

Modelación de calidad de agua de la fuente Río Lengupá

Enmarcado en el proyecto

“Metas de carga global contaminante ”

Presentado a: Ingeniera Amanda Medina Bermúdez

Profesional especializado

Realizado por: María Camila Naranjo

Ingeniera ambiental

Tabla de contenido

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	3
ESTACIONES Y PUNTOS DE MONITOREO	4
TOPOLOGÍA DE LA CUENCA.....	6
RESOLUCIÓN 3559 DE 2015	8
MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO LENGUPÁ.....	8
Constantes y coeficientes.....	8
Modelo de re aireación	8
Constante de desoxigenación carbonácea.....	10
Ecuación de transporte de masas	10
PARAMETROS MODELADOS.....	13
Parámetros Qual2K.....	13
Parámetros modelados para analizar el estado de la calidad de agua de la cuenca principal Sutamarchán - Moniquirá, Suarez AD	15
RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DEL MODELO.....	17
Características de la cabecera de la corriente	17
Alimentación del modelo	18
Resultados de calibración	20
Resultados Modelados y análisis.....	25
REFERENCIAS	30

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El río Lengupá es uno de los cuerpos de agua más importante del departamento de Boyacá, el cual nace a partir de la unión del río Fuche sobre el río Mueche, a la altura del municipio de Zetaquirá; durante su recorrido por el departamento, el río Lengupá atraviesa los municipios de Rondón, Zetaquirá, Berbeo, San Eduardo, Miraflores y Páez, posteriormente desemboca en el río Upía en el departamento del Casanare, para finalmente formar parte de la corriente principal del río Meta. La cuenca del río Lengupá nace sobre los 3.500 msnm.

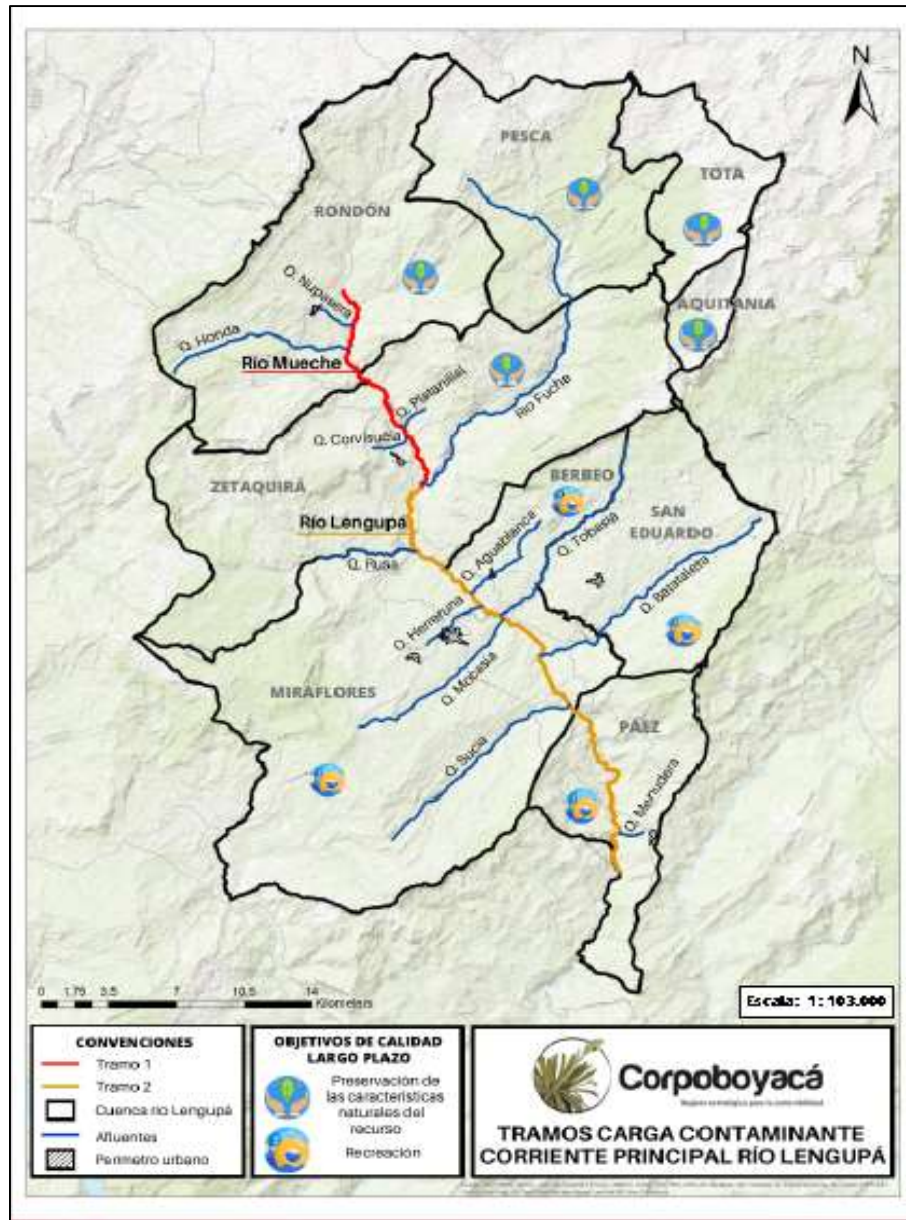
Las principales actividades económicas de la región se encuentran alrededor del agua. En la cuenca encontramos actividades como la acuicultura, turismo y recreación por sus aguas termales y paisajes y la agricultura, que generan un impacto en nuestro recurso hídrico.

El área total de la cuenca en jurisdicción de CORPOBOYACÁ es de aproximadamente 1.107,19 Km , la cual va desde el municipio de Rondón hasta el municipio de Páez, con una longitud aproximada del cauce principal de 57,9 Km.

Municipios que conforman la cuenca del Río Lengupá

Tramo	Municipios
1	Rondón
	Zetaquirá
2	Berbeo
	San Eduardo
	Miraflores
	Páez

Ilustración 1 Cartografía de Puntos y Estaciones del Río Lengupá



Fuente: Corpoboyacá

ESTACIONES Y PUNTOS DE MONITOREO

Para conocer la calidad hídrica de la corriente principal del río Lengupá se recopiló información base de los datos registrados en la campaña de monitoreo realizada en el año 2018 en el que se generó un levantamiento hidrométrico de 11 estaciones de monitoreo (puntos que se encuentran ubicados en la corriente principal) y 23 puntos de monitoreo (Afluentes y ríos tributarios). Los cuales se representan en la siguiente tabla:

TRAMO	ESTACIÓ N/ PUNTO	PUNTO DE MONITOREO	COORDENADAS	
			N	W
1	Estación	Río Mueche – Puente Granada	05°21'56,07"	73°11'45,51"
	Punto	Q. Nupasera - Aguas arriba Rondón	05°21'29,3"	73°12'39,48"
	Punto	Q. Nupasera - Punto descarga Rondón	05°21'24,96"	73°12'23,59"
	Punto	Q. Nupasera - Antes Conf. Río Mueche	05°20'56,43"	73°11'30,97"
	Estación	Río Mueche - Puente Bolívar	05°20'21,44"	73°11'34,6"
	Punto	Quebrada Honda	05°20'13,89"	73°11'39,6"
	Estación	Río Mueche - Antes termales	05°17'56,9"	73°10'09,82"
	Punto	Q. Platanillal - Aguas termales	05°17'56,89"	72°09'53,24"
	Estación	Río Mueche - Después aguas termales	05°17'58,3"	72°10'0,1"
	Punto	Q. Corvisucia - Aguas arriba Zetaquirá	05°17'13,79"	73°10'29,92"
	Punto	Q. Corvisucia - Pto descarga Zetaquirá	05°17'14,9"	73°10'18,5"
	Punto	Q. Corvisucia - Después descarga Zetaquirá	05°17'39,5"	73°10'01,54"
	Estación	Río Mueche - Después descarga Zetaquirá	05°17'39,85"	73°09'52,9"
	Estación	Río Fuche - Antes Conf. Río Mueche	05°16'17,9"	73°09'28,8"
2	Estación	Río Mueche - Después del Río Fuche	05°16'14,25"	72°09'36,01"
	Punto	Quebrada Rusa	05°14'10,01"	73°11'43,45"
	Estación	Río Lengupá – Puente Cañabraval	05°13'17,41"	73°08'25,10"
	Punto	Q. Aguablanca - Aguas arriba de Berbeo	05°13'40,12"	73°07'33,10"
	Punto	Q. Aguablanca - Punto de descarga Berbeo	05°13'19,1"	73°07'52,0"
	Punto	Q. Aguablanca - Después de Berbeo	05°13'31,7"	73°07'42,6"
	Punto	Q. Herreruna - Aguas arriba Miraflores	05°11'57,9"	73°09'07,08"
	Punto	Q. Herreruna - Punto de descarga Miraflores	05°12'07,39"	73°08'45,01"
	Punto	Q. Herreruna - Después de Miraflores	05°12'35,62"	73°08'10,25"
	Estación	Río Lengupá – Puente Limonal	05°12'46,1"	73°07'35,4"
	Punto	Quebrada Tobasia	05°12'39,16"	73°06'59,9"
	Punto	Quebrada Mocasía	05°12'10,15"	73°07'25,28"
	Punto	Quebrada Batatalera	05°11'23,25"	73°05'40,15"
	Estación	Río Lengupá - Después de Quebrada Batatalera	05°10'01,5"	73°05'36,66"
	Punto	Quebrada Sucia	05°09'45,90"	73°05'28,60"
	Estación	Río Lengupá - Puente Micho	05°06'56,70"	73°04'17,1"
	Punto	Q. Menudera - Aguas arriba de Páez	05°06'11,42"	73°03'01,93"
	Punto	Q. Menudera Punto de descarga de Páez	05°06'05,95"	73°03'29,69"
	Punto	Q. Menudera - Después descarga Páez	05°06'02,55"	73°03'41,00"
	Estación	Río Lengupá – Puente Cortaderal	05°04'59,32"	73°04'03,46"

TOPOLOGÍA DE LA CUENCA

La topología del río Lengupá relaciona la distribución espacial de las 11 estaciones de monitoreo establecidas por Corpoboyacá para realizar levantamientos hidrométricos constante en el que se miden los principales parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidráulicos de la cuenca, y se conectan los 23 puntos de monitoreo (afluentes) que desembocan en la corriente principal cuerpos de agua afluentes los cuales depositan sus aguas en la corriente principal, de los cuales 5 afluentes reciben los vertimientos de los municipio de Rondón, Zetaquirá, Miraflores, Berbeo y Páez. La topología inicia desde la estación número 1 llamada “Puente Granada” ubicada en el municipio de Rondón a los 1757 msnm y llega hasta la estación 34 con nombre “Puente Cortaderal” en el Río Lengupá a la altura del municipio de Páez a los 852 msnm.

Ilustración 2 Topología Cuenca del río Lengupá - Tramo 1.

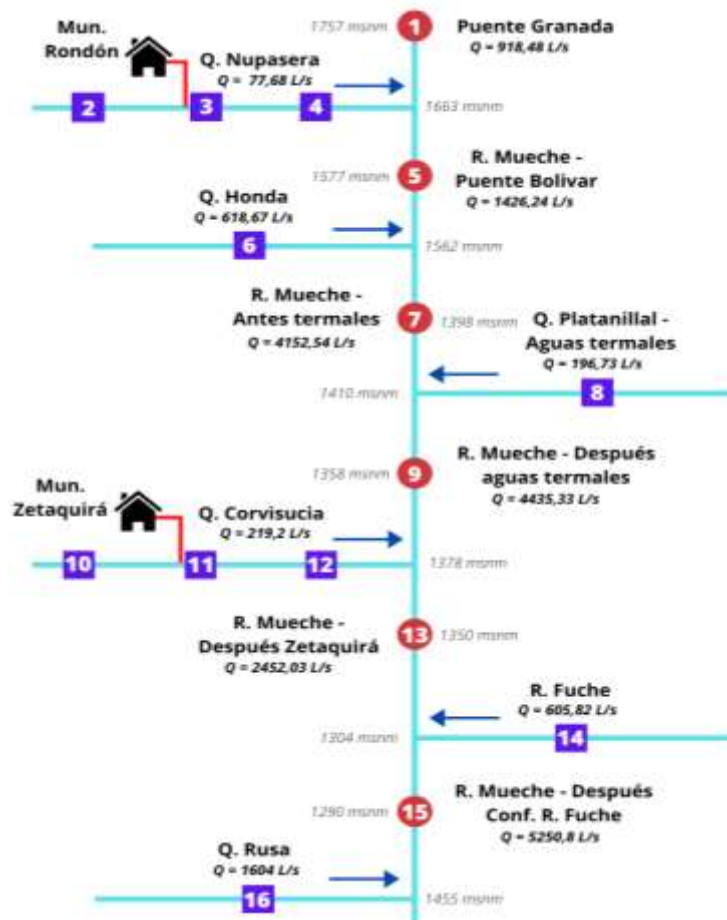
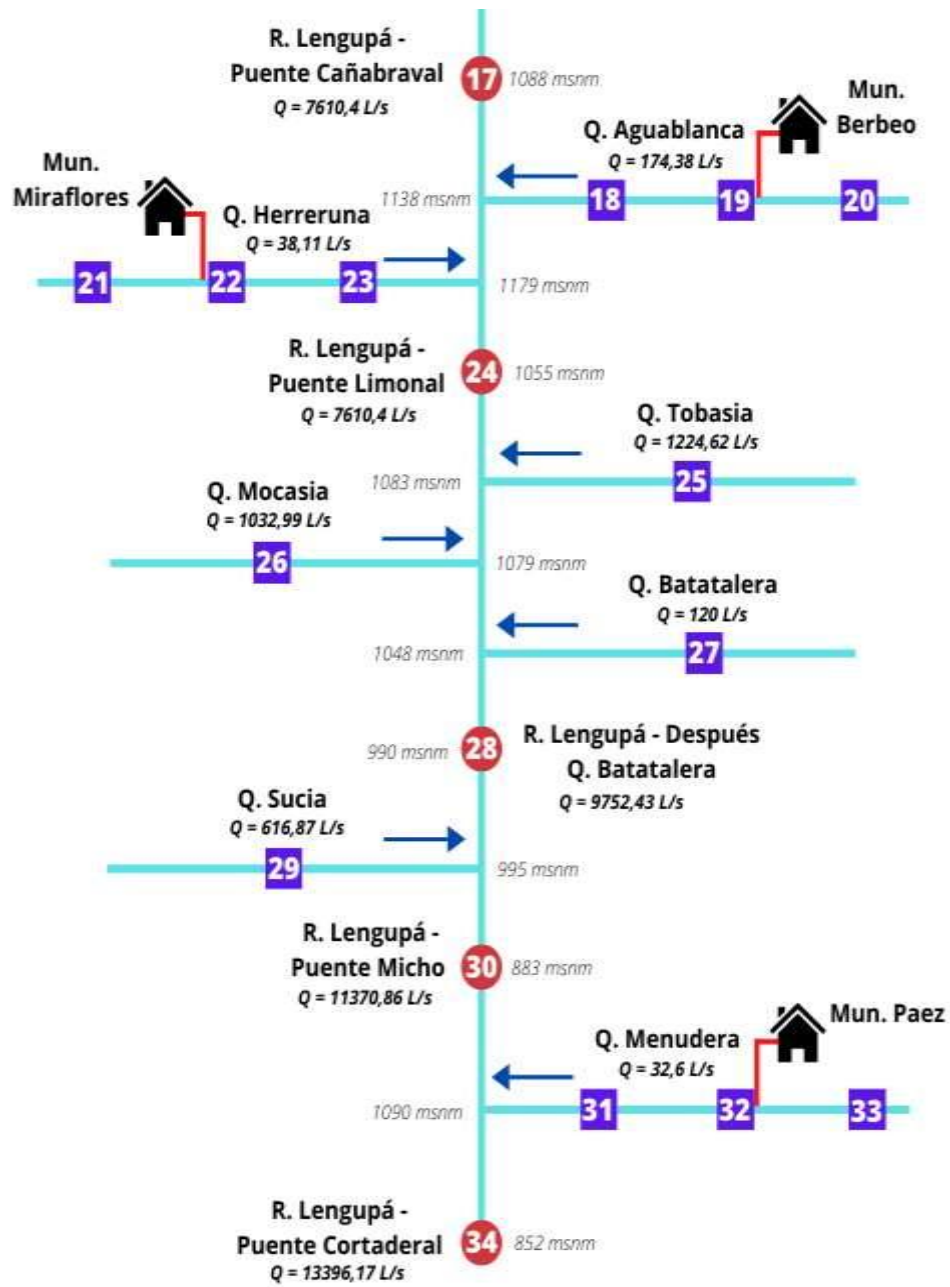


Ilustración 3 Topología Cuenca del río Lengupá – Tramo 2..



Fuente: Corpoboyacá.

RESOLUCIÓN 3559 DE 2015

Corpoboyacá mediante La **resolución 3559 de 2015** estableció los Objetivos de Calidad de agua en la Cuenca del Río Lengupá a lograr en el periodo 2016 - 2025.

Los usuarios que generen vertimientos en los afluentes de la corriente principal del Río Lengupá, deberán cumplir los Objetivos de Calidad establecidos a continuación, aplicando los criterios según el tramo de confluencia.

SUBZONA HIDROGRAFICA	SUBCUENCA	TRAMO	COORDENADAS (ORIGEN: BOGOTÁ – DATUM: MAGNA SIRGAS)	USOS DEL RECURSO	OBJETIVO DE CALIDAD	PARAMETRO	VALOR
RIO LENGUPÁ	RIO LENGUPÁ	1 Desde Puente Granada hasta Confluencia Río Fuche	1.097.729 E 1.085.624 N (-73° 11' 44,816" E 5° 22' 11,514" N) - 1.101.967 E 1.074.647 N (-73° 9' 27,710" E 5° 16' 13,998" N)	Preservación de flora y fauna, Preservación de las características naturales del recurso.	Preservación de las características naturales del recurso.	pH (Unidades)	5,5 – 9,0
						Nitratos (N)	5
Nitratos (N)	1						
Oxígeno Disuelto (mg/l)	5						
Materiales flotantes y película visible de grasas y aceites flotantes	Ausente						
Coliformes Termotolerantes (NMP/ml)	10						
DBO (mg/l)	5 / <OD						
Saturación de Oxígeno (%)	>80%						
Amonio	0,5						
Fosfatos (mg/l P-PO4)	0,025						
Olor	Aceptable						
2 Confluencia Río Fucha hasta el Puente Cortaderal	1.101.967 E 1.074.647 N (-73° 9' 27,710" E 5° 16' 13,998" N) - 1.111.942 N 1.053.963 E (-73° 0,4' 4,380" E 5° 05' 0,247" N)	Recreación, agrícola, Pecuario, Estético, Dilución y Asimilación	Recreación	Amoniaco (N)	2,5		
				Compuestos Fenólicos (Fenol)	0,002		
				Nitratos (N)	5		
				Nitratos (N)	1		
				Oxígeno Disuelto (%)	70%		
				pH (Unidades)	5,0 – 9,0		
				Tensoactivos (Sustancias activas al azul de metileno)	0,5		
				Coliformes Totales (NMP/ml)	1.000		
				Coliformes Fecales (NMP/ml)	200		
				Materiales flotantes y película visible de grasas y aceites flotantes	Ausente		
Coliformes Termotolerantes (NMP/ml)	100						
DBO (mg/l)	5						
Oxígeno Disuelto (mg/l)	5						
Olor	Aceptable						

MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO LENGUPÁ

Constantes y coeficientes

El programa de modelación Qual2K 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 1 Ecuaciones de re aireación utilizadas por el programa Qual2K

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

Fuente: manual de usuario Qual2K 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 QUAL2K 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 $[Q \cdot C]$ 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 [Qx*Cx] 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:

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

Tabla 2 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>Ax</i>	<i>(L3)</i>
<i>Coefficiente de dispersión longitudinal</i>	<i>DL</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 Qual2K 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 Qual2K

Los parámetros que el Programa Qual2k 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 Qual2k

Tabla 3 Variables modelados para el análisis de calidad por el programa Qual2k

Variable	Símbolo	Unidades
Conductividad	s	μmhos
Temperatura	T	$^{\circ}\text{C}$
Solidos 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 Qual2K

- **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 Amoniacal:** Se encuentra en soluciones acuosas en forma de amonio o como amoniaco 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 - Moniquirá, 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 4 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 Solidos Suspendidos Totales y Solidos 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 44.3 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 0.0850 para el factor n, los demás datos batimétricos se hallaron a partir del caudal y velocidad

Características de la cabecera de la corriente

Ilustración 4 Cabecera (Headwater) del modelo de calidad

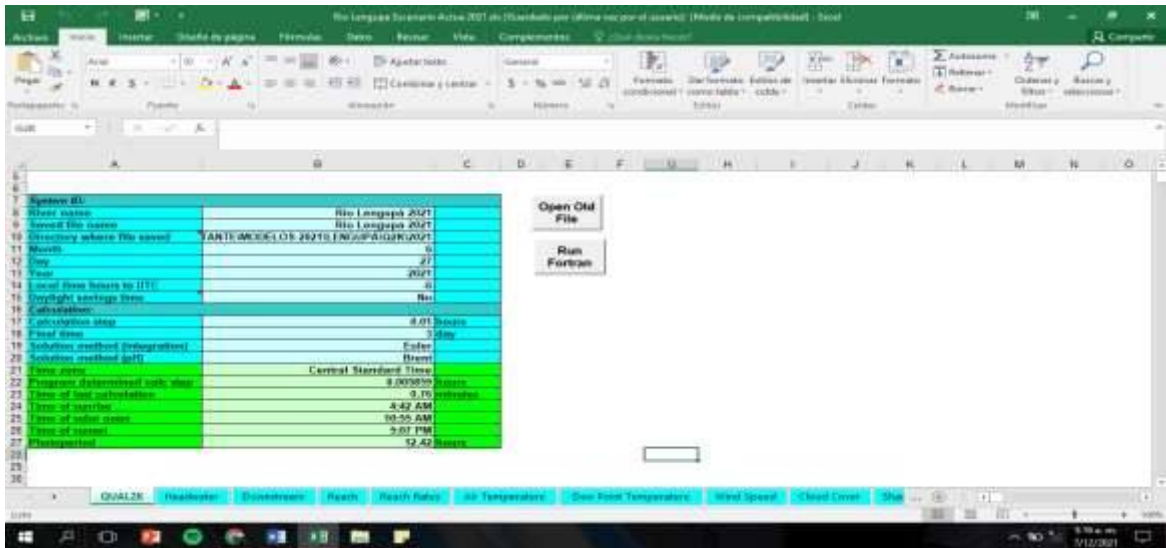
Headwater Label	Reach No.	Flow Type	Elevation	Width	Depth	Velocity	Discharge	Manning Coefficient	Slope	Stage	Discharge
Rio Mito	1	0.372	1767.808	8.0859	8.0859	1.2080	8.9069	0.0850	8.000	8.000	8.000
Water Quality Conditions	Reach No.	Flow Type	Elevation	Width	Depth	Velocity	Discharge	Manning Coefficient	Slope	Stage	Discharge
Temperature	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29	18.29
Dissolved Oxygen	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68	63.68
Chlorophyll	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
Total Nitrogen	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08	2230.08
Total Phosphorus	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08	189.08
Water Quality	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658	1.872658
Water Quality	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88	54.88

Fuente: Corpoboyacá

Alimentación del modelo

A continuación, se presentan los datos introducidos en la descripción del proyecto generados en el modelo Qual2K 0.7.

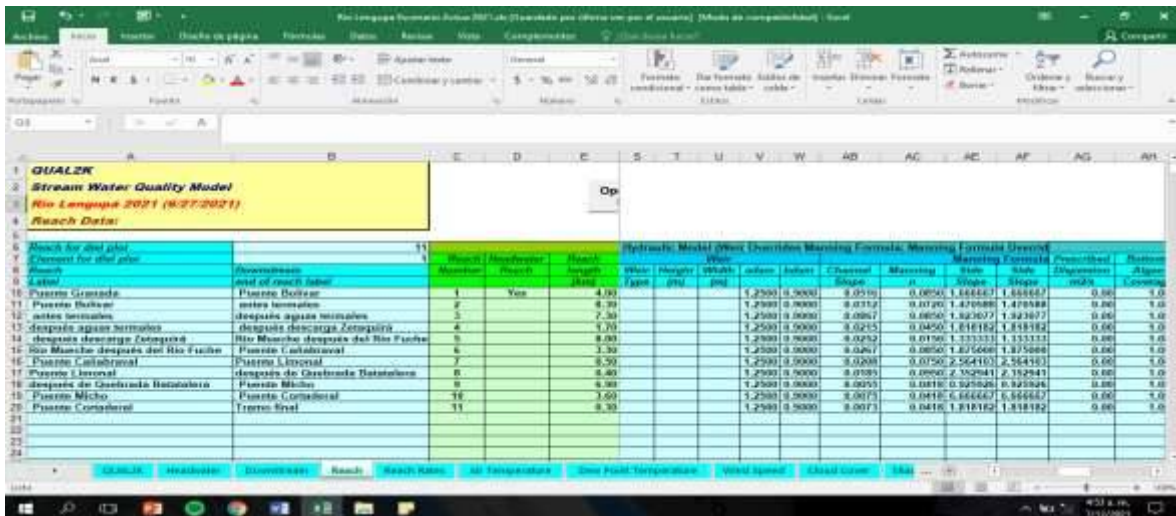
Ilustración 5 Datos de entrada modelo de calidad



Field	Value
River name	Rio Lengua 2021
Location	Rio Lengua 2021
Inventory where the saved	YANIS:ANEXOS\DR_2021\IN\QUAL2K07
Month	01
Year	2021
Local time hours to UTC	6
Daylight savings time	No
Substrate	
Flow velocity (m/s)	0.01
Flow rate (m³/s)	3.0
Substrate method (sedimentation)	Center
Substrate method (BOD)	Stream
Flow rate	Central Standard Time
Temperature determined with what	8.000000
Time of last calculation	9:10
Time of starting	8:42 AM
Time of ending	10:56 AM
Time of model runs	9:07 PM
Temperature	12.42

Fuente: Qual2K

Ilustración 6 Características de calidad e Hidráulicas



Segment	Flow rate (m³/s)	Flow velocity (m/s)	Temperature (°C)	Substrate	Flow rate (m³/s)	Flow velocity (m/s)	Temperature (°C)	Substrate
Segment 1	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 2	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 3	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 4	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 5	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 6	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 7	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 8	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 9	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 10	1.2500	0.0000	8.0000	Center				
Segment 11	1.2500	0.0000	8.0000	Center				

Fuente: Qual2K 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 7 Registro de Parámetros tomados en campo y laboratorio (WQdata)

Date	Distance	Flow (m³/s)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	CHODs (mg/L)	NH4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	PO4 (mg/L)	Temp (°C)	pH	Diss. O2 (mg/L)
01	0	148.50	6.58	6.78	6.78	22.33.00	779	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	40.300	184.50	21.79	5.82	5.82	25.53.00	579	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	80.600	197.50	15.49	5.35	5.35	20.93.00	499	200.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	120.900	187.50	48.89	5.36	5.36	23.53.00	79	300.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	161.200	158.50	16.50	6.79	6.79	22.33.00	779	400.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	201.500	153.50	15.93	6.25	6.25	21.83.00	889	300.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	241.800	85.50	18.49	5.23	5.23	27.93.00	229	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	282.100	181.50	52.99	6.22	6.22	27.13.00	299	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	322.400	126.50	26.49	6.76	6.76	27.23.00	289	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	362.700	126.50	21.29	7.79	7.79	22.73.00	739	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
01	403.000	124.50	50.29	6.39	6.39	22.83.00	899	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: Qual2K 2007

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

Ilustración 8 Recopilación de información meteorológica

Date	Distance	Temp (°C)	Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Precipitation (mm)
01	0	22.33	77.9	100.00	100.00
01	40.300	25.53	57.9	100.00	100.00
01	80.600	20.93	49.9	200.00	100.00
01	120.900	23.53	7.9	300.00	100.00
01	161.200	22.33	7.9	400.00	100.00
01	201.500	21.83	8.8	300.00	100.00
01	241.800	27.93	2.2	100.00	100.00
01	282.100	27.13	2.9	100.00	100.00
01	322.400	27.23	2.8	100.00	100.00
01	362.700	22.73	7.3	100.00	100.00
01	403.000	22.83	8.9	100.00	100.00

Fuente : Qual2K

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 QUAL2K.

Ilustración 9 Recopilación de Información relacionada a Afluentes y/o Vertimientos a la cuenca principal

Tributary		Discharge	Temperature	Ammonia Nitrogen			Nitrate Nitrogen			Total Phosphorus		
No.	Location	(m³/s)	(°C)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
10	Río Magdalena aguas arriba Barrabá	42.73	16.39	0.3430	0.0710	16.39	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	Río Magdalena punto descarga Barrabá	41.80	16.79	0.0017	0.0710	16.79	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	Río Magdalena aguas arriba Río Macabá	41.80	17.39	0.0017	0.0710	17.39	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	Ciénaga de Barrabá	32.00	16.88	2.3442	0.1191	16.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	Plantación aguas arriba	25.80	16.88	0.2000	0.0705	16.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	Ciénaga aguas arriba Zetapatzá	25.80	16.88	4.2200	0.0705	16.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	Ciénaga punto descarga Zetapatzá	25.80	16.88	0.0705	0.0705	16.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	Ciénaga después descarga Zetapatzá	24.79	16.48	0.1191	0.1191	16.48	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	Río Cañal aguas arriba Río Macabá	24.79	16.10	0.5140	0.5140	16.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19	Río Macabá	24.7	16.88	4.6473	0.0705	16.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	Agroindustria aguas arriba de Barrabá	23.8	17.58	2.8807	0.0705	17.58	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	Agroindustria punto de descarga Barrabá	23.7	16.29	2.9090	0.0705	16.29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	Agroindustria después de Barrabá	23.7	17.80	2.8952	0.0705	17.80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	Industria aguas arriba Miraflores	19.4	15.48	0.0200	0.0200	15.48	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	Industria punto de descarga Miraflores	14.8	15.88	0.0321	0.0321	15.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	Industria después de Miraflores	11.6	20.00	0.0419	0.0419	20.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	Ciénaga Taberna	11.6	20.20	2.8729	0.0419	20.20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	Ciénaga Moscote	11.5	15.98	1.1095	0.0419	15.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	Ciénaga Batatalera	11.2	15.88	81.5231	0.0419	15.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	Ciénaga Sucia	4.46	15.88	89.8991	0.0419	15.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	Municipio aguas arriba de Páez	7	21.88	0.0045	0.0045	21.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	Municipio punto de descarga de Páez	6.392	21.88	0.0488	0.0488	21.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	Municipio después descarga Páez	6.392	21.88	0.0954	0.0954	21.88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente : Qual2K

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos por el programa Qual2K con relación a los parámetros físico químicos medidos de los vertimientos que descargan en el río Suárez.

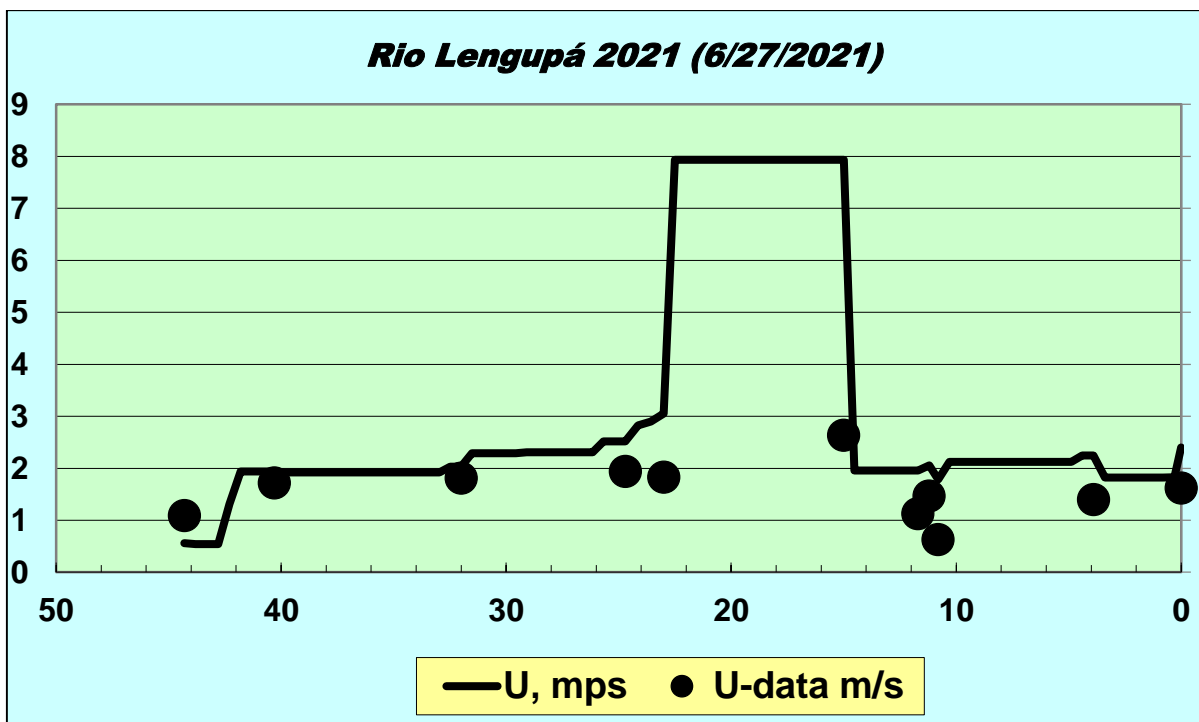
Resultados de calibración

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

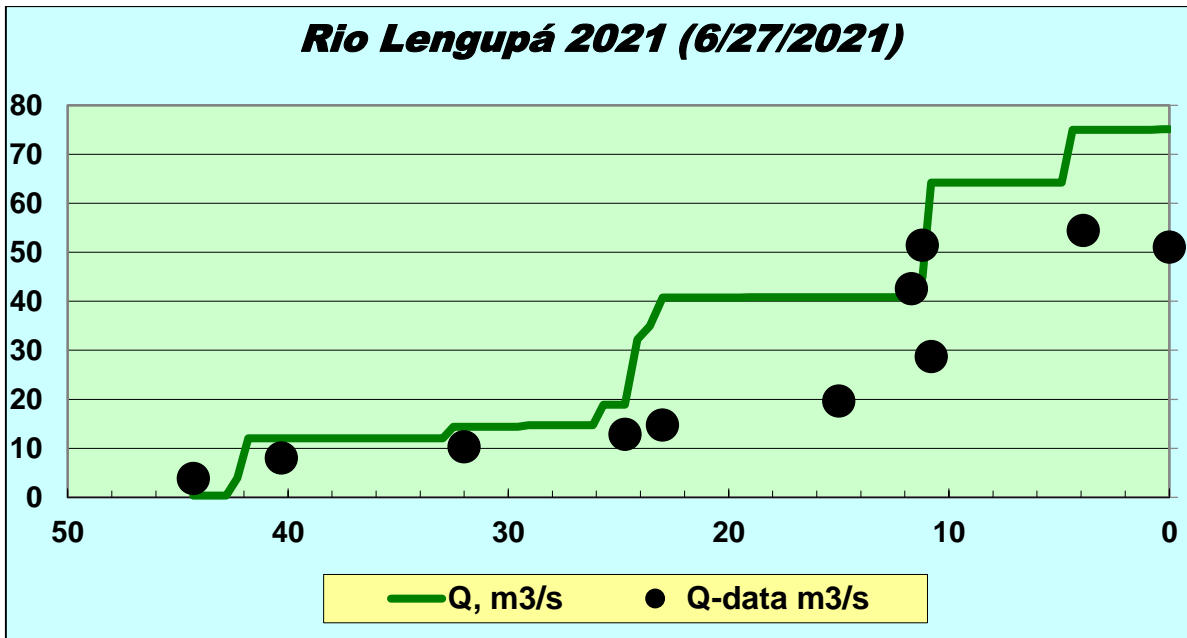
Al finalizar el proceso de calibración se alimentó el modelo con los datos observados en la campaña de monitoreo seleccionada para la confirmación, se mantuvieron fijas las constantes cinéticas calibradas y se ajustó la opción “RUN FORTRAN” del modelo para correr al programa con los nuevos datos ingresados.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

Ilustración 10 Calibración por el programa Qual2K para Velocidad



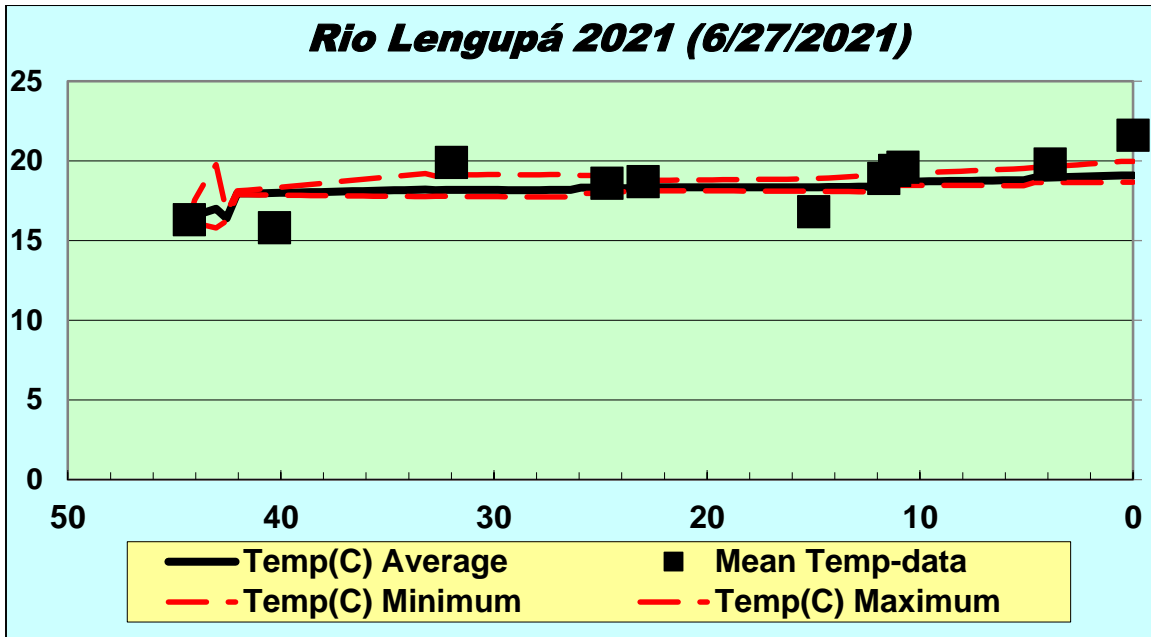
Fuente : Qual2K

Ilustración 11 Calibración por el programa Qual2K para Caudal



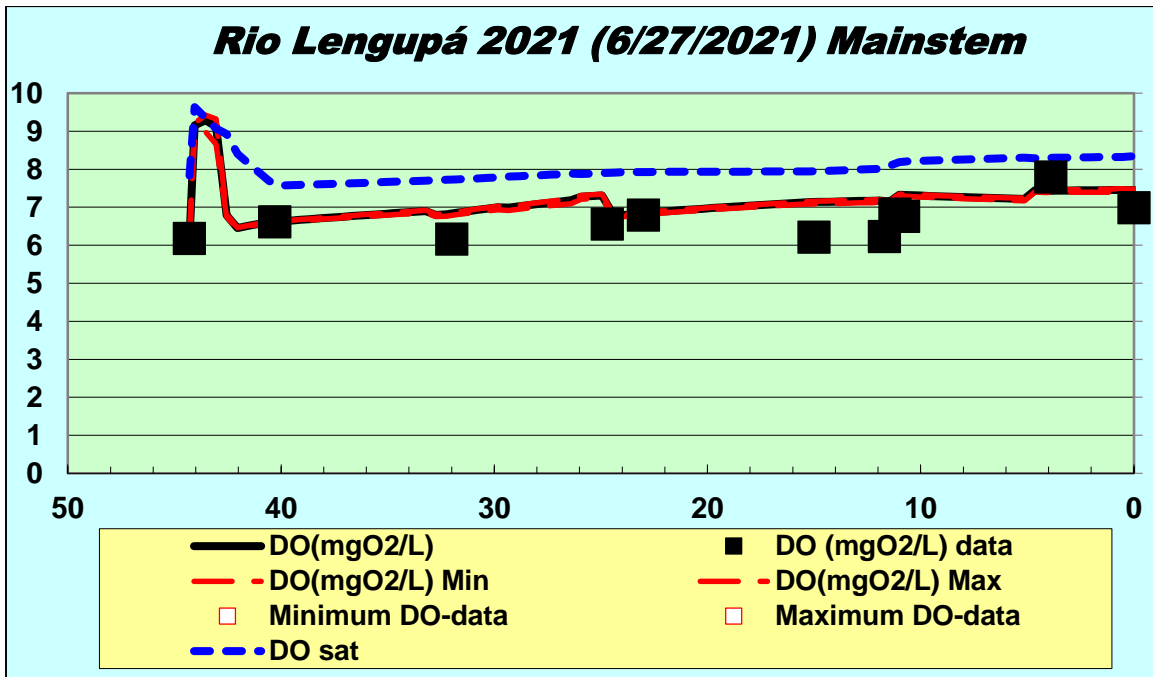
Fuente: Qual2K

Ilustración 12 Calibración por el programa Qual2K para el parámetro de Temperatura



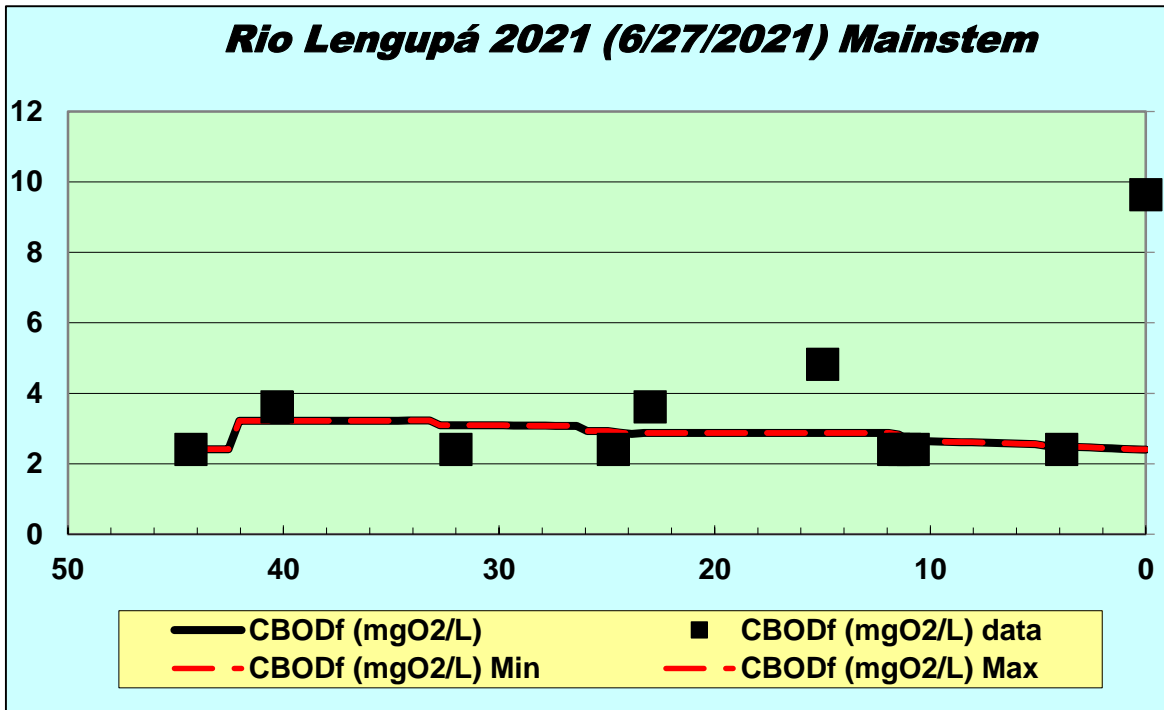
Fuente: Qual2K

Ilustración 13 Calibración por el programa Qual2K para el Oxígeno Disuelto



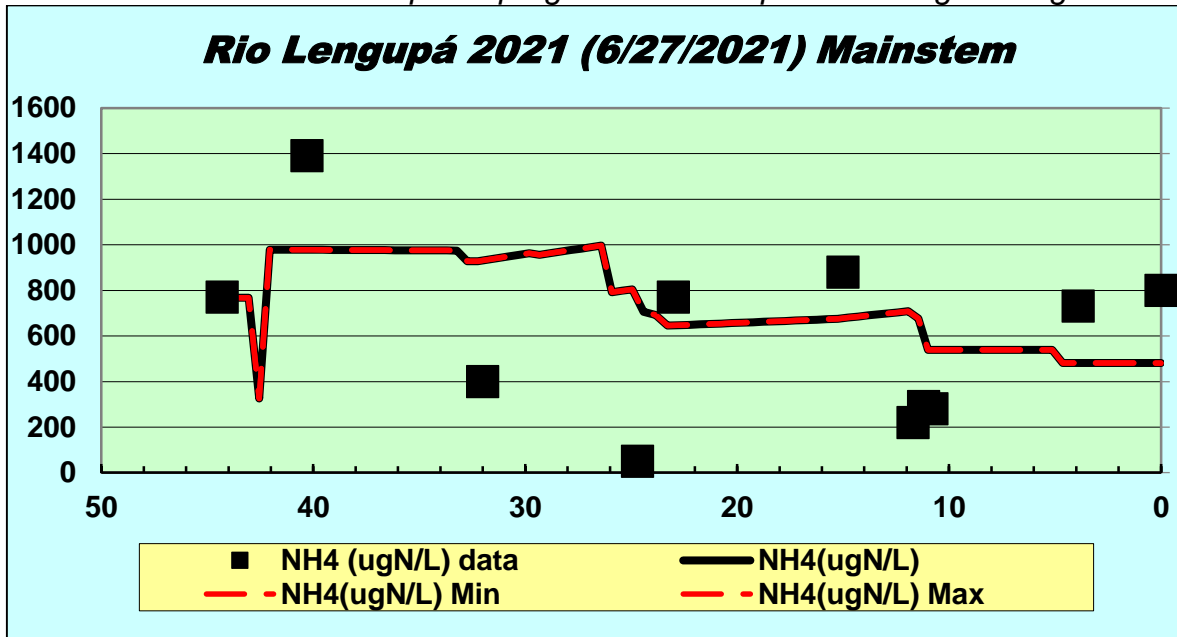
Fuente: Qual2K

Ilustración 14 Calibración por el programa Qual2K para la DBO



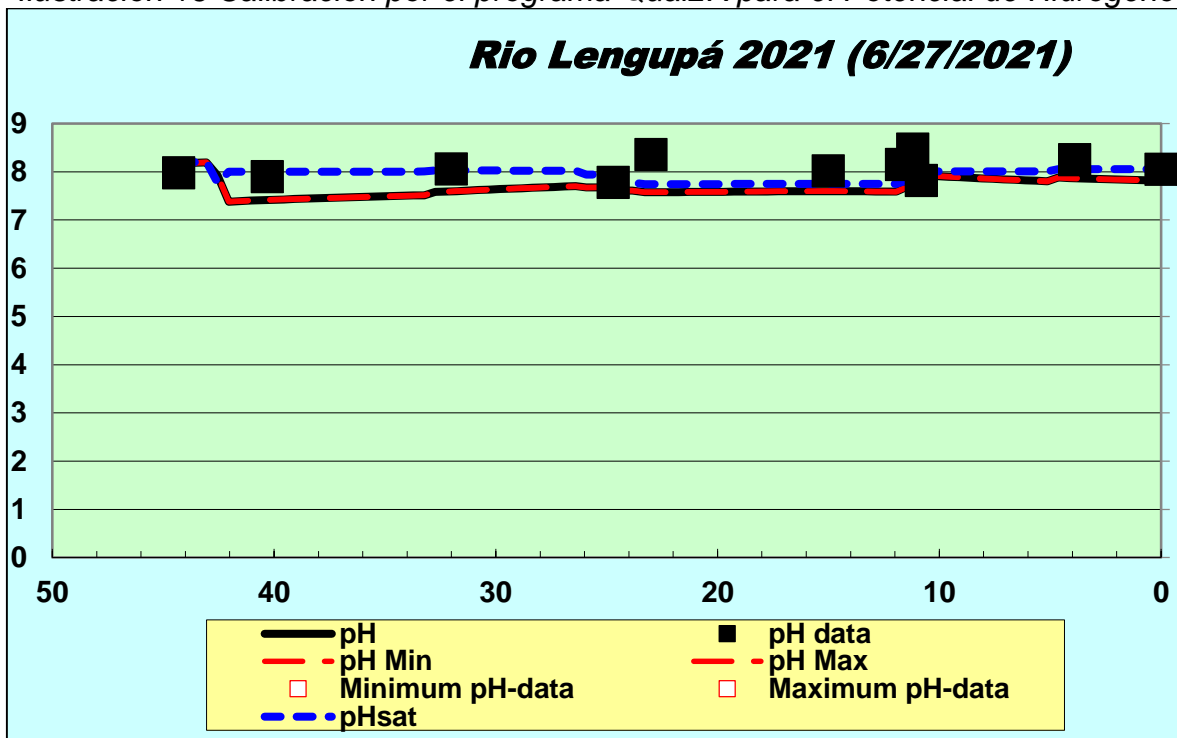
Fuente: Qual2K

Ilustración 15 Calibración por el programa Qual2K para el Nitrógeno Organico



Fuente: Qual2K

Ilustración 16 Calibración por el programa Qual2K para el Potencial de Hidrógeno

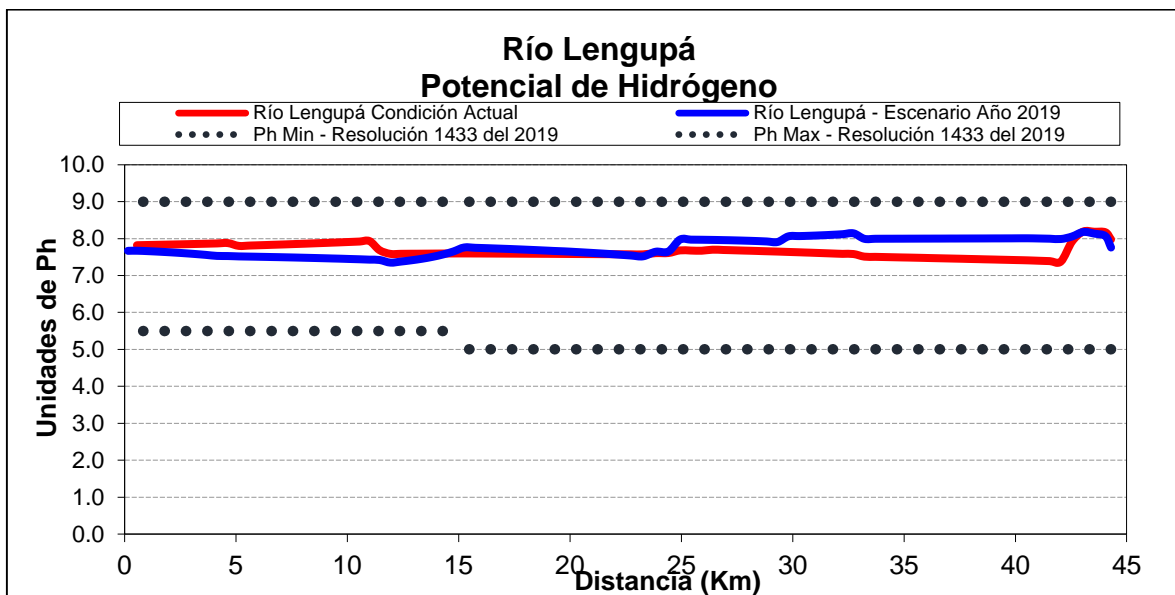


Fuente: Fuente: Qual2K

Resultados Modelados y análisis

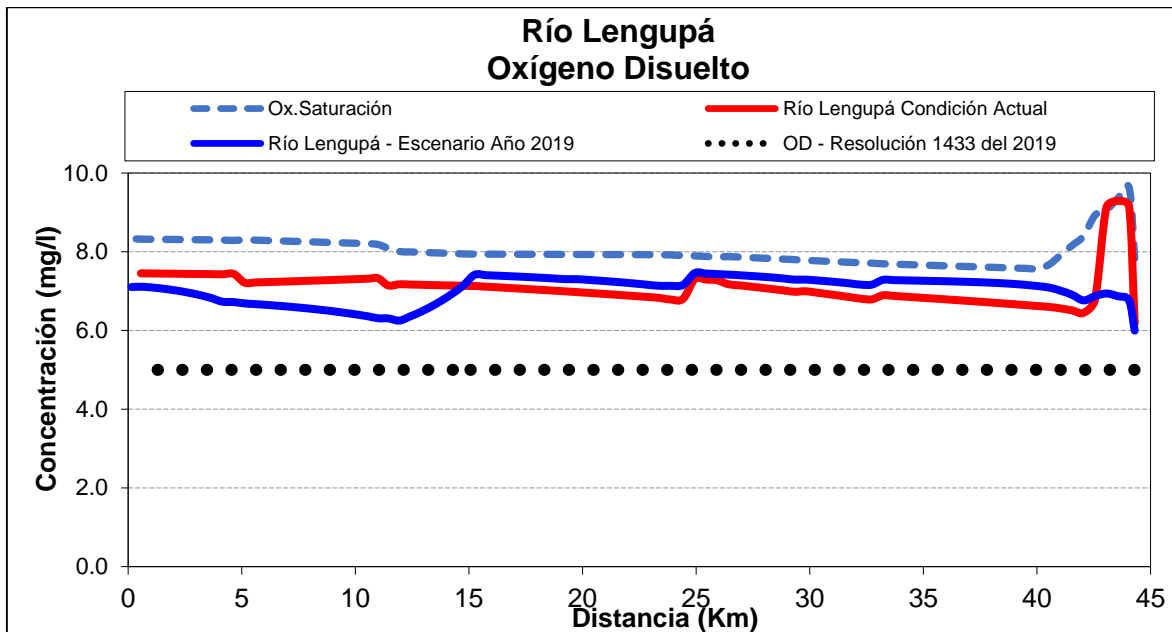
Para la modelación de calidad de aguas se implementó un software de uso libre Qual2K V5.1 avalado por la EPA (Agencia Ambiental de EEUU). Este modelo permite realizar predicciones de calidad de agua de una fuente superficial, ingresando diferentes escenarios de oferta y calidad del agua. A continuación, se presentan las gráficas de salida de los modelos de calidad de los parámetros de Ph , Oxígeno Disuelto, DBO, Nitrogeno(N organico, N amoniacal, Nitratos y SST, considerando los 2 tramos definidos en los objetivos de calidad para los USOS DE preservación de flora y fauna (TRAMO 1) y uso recreativo (TRAMO 2). Los escenarios modelados son de las condiciones actuales registradas en los monitoreos de ANALQUIM en el año 2021 y la comparación con el escenario del año 2019 del laboratorio Ingfocol.

Ilustración 17 Resultado modelado de pH por el programa Qual2k



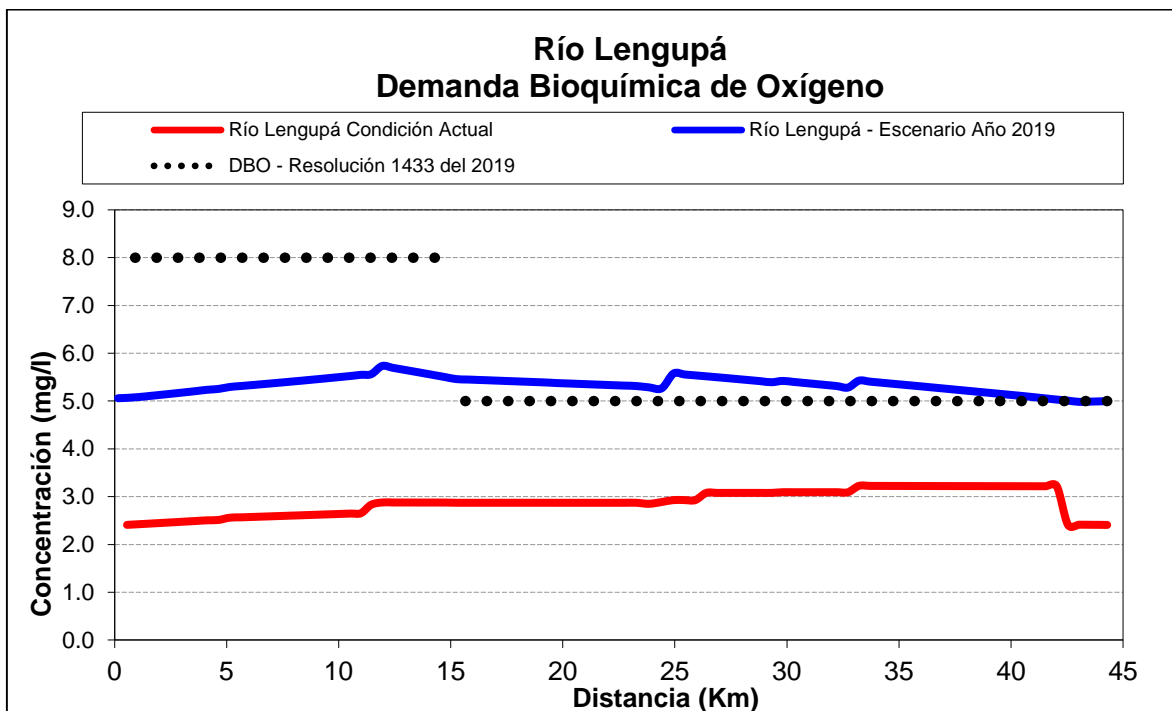
De acuerdo a la grafica , se observa que el comportamiento que presenta el pH a lo largo del rio no sobrepasa los límites permisibles de los valores definidos por la normatividad ambiental vigente . Sin embargo el Ph se encuentra dentro de los rangos de 7 a 8, presentando un incremento lones de Hidrogeno alcanzando un valor de 8.20 unidades de PH que es un valor tipico de un pH alcalino.

Ilustración 18 Resultado modelado de Oxígeno Disuelto por el programa Qual2k



Los resultados modelados en el programa qual2k en condiciones actuales del año 2021 y año 2019, se evidencia que se encuentra por encima del límite permisible en el Objetivo de calidad para uso de Preservación y Recreativo

Ilustración 19 Resultado modelado de DBO por el programa Qual2k



La demanda bioquímica de oxígeno en las condiciones actuales se puede evidenciar una disminución de concentración a comparación del año 2019 cumpliendo con los límites permisibles de los objetivos de calidad en los respectivos usos del recurso.

Ilustración 20 Resultado modelado de Nitrógeno Orgánico por el programa Qual2k

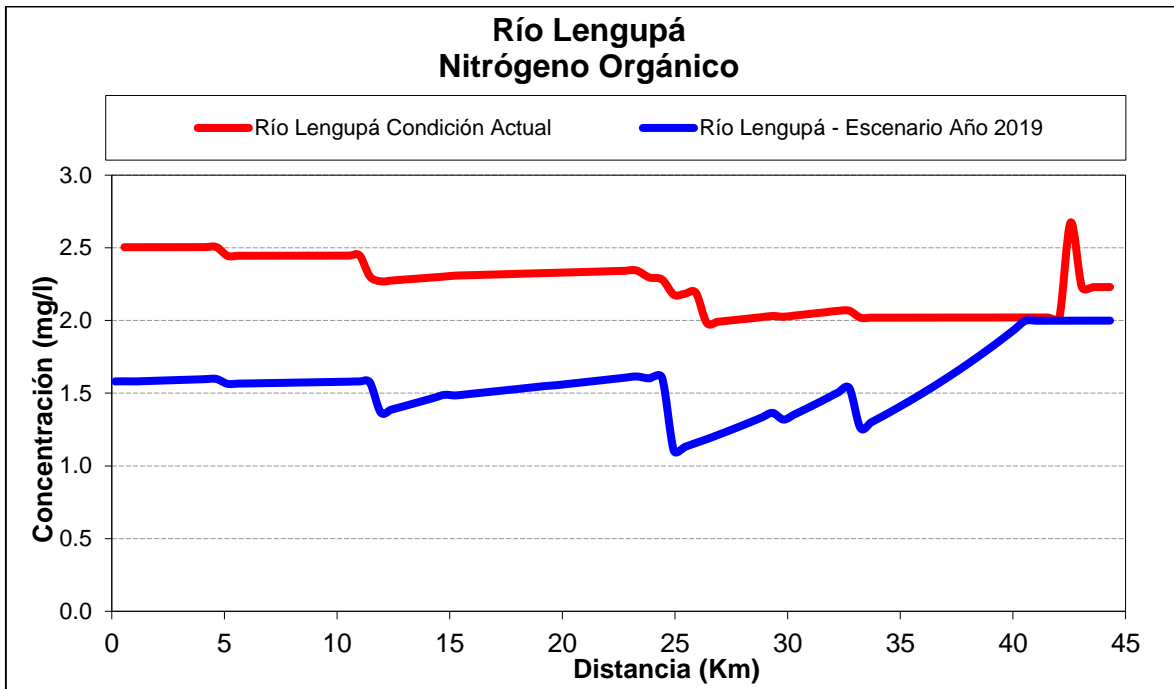


Ilustración 21 Resultado modelado de Nitrógeno Amoniaco por el programa Qual2k

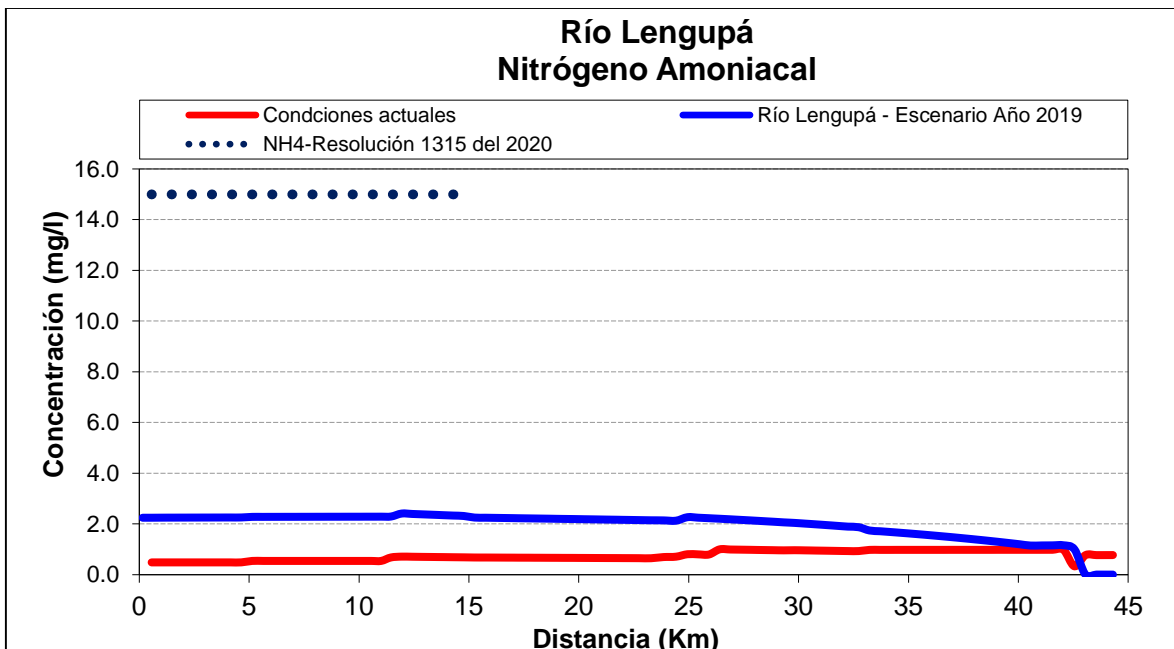
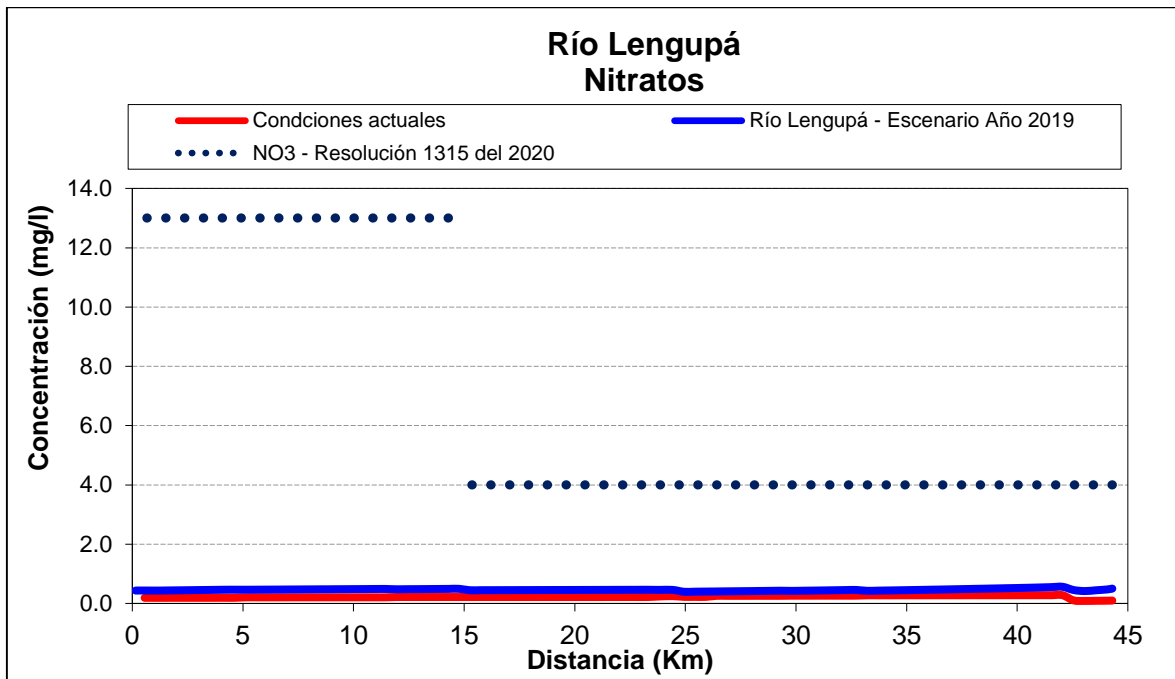


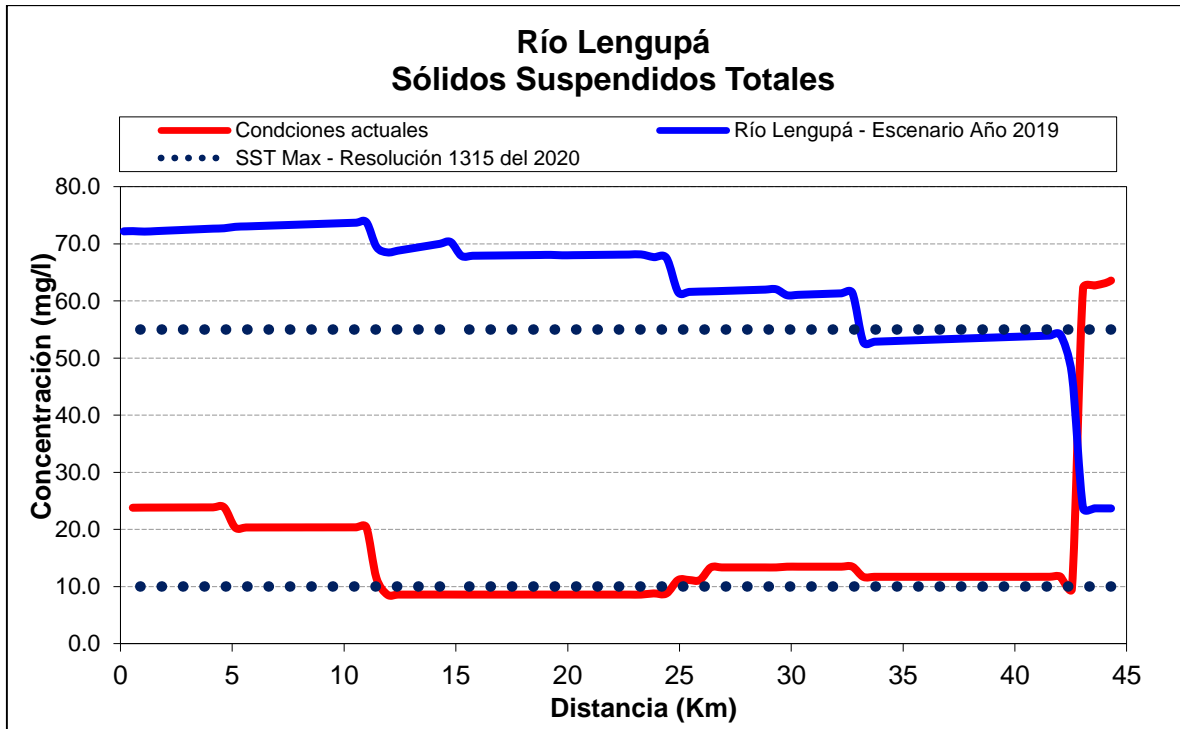
Ilustración 22 Resultado modelado de Nitratos por el programa Qual2k



En terminos de Nitrogeno , el program Qual2k modela el nitrogeno Orgánico, Amoniacal y nitratos 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.

Esta cuenca cuenta con pequeñas cantidades de nitrogeno , generalmente menor a 0.1 mg de N/L debido a que el indice de calidad es bueno y por tal razon los usos en la cuenca son para preservación de flora y fauna y recreativo.

Ilustración 23 Resultado modelado de Sólidos Suspendidos Totales por el programa Qual2k



Los sólidos suspendidos totales en las condiciones actuales (año 2021) se refleja un gran decrecimiento de concentración en comparación al monitoreo realizado en el año 2019, las condiciones hidráulicas hacen que los sólidos que se generen se suspendan una pequeña parte, sin embargo, en la última estación la concentración aumenta superando el límite máximo permisible de sólidos, puede deberse a que se genera una resuspensión en este punto se genera un aumento de velocidad y de caudal, baja el nivel del agua, el cual genera un aumento en la concentración de SST.

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