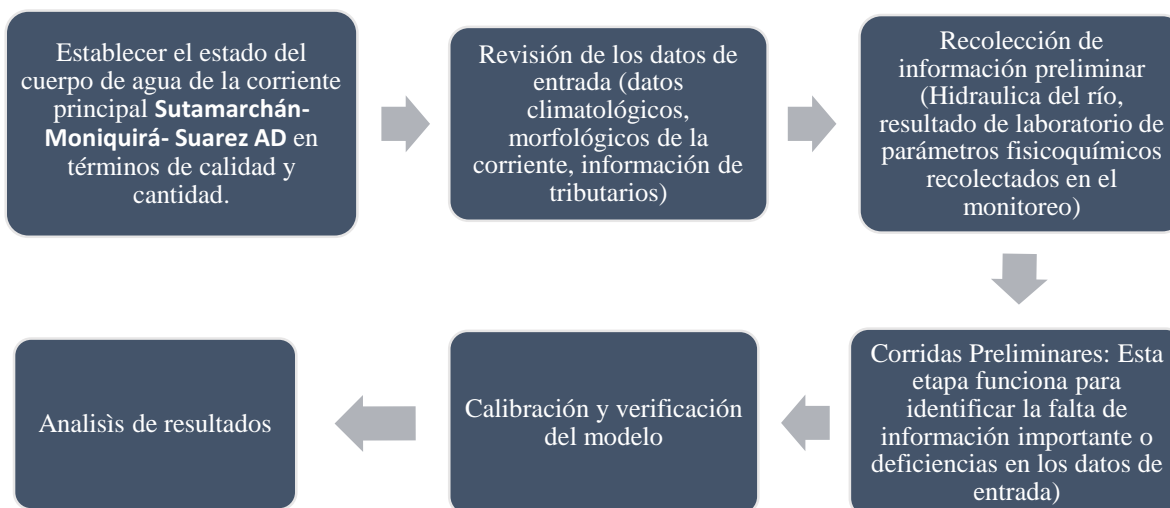
Este modelo de calidad del agua de los ríos es de los más completo desarrollado a lo largo de los años por la EPA. Incluye los siguientes fenómenos: degradación de la materia orgánica; crecimiento y la respiración de algas; nitrificación (teniendo en cuenta el nitrito como un producto intermedio); hidrólisis de nitrógeno orgánico y fósforo; re aireación; sedimentación de algas, de fósforo y de nitrógeno orgánico, la captación de sedimentos de oxígeno; sedimentos y liberación de nitrógeno y fósforo (Brown y Barnwell 1987). Todos estos procesos consideran el efecto de los ciclos de oxígeno, nitrógeno y fósforo.

Las principales características con las que trabaja este programa son:

- Unidimensional: el canal está bien mezclado verticalmente y lateralmente.
- Ramificación de tributarios: El sistema puede consistir en un río principal con afluentes ramificados.
- Sistema hidráulico de estado estable: el flujo es simulado bajo condiciones constantes
- La estimación de calor y temperatura se simula en función de meteorología en una escala de tiempo diaria
- Todas las variables de calidad se simulan en una escala de tiempo diaria
- El modelo simula los siguientes parámetros: conductividad, sólidos suspendidos inorgánicos, oxígeno disuelto, DBO Rápida, DBO lenta, Nitrógeno Orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, Fitoplancton, detritos, patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, pH, temperatura y caudal.

Metodología utilizada

Ilustración 2 Flujograma Proceso de Modelo de Calidad



Segmentación del cuerpo receptor

Estaciones de monitoreo

En este proyecto se tomaron 10 estaciones de muestreo que se encuentran ubicadas sobre la cuenca principal, con esta información se estableció la hidráulica del sistema y se recopilaron parámetros Físico – químicos y microbiológicos del agua para alimentar el programa de modelación.

Se modelaron 101.11 Km, desde la cabecera de la cuenca que se encuentra en el municipio de Tinjacá hasta su desembocadura que es en la unión del rio Suarez con el Rio Lenguaruco. El siguiente esquema representa la ubicación de las estaciones de muestreo:

Ilustración 3 Definición de estaciones y puntos de monitoreo

1	Rio TINJACA
2	RIO TINJACA DESCARGA TINJACA
3	RIO GACHENECA

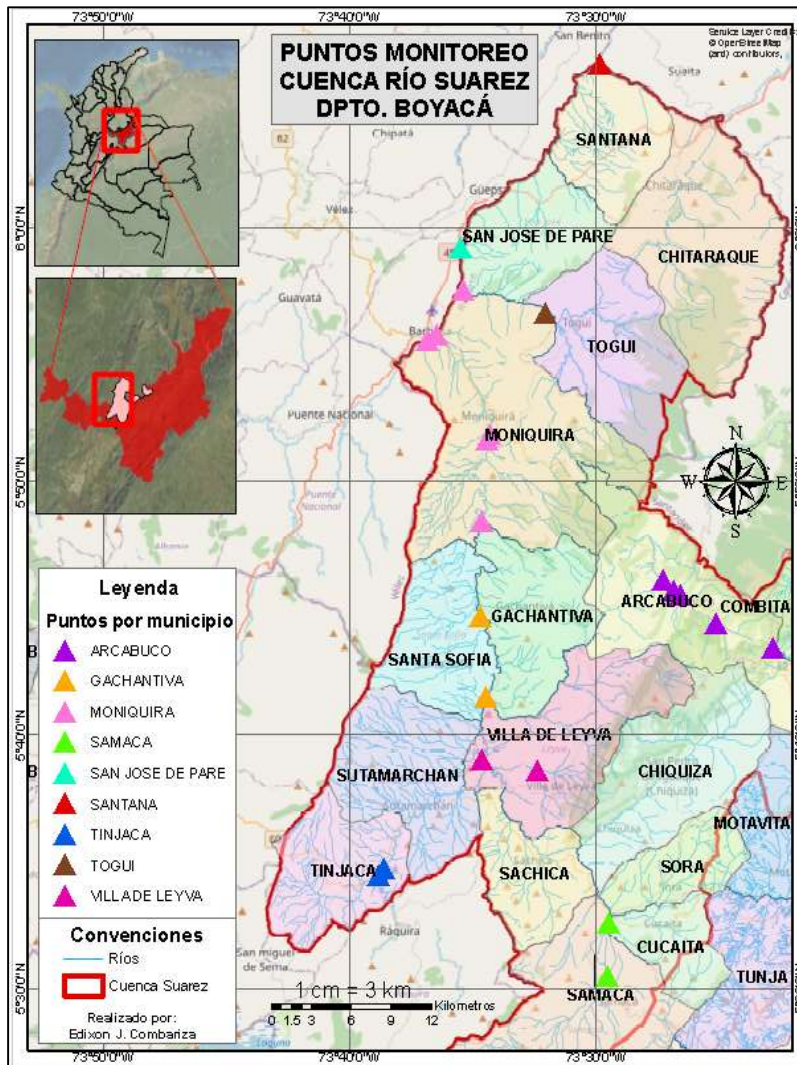
		5	RIO SÁCHICA (PUNTO)	4	RÍO LEYVA
		6	RIO CANE		
7	RIO MONQUIRA PTE GACHANTIVA				
8	RIO MONQUIRA COPER				
9	RIO MONQUIRA COMFABOY				
10	RIO MONQUIRA PTAR COMFABOY				
		11	RIO SUAREZ PUENTE BARBOSA		
12	RIO MONQUIRA FINAL				
		13	RIO POMECA INICIO T2S		
		14	RIO POMECA ANTES ARCABUCO		
		15	RIO POMECA DESP PTAR	16	RIO UBAZA TOGUI
		17	RIO UBAZA		
18	RIO SUAREZ PTE SAN JOSE				
19	RIO SUAREZ PTE SANTANA				
		20	RIO LENGUARUCO		
21	RIO SUAREZ FINAL				
	CABECERA		AFLUENTES		Aportantes a Alfuentes

Puntos de Monitoreo

Como información de partida para la modelación se tomaron puntos de monitoreo ubicadas aguas de bajo de los principales vertimientos y ríos tributarios que descargan en la corriente principal Sutamarchán-Moniquirá Suarez. En las siguiente grafica se representa la ubicación de los ríos tributarios

y los puntos de monitoreo de la corriente principal del río Suarez y los tramos a los que corresponden.

Ilustración 4 Definición Puntos de Monitoreo



Constantes y coeficientes

El programa de modelación Qual2kW modela procesos de degradación y transporte de los compuestos vertidos a la corriente, para lo cual permite predecir ciertos procesos ambientales que se pueden generar en los cuerpos hídricos, los principales son:

Modelo de re aireación

Las ecuaciones que permiten predecir el proceso de re aireación en los ríos están enfocadas a determinar la tasa de re aireación, también llamada coeficiente de re aireación (K_a), la cual mide la velocidad a la que el oxígeno presente en la atmósfera es transferido a los cuerpos de agua, las siguientes ecuaciones sirven para ajustar el oxígeno disuelto presentado en un cuerpo hídrico, las cuales están representadas en la siguiente tabla:

Tabla 3 Ecuaciones de re aireación utilizadas por el programa Qual2kW

Ecuación	K_a (d^{-1} a 20 °C)	Unidades
O'Connor y Dobbins (1958)	$K_a = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$ <p> $0.305 \text{ m} \leq H \leq 9.14 \text{ m}$ $0.15 \text{ m/s} \leq U \leq 0.49 \text{ m/s}$ $0.05 \text{ d}^{-1} \leq K_a \leq 12.2 \text{ d}^{-1}$ </p>	$U = \text{m/s}$ $H = \text{m}$
Churchill et al. (1962)	$K_a = 5.026 \frac{U^{0.969}}{H^{1.673}}$ <p> $0.61 \text{ m} \leq H \leq 3.35 \text{ m}$ $0.55 \text{ m/s} \leq U \leq 1.5 \text{ m/s}$ $0.000126 \text{ m/m} \leq S \leq 0.002351 \text{ m/m}$ $0.225 \text{ d}^{-1} \leq K_a \leq 5.56 \text{ d}^{-1}$ </p>	$U = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ $S = \text{m/m}$
Owens et al. (1964)	$K_a = 5.34 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}}$ <p> $0.122 \text{ m} \leq H \leq 3.35 \text{ m}$ $0.0305 \text{ m/s} \leq U \leq 1.52 \text{ m/s}$ $0.000156 \text{ m/m} \leq S \leq 0.0106 \text{ m/m}$ $0.31 \text{ d}^{-1} \leq K_a \leq 49.17 \text{ d}^{-1}$ </p>	$U = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ $S = \text{m/m}$

Fuente: manual de usuario Qual2kW 2007

Las constantes de re aireación que se producen en las aguas naturales van a depender de factores como:

- Turbulencia y las condiciones de mezcla interna en el cuerpo de agua

- Temperatura
- Velocidad del viento
- La presencia de rápidos, caídas, etc.

Constante de desoxigenación carbonácea

La demanda Bioquímica de oxígeno Carbonacea es la primera etapa de descomposición de la materia orgánica y la re aireación química que se utiliza es:

$$\frac{dL}{dt} = k * L$$

Donde k corresponde a una constante de desoxigenación y L la longitud del tramo.

Para poder determinar la constante de desoxigenación carbonacea es necesario medir la DBO y es necesario utilizar los parámetros hidráulicos medidos en campo, en esto influyen los procesos de degradación microbiológicas y sedimentación, dichos procesos se cuantifican con la estimación de tasas de remoción de DBOc a partir de métodos matemáticos que predicen la asimilación de carga de materia orgánica, la capacidad de autodepuración y la calidad de agua.

Ecuación de transporte de masas

La ecuación básica que emplea el modelo QUAL2KW para estimar la concentración de un compuesto a lo largo de un cuerpo de agua receptor se basa en una expresión unidimensional en la que se consideran cambios de concentración que ocurren desde el punto de la descarga. Para cualquier constituyente, la ecuación básica es la siguiente, la cual es aplicada a un volumen de control o en cada tramo del río considerando un transporte advectivo $[Q * C]$ y de dispersión a medida que la masa se mueve a lo largo de la corriente. La masa puede ser agregada o removida del sistema por medio de fuentes externas y salidas $[Q_x * C_x]$ y agregada o removida por

fuentes o sumideros internos, tales como la Demanda Béntica y las transformaciones Biológicas.

La siguiente ecuación incluye los efectos de advección, dispersión, dilución, reacción, fuentes y sumideros. Por cualquier constituyente C esta ecuación puede ser escrita como:

$$\left[\frac{\partial M}{\partial t} \right] = - \frac{\partial \left(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial \left(A_x \bar{u} C \right)}{\partial x} dx + (A_x dx) \frac{dC}{dt} + s$$

Tabla 4 Valores de la constituyente de la ecuación para los efectos de advección, dispersión y dilución

Constituyentes	Nomenclatura	Unidades
<i>Masa del compuesto</i>	<i>M</i>	<i>(M)</i>
<i>Distancia desde un punto de referencia</i>	<i>x</i>	<i>(L)</i>
<i>Tiempo</i>	<i>t</i>	<i>(T)</i>
<i>Concentración del compuesto</i>	<i>C</i>	<i>(M/L³)</i>
<i>Sección transversal del cuerpo de agua</i>	<i>A_x</i>	<i>(L³)</i>
<i>Coefficiente de dispersión longitudinal</i>	<i>D_L</i>	<i>(L²/T)</i>
<i>Velocidad media del agua</i>	<i>U</i>	<i>(L/T)</i>
<i>Aportes externos o pérdidas</i>	<i>S</i>	<i>(M/T)</i>
<i>Volumen de control</i>	<i>V</i>	<i>(L³)</i>

Fuente: manual de usuario Qual2kW 2007

El modelo considera que la corriente presenta un estado estacionario ($\partial V/\partial t = 0$) es decir que el volumen de control no se reduce ni disminuye. La ecuación indica que la concentración de un compuesto tiene relación con los siguientes procesos:

* **Dispersión:** Cambio en el compuesto en el cuerpo de agua por acción de la intensidad de la mezcla.

- * Advección: Corresponde a los cambios que sufre el compuesto debido al desplazamiento que sufre por acción de los movimientos del fluido.
- * Reacción: Cambios en la concentración del compuesto por reacción con otras sustancias presentes en el agua.
- * Aportes externos: Aportes de compuesto por acción de un vertimiento
- * Pérdidas: Pérdidas por infiltración en el suelo o bio acumulación.
- * Dilución: Cambios en la concentración cuando la carga compuesto se distribuye en un determinado volumen.

PARAMETROS MODELADOS

Parámetros Qual2Kw

Los parámetros que el Programa Qual2kW modela para establecer la calidad del agua son los que se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Variables modelados para el análisis de calidad por el programa Qual2kW

Tabla 5 Variables modelados para el análisis de calidad por el programa Qual2kW

Variable	Símbolo	Unidades
Conductividad	s	μmhos
Temperatura	T	$^{\circ}\text{C}$
Sólidos Suspendidos Inorgánicos	m_i	mgD/L
pH	pH	
Oxígeno Disuelto	o	mgO_2/L
DBO rápida	c_f	mgO_2/L
Nitrógeno Orgánico	n_o	$\mu\text{gN/L}$
Nitrógeno Amoniacal	n_a	$\mu\text{gN/L}$
Nitratos	n_n	$\mu\text{gN/L}$
Fosforo Orgánico	p_o	$\mu\text{gP/L}$
Fosforo Inorgánico	p_i	$\mu\text{gP/L}$
Fitoplancton	a_p	$\mu\text{gA/L}$
Detritos	m_o	mgD/L
Alcalinidad	Alk	mgCaCO_3/L

Fuente: Manual del Usuario Qual2Kw

- Temperatura: Es el parámetro físico más importante del agua pues afecta la viscosidad y la velocidad de las re- aireaciones químicas e interviene en el diseño de la mayoría de procesos de tratamiento de agua.

- Sólidos Suspendidos: Son los sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua ya que son utilizados para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- pH: el pH mide la intensidad de la acidez y la basicidad y se encuentra en una escala de 0 a 14, este se puede medir por instrumentos electrónicos en el laboratorio o en campo.
- Conductividad: Es un indicativo de las sales disueltas en el agua y miden la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, esta es una medida indirecta de sólidos disueltos, las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.
- Nitrógeno: es un nutriente o un bioestimulador del crecimiento de plantas, este es básico para la síntesis de proteínas, además de esto dependiendo de las cantidades en las que se encuentre en el agua se determina el tratamiento mediante procesos biológicos.
- Nitrógeno Amónico: Se encuentra en soluciones acuosas en forma de amonio o como amoníaco y está en función del pH. Este es por tanto un indicador de contaminación orgánica.
- Nitritos y Nitratos. Tienen gran importancia en los estudios de agua, dada su gran toxicidad para la fauna piscícola y demás especies acuáticas. Los nitratos son la forma más oxidada de nitrógeno de oxígeno que se puede encontrar en el agua, son producto de la descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas, es de gran importancia analizarlos constantemente por que en concentraciones mayores de 10 mg/l producen metahemoglobina en los niños.
- Fosforó: Es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, el contenido normal presente en un agua residual esta entre 4 y 15 mg/L.
- Fosforo Inorgánico: Este se hallan disponibles para el metabolismo biológico y se encuentra disuelto en el agua que es aprovechado directamente por las plantas.

- Fitoplancton: Es un conjunto de microorganismos vegetales y sirve como alimento para los animales, su componente principal son las algas. Su ubicación se da principalmente en la parte superficial de las aguas y es un eslabón fundamental de la cadena alimenticia acuática.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar, oxidar y estabilizar. Con este dato se diseñan equipos de re aireación en los procesos de lodos activados, se dimensionan unidades de tratamiento de aguas y se cobran tasas retributivas.
- Oxígeno Disuelto: El oxígeno disuelto está directamente relacionado con la temperatura ya que si el agua está demasiado caliente bajara las concentraciones de oxígeno, de igual manera bajara sus concentraciones por la sobre fertilización de las plantas.

Parámetros modelados para analizar el estado de la calidad de agua de la cuenca principal Sutamarchán - Monquirá, Suarez AD

Para cumplir con el propósito del proyecto se modelaron y calibraron parámetros físico- químicos y, microbiológicos que reflejaran el estado actual de la calidad del cuerpo hídrico correlacionándolos con las variables medidas para el establecimiento de objetivos de calidad definidos para los usos genéricos del río que se dictan en la Resolución 1433 DEL 2019.

Tabla 6 Parámetros modelados y calibrados para el proyecto de cargas contaminantes

Parámetro	Unidad
<i>DBO</i>	mg O ₂ /L
<i>Fosfatos</i>	mg/l
<i>nitratos</i>	mg/l
<i>OD</i>	mg/l
<i>ph</i>	Unidades
<i>SSI</i>	mg/l
<i>Temperatura</i>	°C

Fuente: Corpoboyacá

Adicionalmente se modelo el parámetro de cobro de tasa retributiva por Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Inorgánicos y parámetros hidrológicos como caudal y velocidad.

RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DEL MODELO

Para la modelación de calidad se definieron los siguientes aspectos: longitud total del río 71 km, aproximadamente entre los puntos de muestreo aguas arriba y los puntos de muestreo aguas bajo, en donde se tomaron las estaciones de monitoreo como información para la calibración y como datos de partida los puntos de muestreo.

Con el fin de determinar las características hidráulicas de la corriente principal se tomó como referente la ecuación Manning que establece un valor de 0.07 para el factor n, los demás datos batimétricos se hallaron a partir del caudal y velocidad

Características de la cabecera de la corriente

El tramo a modelar inicia en la estación de monitoreo 1 que corresponde al municipio de Tinjacá, a continuación, se evidencian los resultados

Ilustración 5 Cabecera (Headwater) del modelo de calidad

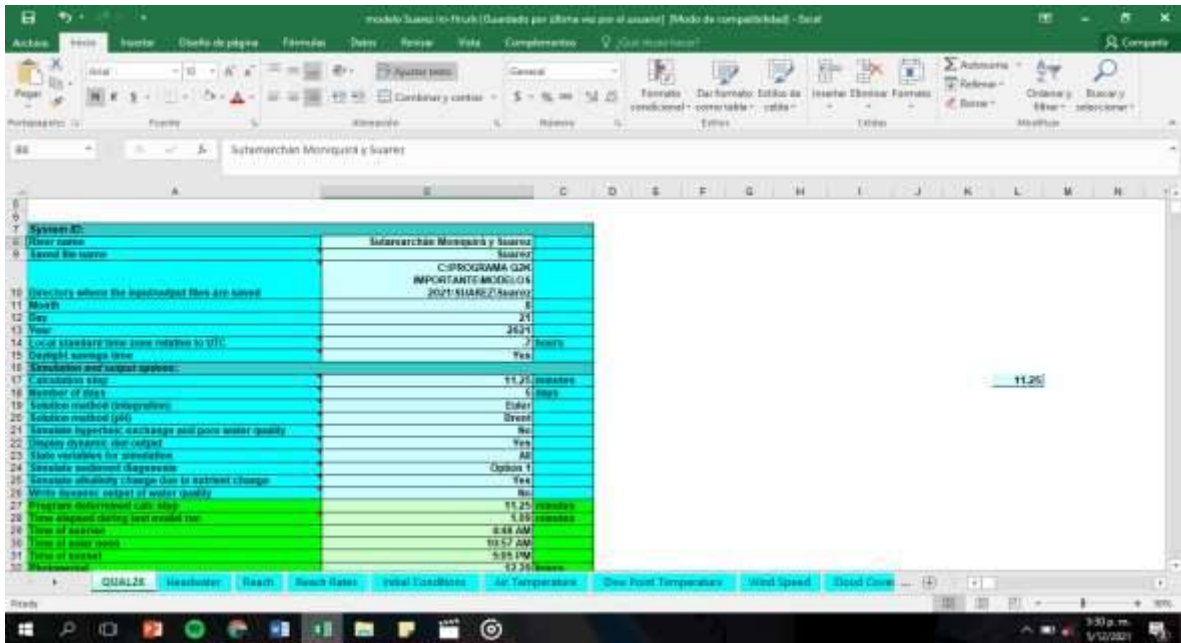
Parameter	12:00 a.m.	1:00 p.m.	2:00 p.m.	3:00 p.m.	4:00 p.m.	5:00 p.m.	6:00 p.m.	7:00 p.m.	8:00 p.m.	9:00 p.m.	10:00 p.m.	11:00 p.m.	12:00 a.m.
Temperature	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50
Dissolved Oxygen	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
Dissolved Oxygen Sat	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44
DO Deficit	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
Organic Nitrogen	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00	2880.00
NH4-Nitrogen	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
NH3-Nitrogen	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Organic Phosphorus	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Inorganic Phosphorus	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Phosphate	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Nitrate	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
Nitrite	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Nitrate-Nitrogen	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Ammonia	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
pH	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27	6.27

Fuente: Corpoboyacá

Alimentación del modelo

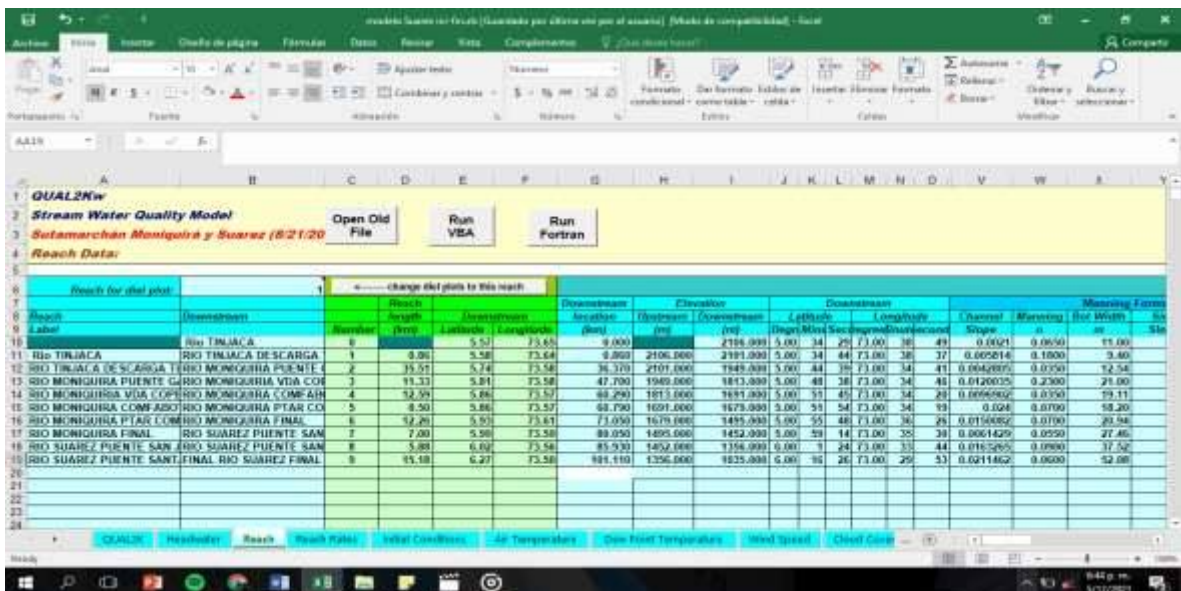
A continuación, se presentan los datos introducidos en la descripción del proyecto generados en el modelo Qual2kW 0.7.

Ilustración 6 Datos de entrada modelo de calidad



Fuente: Qual2kW5

Ilustración 7 Características de calidad e Hidráulicas



Fuente: Qual2kW 2007

En la siguiente imagen se ingresaron las constantes hidráulicas de la corriente y la información de cada uno de los tramos en los que se segmentó el río.

Ilustración 8 Registro de Parámetros tomados en campo y laboratorio (WQdata)

Segmento	Contd (mg/L)	BOD5 (mg/L)	DO (mg/L)	CHLOROPHYTOCELLS (mg/L)	CHLOROPHYTOCELLS (mg/L)	Meta (mg/L)	AMH (mg/L)	NO2 (mg/L)	Pera (mg/L)	Pera P (mg/L)	Pera (mg/L)	Over (mg/L)	Pathogen
1	6.888	221.88	17.80	6.44	6.50	2760.00	180.00	100.00	50.00	70.00	100.00	4.51	
2	6.888	221.88	17.80	6.44	7.98	2760.00	180.00	100.00	50.00	80.00	100.00	2.26	
3	36.379	215.56	23.80	5.45	6.88	2690.00	400.00	300.00	50.00	80.00	100.00	2.26	
4	47.798	260.66	23.80	6.29	6.88	2640.00	160.00	100.00	50.00	80.00	100.00	2.26	
5	18.258	229.66	13.00	5.39	7.83	2690.00	400.00	100.00	50.00	80.00	100.00	2.26	
6	18.739	267.88	18.80	6.36	6.75	2730.00	270.00	100.00	50.00	80.00	100.00	2.26	
7	73.848	269.88	24.80	5.87	6.72	2780.00	160.00	290.00	20.00	80.00	100.00	4.51	
8	88.838	303.88	17.80	7.98	6.47	2780.00	220.00	330.00	50.00	80.00	100.00	4.51	
9	85.838	188.26	17.20	5.60	6.57	1630.00	137.00	280.00	130.00	80.00	100.00	3.38	
10	161.558	117.78	88.80	6.57	6.13	2780.00	220.00	500.00	20.00	50.00	100.00	3.38	

Fuente: Qual2kW 2007

A continuación, se presentan los valores climatológicos correspondientes al día del muestreo.

Ilustración 9 Recopilación de información meteorológica

Segmento	Date	Time	Temp (C)	Humid (%)	Wind (km/h)	Dir (Deg)	Cloud (%)	Vis (km)	Pres (mmHg)	Rel Hum (%)	Wind Dir (Deg)	Wind Spd (km/h)	Wind Spd (m/s)
1	11/01/2018	08:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
2	11/01/2018	09:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
3	11/01/2018	10:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
4	11/01/2018	11:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
5	11/01/2018	12:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
6	11/01/2018	13:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
7	11/01/2018	14:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
8	11/01/2018	15:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
9	11/01/2018	16:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	
10	11/01/2018	17:00	23.00	80.00	10.00	180.00	100.00	10.00	1013.00	80.00	10.00	2.78	

Fuente : Qual2kW

En la ventana Point Source se introdujeron los vertimientos medidos en el año 2017 y los ríos tributarios digitalizando la información referente a parámetros de calidad e hidrológicos necesarios para la modelación QUAL2KW.

Ilustración 10 Recopilación de Información relacionada a Afluentes y/o Vertimientos a la cuenca principal

The screenshot shows the QUAL2KW software interface with a data table for Point Source Data. The table includes columns for Name, Location (km), Point Abstraction (m³/s), Point Effluent (m³/s), Temperature (range 1, range 2, days of week), Specific Conductance (range 1, range 2, days of week), Inorganic Nitrogen (range 1, range 2, days of week), and Suspended Solids (range 1, range 2, days of week).

Name	Location (km)	Point Abstraction (m ³ /s)	Point Effluent (m ³ /s)	Temperature (range 1, range 2, days of week)	Specific Conductance (range 1, range 2, days of week)	Inorganic Nitrogen (range 1, range 2, days of week)	Suspended Solids (range 1, range 2, days of week)
RIO LA HABLA	16.94	16.36000	18.400	18.000	182.100	0.000	0.000
RIO LEYVA DESP VRI VILLA DE LEYVA	16.34	16.36000	19.200	19.200	319.000	0.000	0.000
RIO SALVIA	16.34	16.36000	19.200	19.200	595.000	0.000	0.000
RIO LAHE	22.34	22.34000	17.000	17.000	54.200	5.000	5.000
RIO SUAREZ PUENTE BARROSA	11.37	74.19000	18.900	18.900	215.000	31.000	31.000
RIO TRAMUZ S	60.03	77.49000	13.100	13.100	60.800	60.000	60.000
RIO POMCA ABTES ARCABICO	60.03	77.49000	13.400	13.400	70.800	60.000	60.000
RIO POMCA	60.03	77.49000	14.000	14.000	66.200	67.000	67.000
RIO POMCA DESP U COLONIAS CON G NN	60.03	77.49000	14.000	14.000	64.800	35.000	35.000
RIO POMCA DESP PTAR ARCABICO	60.03	77.49000	15.000	15.000	71.000	32.000	32.000
RIO IHACA TOGAI	60.03	77.49000	18.200	18.200	100.000	20.000	20.000
RIO IHACA	60.03	77.49000	19.500	19.500	12.000	20.000	20.000
RIO LEHUARICO	62.58	100.25000	21.400	21.400	64.000	50.000	50.000

Fuente : Qual2kW

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos por el programa Qual2kW con relación a los parámetros físico químicas medidos de los vertimientos que descargan en el río Suarez.

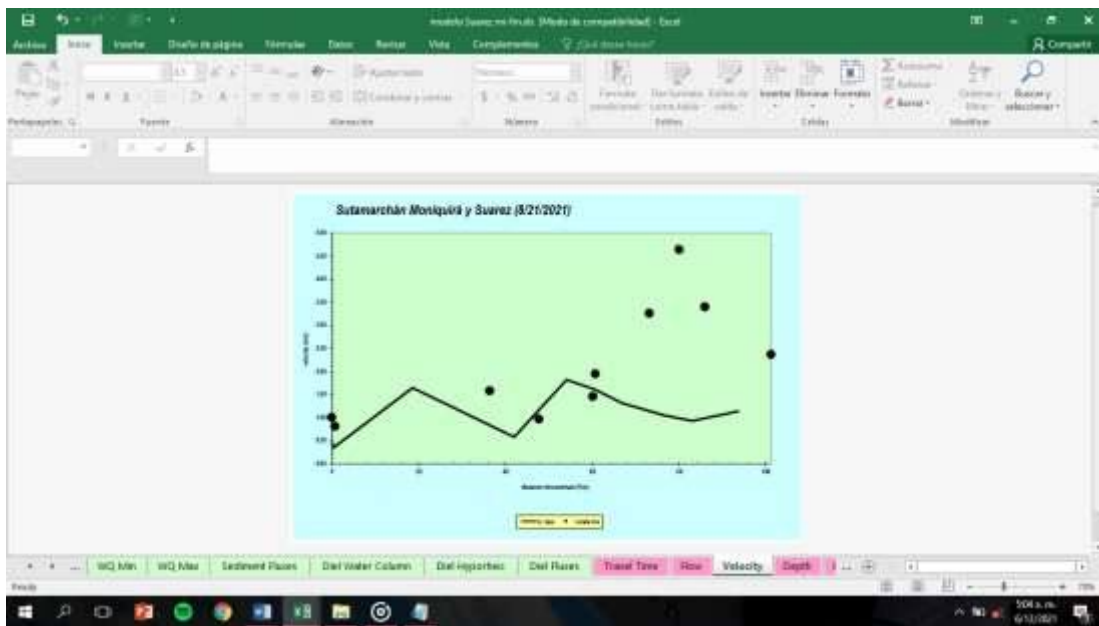
Resultados de calibración

La calibración de un modelo de simulación de calidad de agua es un proceso complejo que procura la obtención de conjuntos de valores de calibración que minimicen la diferencia o error entre los datos medidos de campo y los calculados por el modelo. El modelo así calibrado es el que proporciona un ajuste óptimo global a todos los datos medidos. Con esta metodología se logró calibrar el modelo utilizando como base la simulación de la calidad de agua con los datos observados en campo.

Antes de iniciar la calibración, se definió el modelo de re aireación que más se ajustaba a las características de la corriente, se definieron lo parámetros a calibrar y las constantes cinéticas con las que se va a calibrar y se ejecutó la opción “Run Fortran” del modelo para correr el programa con los nuevos datos ingresados

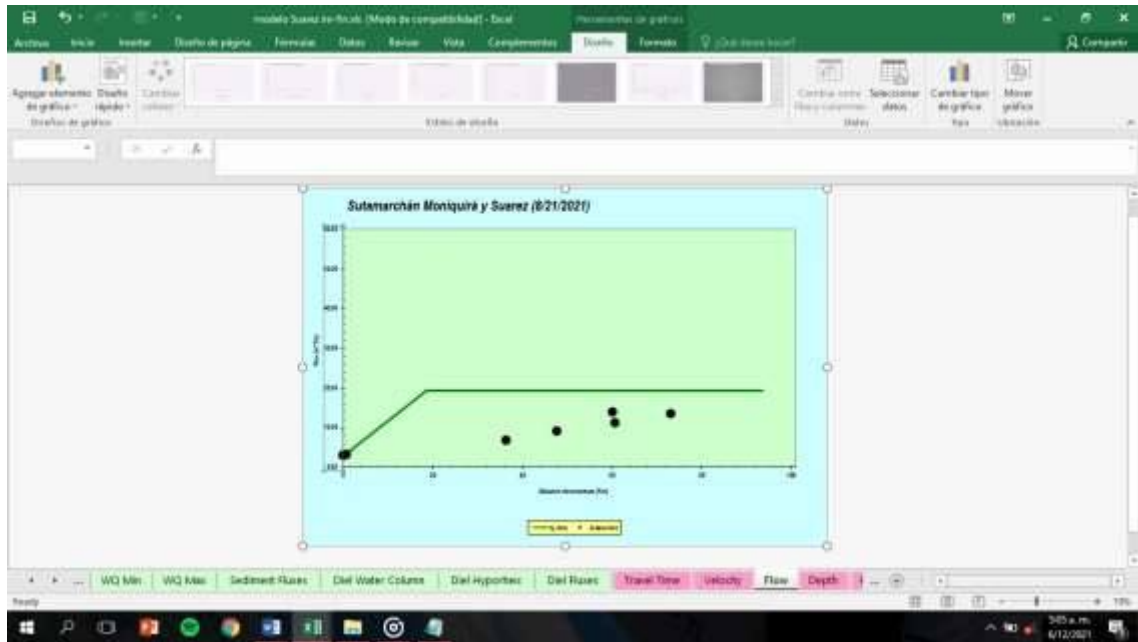
Al finalizar el proceso de calibración se alimentó el modelo con los datos observados en la campaña de monitoreo seleccionada para la confirmación, se mantuvieron fijas las constantes cinéticas calibradas y se ajustó la opción “RUN FORTRAN” del modelo para correr al programa con los nuevos datos ingresados. Al finalizar la corrida se obtuvieron las gráficas con los resultados para los parámetros modelados que son los siguientes:

Ilustración 11 Calibración por el programa Qual2kW para Velocidad



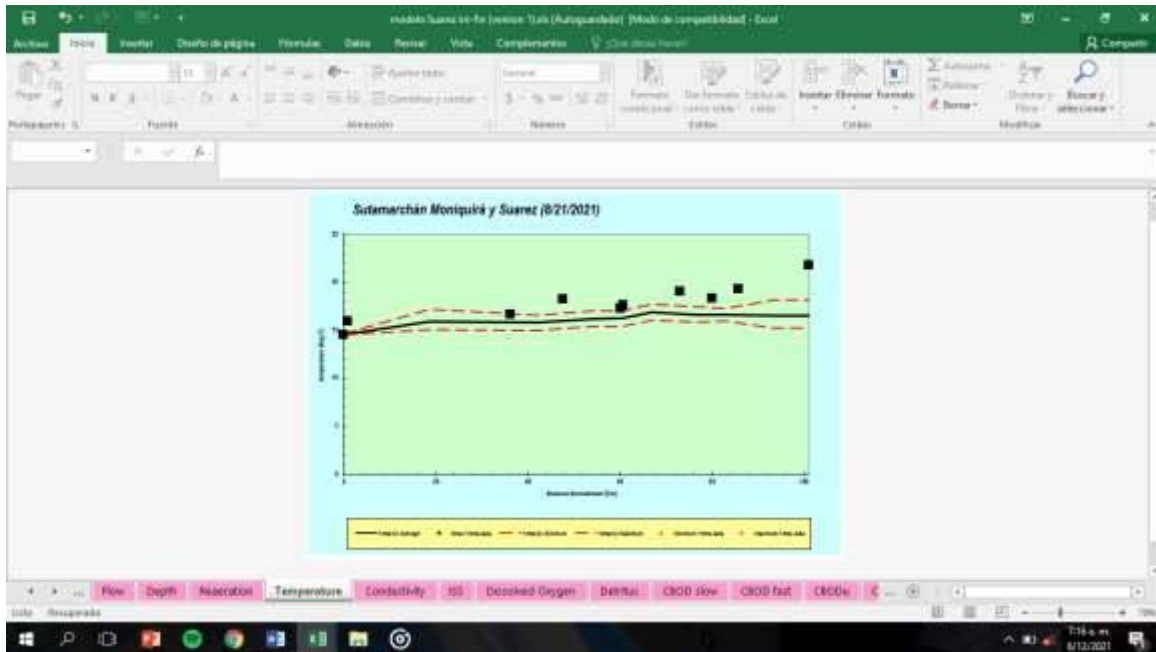
Fuente : Qual2Kw

Ilustración 12 Calibración por el programa Qual2kW para Caudal



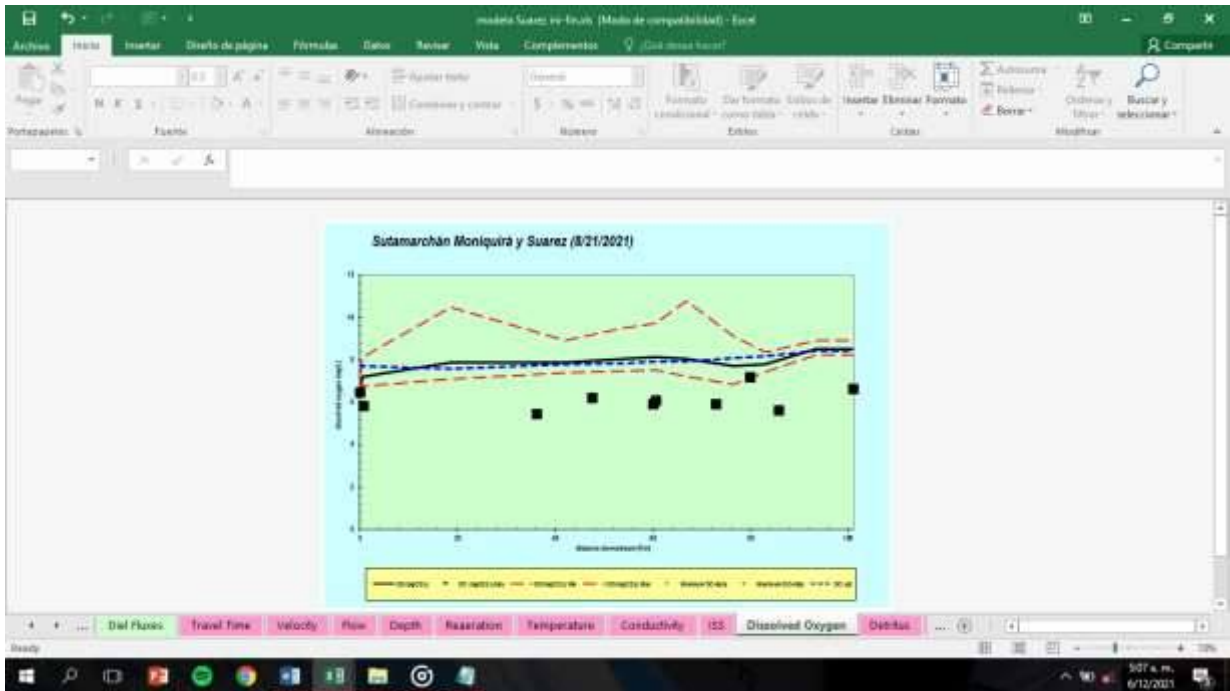
Fuente: Qual2Kw

Ilustración 13 Calibración por el programa Qual2kW para el parámetro de Temperatura



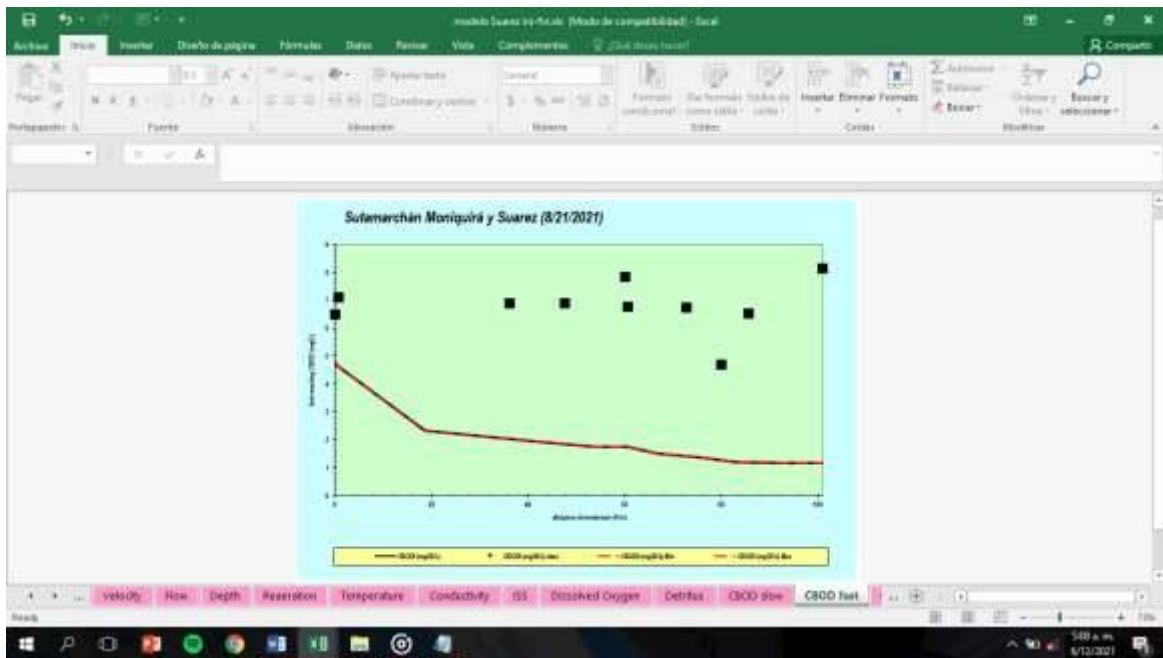
Fuente: Qual2Kw

Ilustración 14 Calibración por el programa Qual2kW para el Oxígeno Disuelto



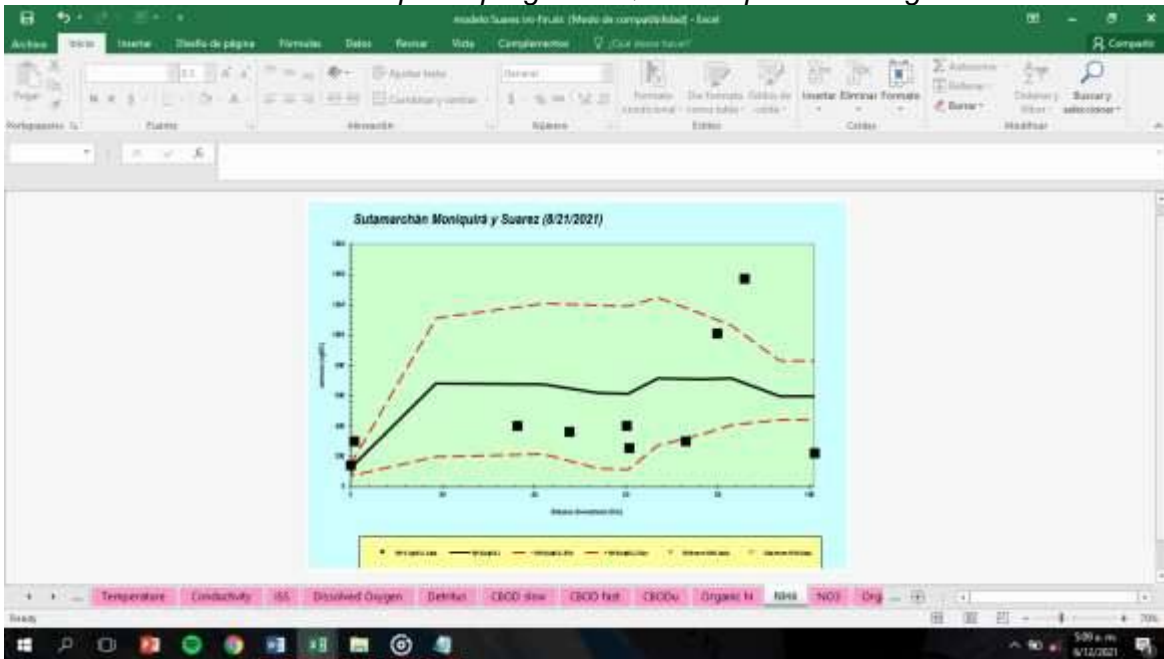
Fuente: Qual2kW

Ilustración 15 Calibración por el programa Qual2kW para la Demanda Bioquímica de Oxígeno



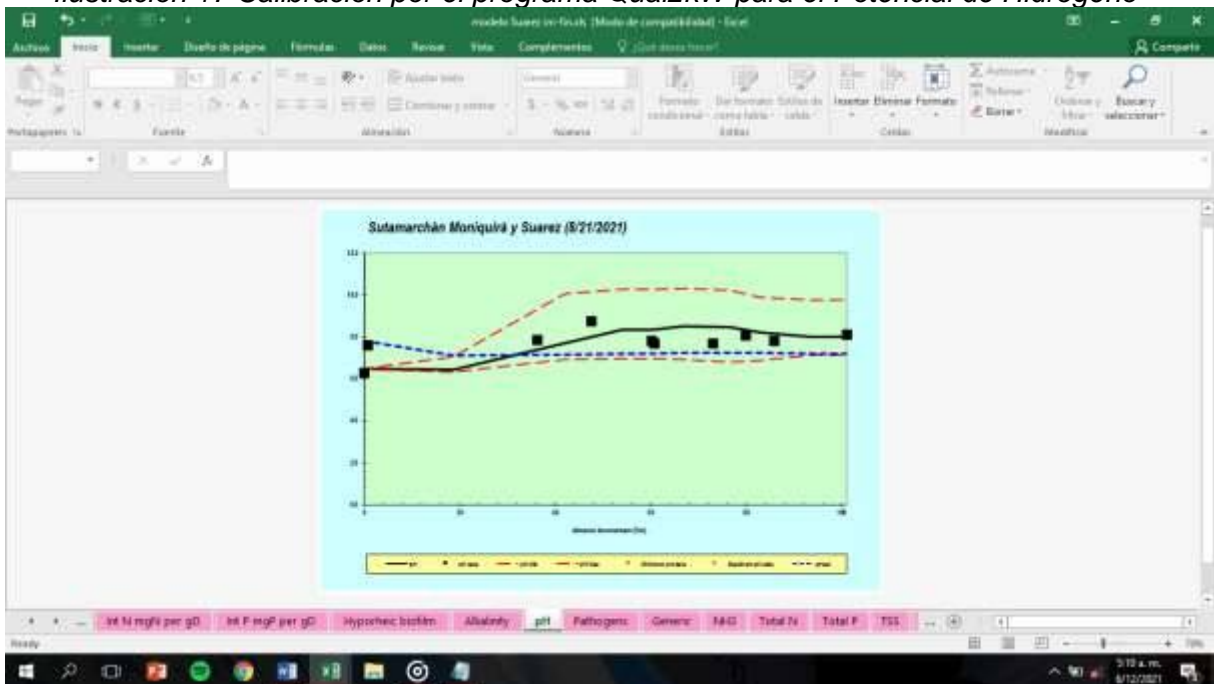
Fuente: Qual2kW

Ilustración 16 Calibración por el programa Qual2kw para el Nitrógeno Amoniacal



Fuente: Qual2Kw

Ilustración 17 Calibración por el programa Qual2kw para el Potencial de Hidrógeno

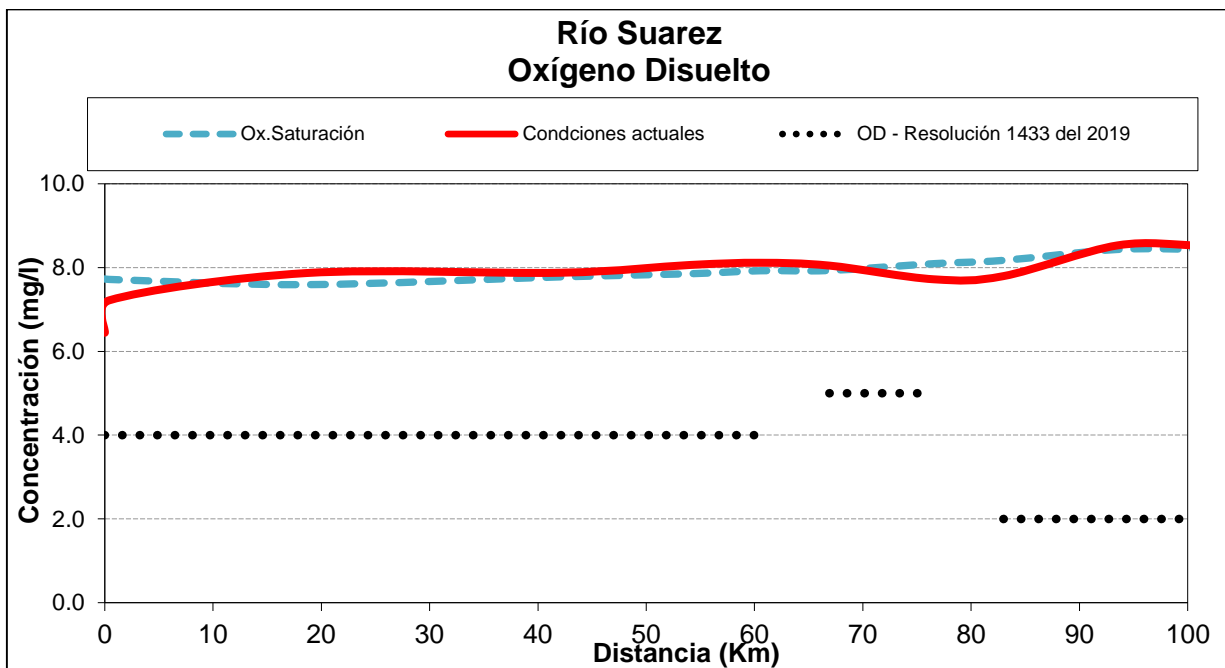


Fuente: Fuente: Qual2kw

Resultados Modelados y análisis

Resultados de Oxígeno disuelto

Ilustración 18 Resultado modelado de Oxígeno Disuelto por el programa Qual2kW

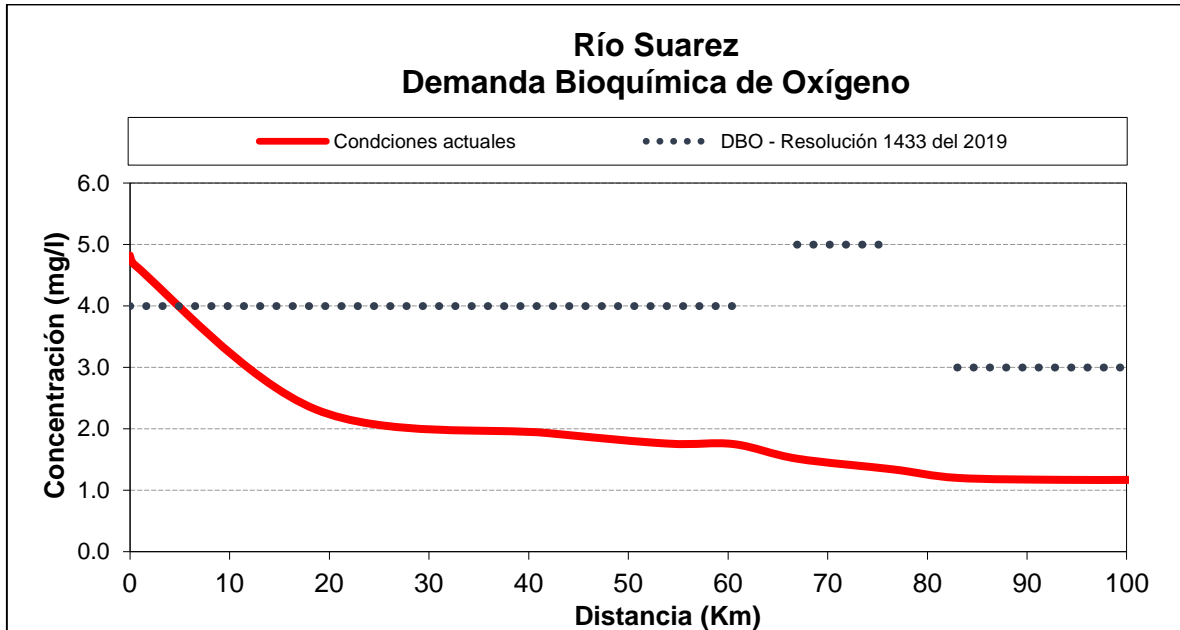


Fuente : Corpoboyacá

En la grafica de Oxigeno Disuelto se puede evidenciar que el rio cuenta con un excelente nivel de Oxigeno Disuelto, esto se debe que las condiciones hidraulicas se pueden considerar con grandes corrientes a grandes alturas, estas características de O'Connor y Dobbins, por ende la recuperación del río respecto a este parámetro depende de la autodepuración del río

Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Ilustración 19. Resultado modelado de DBO por el programa Qual2kW



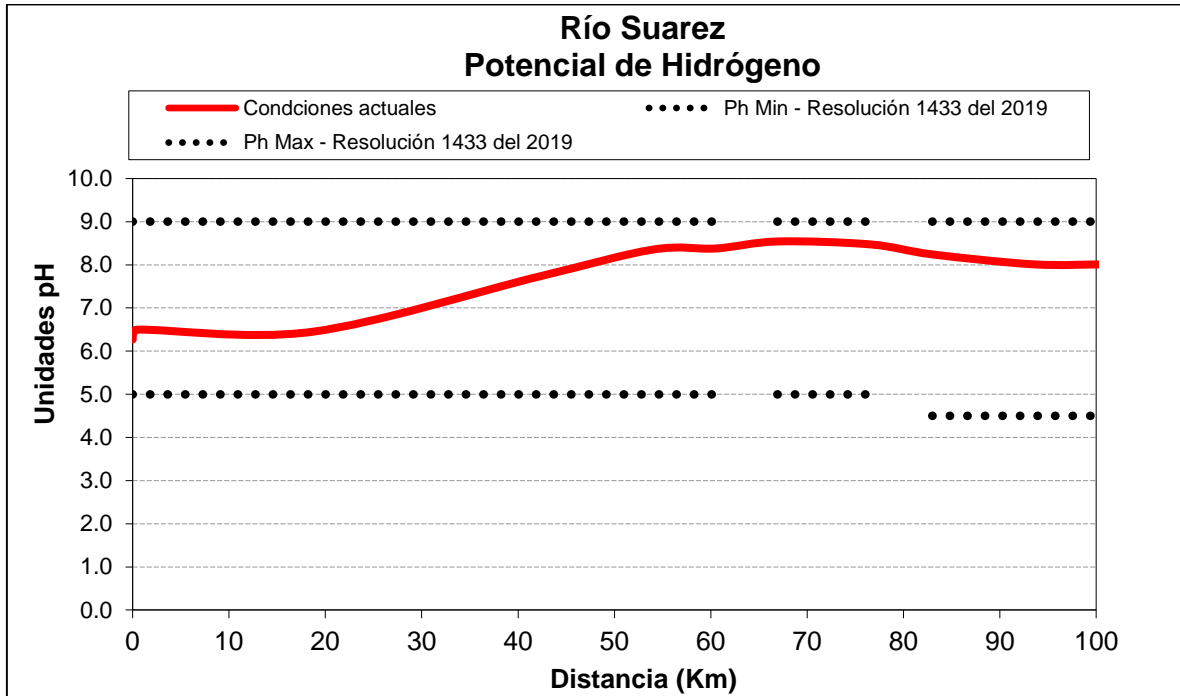
Fuente : Corpoboyacá

La DBO_5 se considera Como el oxígeno requerido para que los organismos realicen una descomposición aeróbica de la materia orgánica presente en la fuente. Este es un parámetro indirecto que se utiliza para medir la concentración de la materia orgánica biodegradable en un cuerpo de agua y representa la cantidad de oxígeno que se demanda para lograr la degradación biológica del vertimiento.

Los datos modelados de DBO cumplen con los objetivos de Calidad se encuentran por debajo del límite permisible, las concentraciones son óptimas en todo el transcurso del río.

Resultados de Potencial de hidrógeno

Ilustración 20 Resultado modelado de pH por el programa Qual2kW



Fuente : Corpoboyacá

De acuerdo a la grafica , se observa que el comportamiento que presenta el pH a lo largo del rio no se encuentra en ningun momento por fuera de los valores definidos por la normatividad ambiental vigente . No obstante, a partir del km 30 se presenta un incremento lones de Hidrogeno alcanzando un valor de 8.38 unidades de PH que es un valor tipico de un pH alcalino.

Resultados Nitrogeno Organico y Nitratos

Ilustración 21 Resultado modelado de Nitrógeno Orgánico por el programa Qual2kW

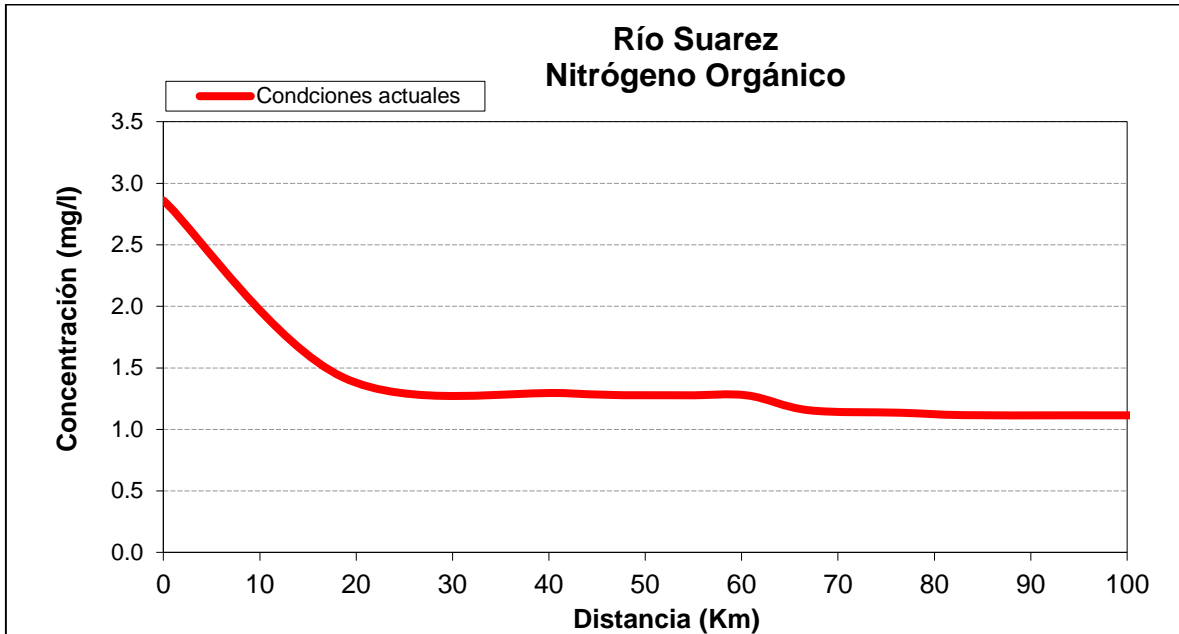
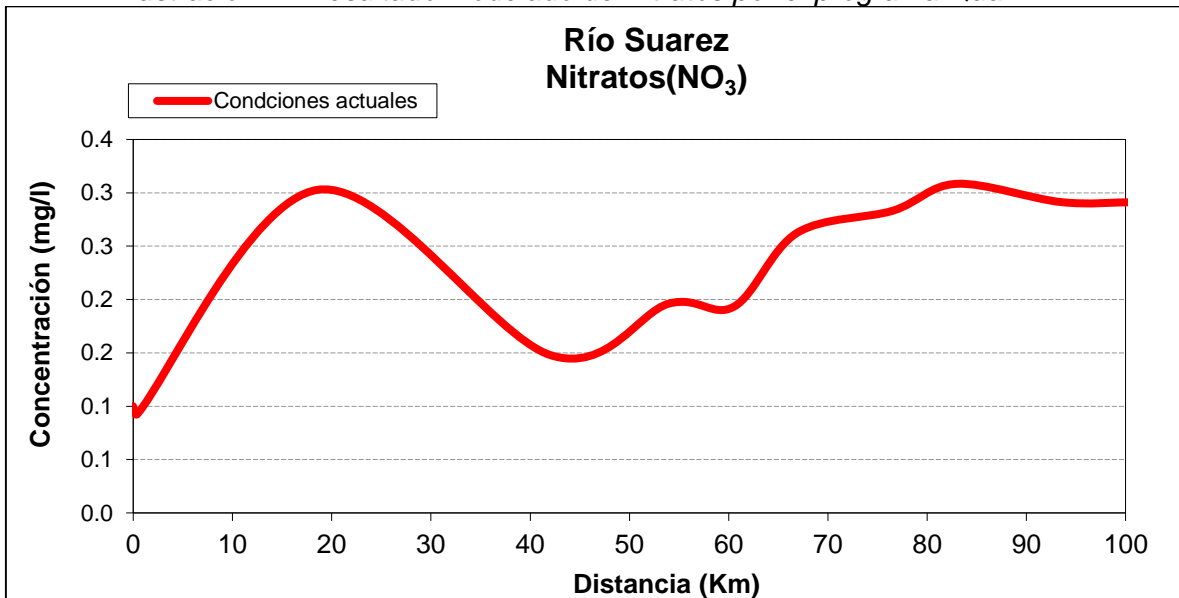


Ilustración 22 Resultado modelado de Nitratos por el programa Qual2kW



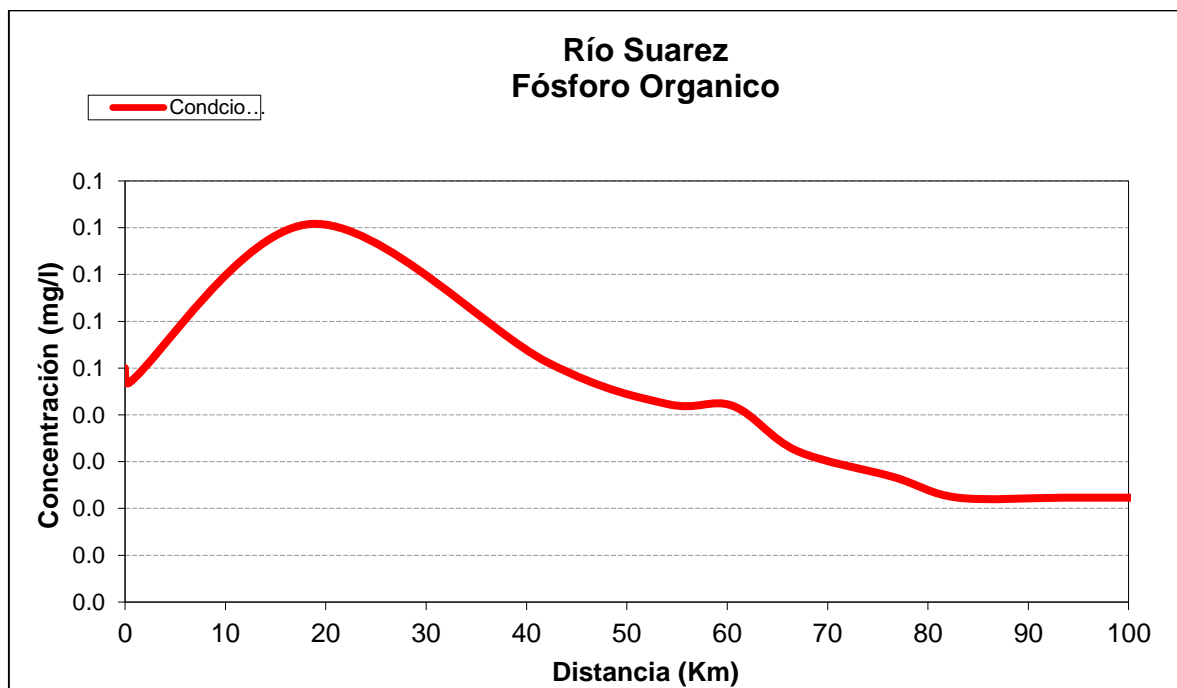
Fuente : Corpoboyacá

En terminos de Nitrogeno , el program Qual2kW modela el nitrogeno Amoniacal y nitritos que potencian el crecimiento de organismos animales y vegetales en el cuerpo acuatico . En las graficas anteriores se puede observar que los valores obtenidos corresponde a rangos tipicos de un agua superficial que se encuentran entre 1 a 3 mg /l para nitrogeno orgánico y en nitrato de 0 – 0.2 mg/l.

No obstante los ambientes acuaticos sin contaminar contienen pequeñas cantidades de nitrogeno , generalmente menor a 0.1 mg de N/L , lo cual inidica que debido a la gran cantidad de agua de desechos que llegan al río se impide un aforo correcto de este nutriente y no permite una correcta autodepuración de este parámetro

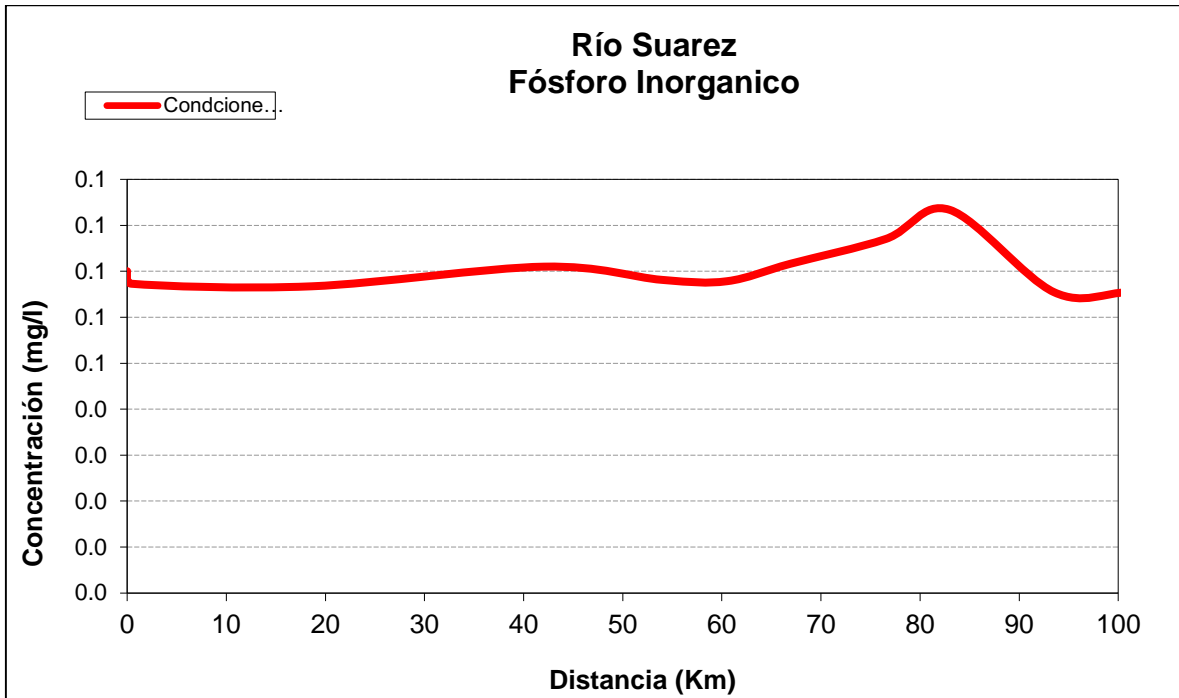
Resultados de Fósforo Organico e inorganico

Ilustración 23 Resultado modelado de Fósforo Orgánico por el programa Qual2kW



Fuente : Corpoboyacá

Ilustración 24 Resultado modelado de Fósforo Inorgánico por el programa Qual2kW



Fuente: Corpoboyacá

En términos de fósforo el programa Qual2kW modela la forma Orgánica e Inorgánica que provienen fundamentalmente de la degradación de materia muerta. La concentración de fósforo orgánico en todo el río tiene una tendencia de decrecimiento, el mayor pico es de 0.081 mg/L en el km 18. Luego comienza a decrecer llegando a concentraciones de 0.02 mg/L; A diferencia de las concentraciones de fósforo Inorgánico que presentan una oscilación a lo largo del cuerpo hídrico. en el km 76 aumenta la concentración de 0.077 y el mayor pico de concentración es de 0.083 mg/L. Lo cual se puede deber a la presencia de partículas arcillosas y a fertilizantes de origen antrópico.

REFERENCIAS

Aley, T.J., Fletcher, M.W. (1976): The water tracer's cookbook. Missouri Speleology, 16 (3), 1-32.

Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2011). Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic wastes, Waste Management, 31 (9-10), 1934-1942.

Barnwell, T., Brown, L., Whittemore, R. (2004). Importance of field data in stream water quality modeling using QUAL2E-UNCAS. Journal of Environmental Engineering-ASCE, 130 (6), 643-647.

Brown, L, C., Barnwell, T, O. (1987). Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL 2E and QUAL 2E-UNCAS. EPA-600/3-87/007. Environmental Research Laboratory, U.S. EPA, Athens, GA.

Chapra, S. (1997). Surface water quality modeling. New York: Mc Graw Hill.

Chapra, S. (2003). Engineer