

Modelación de la calidad del agua de la quebrada Santa Elena que abastece el sistema de acueducto Multiveredal de Santa Elena

Subsecretaría de Salud Pública
Riesgo Sanitario – Calidad del agua para consumo humano

Ángela Milena Henao Duque
amhenaod@unal.edu.co



Agenda

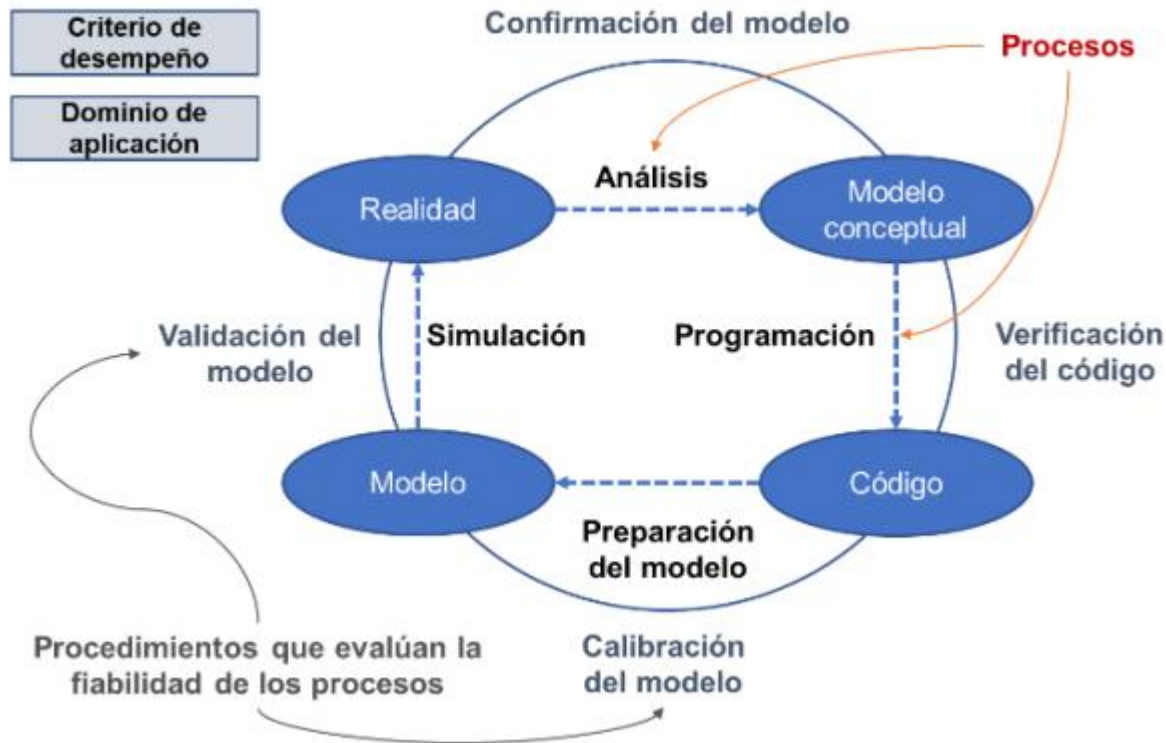
- Modelación
- Justificación
- Alcance
- Objetivos
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones
- Escenarios de modelación



MODELACIÓN



Modelación



- Realizar predicciones
- Establecer objetivos de Calidad
- Establecer requerimientos de tratamiento
- Presentar calidad del agua actual en detalle
- Determinar procesos o parámetros que están afectando la calidad del agua

Figura 1. Elementos básicos de modelación. Tomado de: Guía Nacional de modelación del Recurso hídrico.



JUSTIFICACIÓN



Justificación

La Secretaría de Salud como autoridad sanitaria es responsable de la inspección, vigilancia y control de los sistemas de acueducto.

En el conocimiento de su territorio y acorde a la normativa de Mapa de Riesgo (Resolución 4716/2010), la Secretaría de Salud define la modelación como una herramienta de planificación, planeación y prospectiva para la protección del Recurso Hídrico.

Inicialmente se desarrollan los lineamientos de modelación en la quebrada Santa Elena que sirve de suministro al acueducto Multiveredal. En este sistema hídrico se identifican afectaciones de origen antrópico y natural en la zona media y baja de acuerdo al Mapa de Riesgo. Actualmente el acueducto cuenta con más de 1800 suscriptores.



ALCANCE



Alcance

- Modelo numérico.
- Estacionario → El caudal y la calidad no cambian en el tiempo.
- Espacial → Unidimensional: la calidad del agua cambia en dirección al flujo.
- Variables → Físico-químicas.

Conductividad - Sólidos totales - Oxígeno Disuelto - DBO - Nitrógeno - Nitratos - Nitritos - Fósforo - Alcalinidad - pH



Alcance

- Tramo:
3,77 km

Desde Nacimiento Cerro Verde, aguas que abastecen al acueducto Multiveredal y posteriormente sirven de suministro para el acueducto La Cascada.

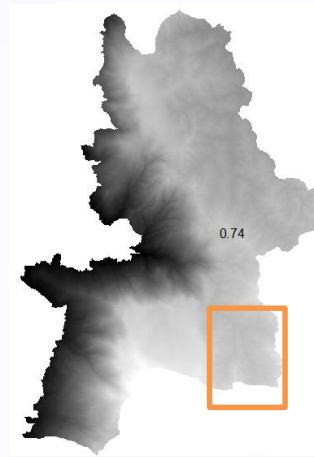
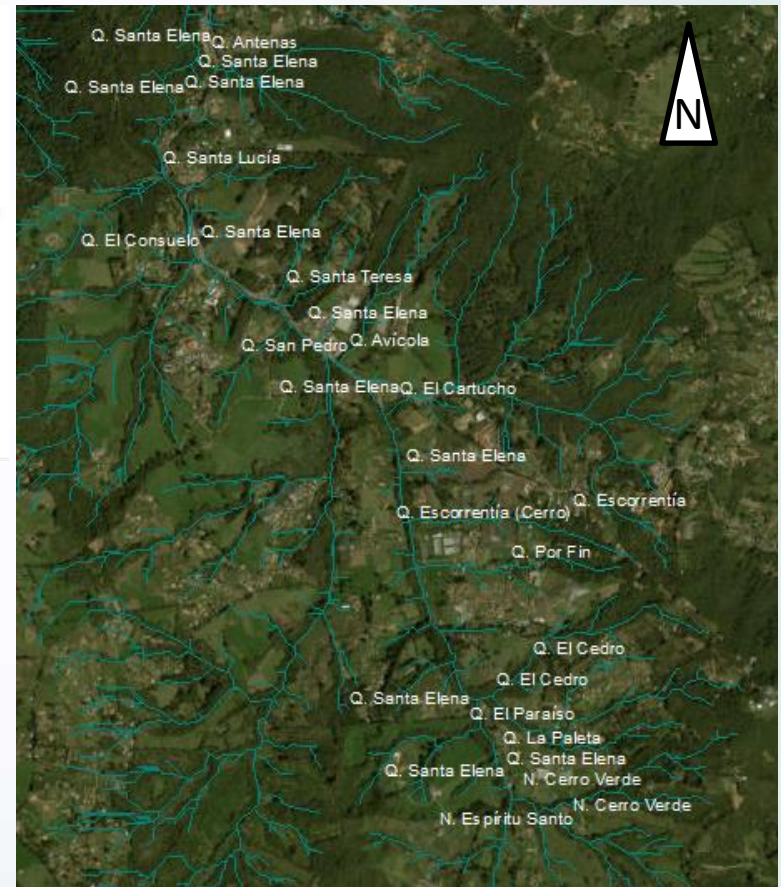


Figura 2. Tramo de modelación.
Elaboración propia.



OBJETIVOS



Objetivo general

Implementar un modelo que simule las condiciones de calidad del agua de la quebrada Santa Elena en el tramo que abastece al acueducto Multiveredal Santa Elena.



Objetivos específicos

- **Seleccionar modelo** a utilizar de acuerdo a los alcances del proyecto y las limitaciones existentes en cuanto a información disponible, tiempo y recursos económicos.
- **Realizar muestreo** de los parámetros básicos relacionados con la calidad del agua y otros que sean de interés de acuerdo a las afectaciones identificadas en el estudio de la cuenca.
- **Calibrar y confirmar el modelo** de calidad del agua a partir de la información obtenida de las campañas de monitoreo, información levantada en campo e información obtenida de literatura.
- **Identificar parámetros y zonas de la cuenca** que tienen una influencia importante en la calidad del agua de la quebrada.



METODOLOGÍA



Metodología

Protocolo de Modelación:

- Planeación del estudio
 - Se define objeto de estudio
 - Elaboración del modelo conceptual
 - Diseño de campañas de monitoreo
- Recolección de información
- Construcción del modelo
- Calibración y verificación del modelo
- Generación de escenarios
- Análisis de resultados



Metodología

Objetivo del estudio



Condiciones de calidad del agua de la Quebrada Santa Elena que abastece el acueducto Multiveredal.



Metodología

Investigación preliminar



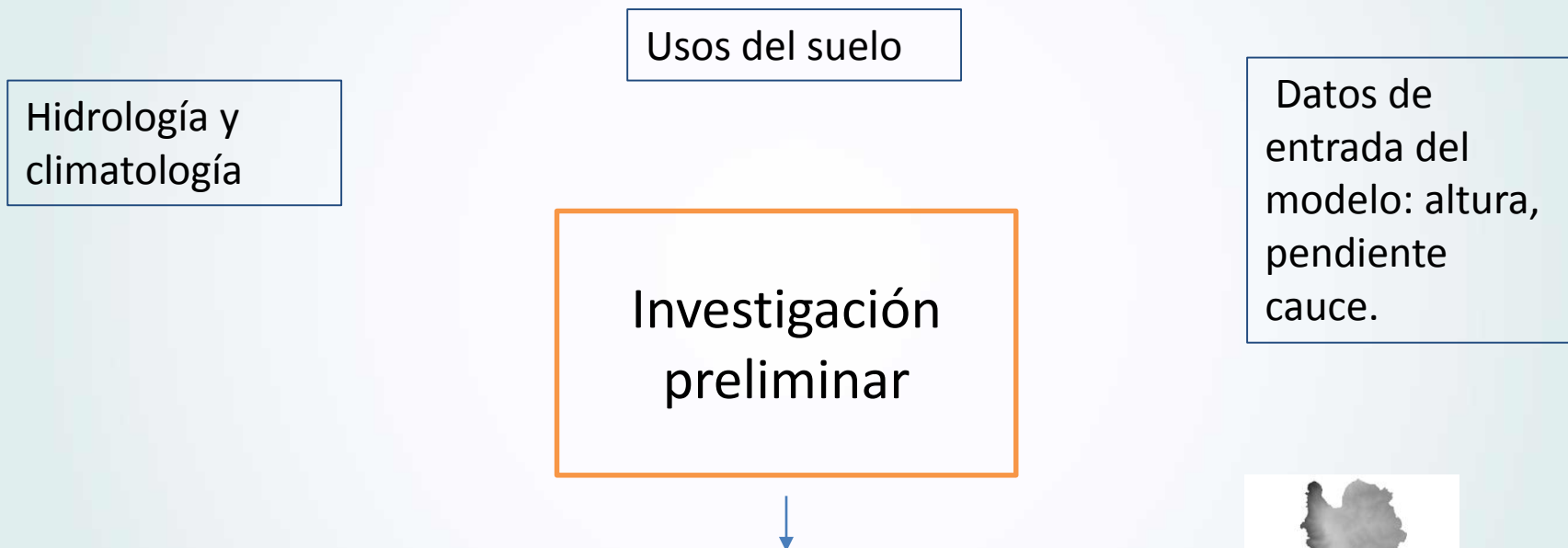
1. Reconocimiento en campo:

- Características geomorfológicas e hidráulicas.
- Afectaciones en la calidad del agua (Mapa de Riesgo).
- Posibles puntos de muestreo.
- Parámetros a modelar.
- Definición de tramo.

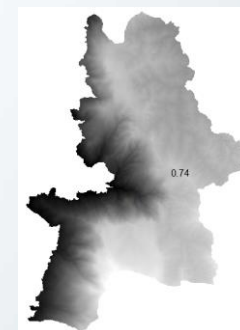
- Gran afluencia de redes de drenaje, bajas pendientes.
- 20 puntos de muestreo: cargas puntuales (afluentes y vertimientos) y cauce principal (calibración).



Metodología



2. Fuentes de información secundaria:
- Atlas veredal.
 - Modelo de Elevación Digital (DEM).
 - Datos históricos de calidad del agua, lluvia y caudales.



Metodología

Modelo
conceptual



Parte alta – zona de nacimientos, 2 puntos de muestreo.

Parte media – formación de red hídrica, 8 puntos de muestreo.

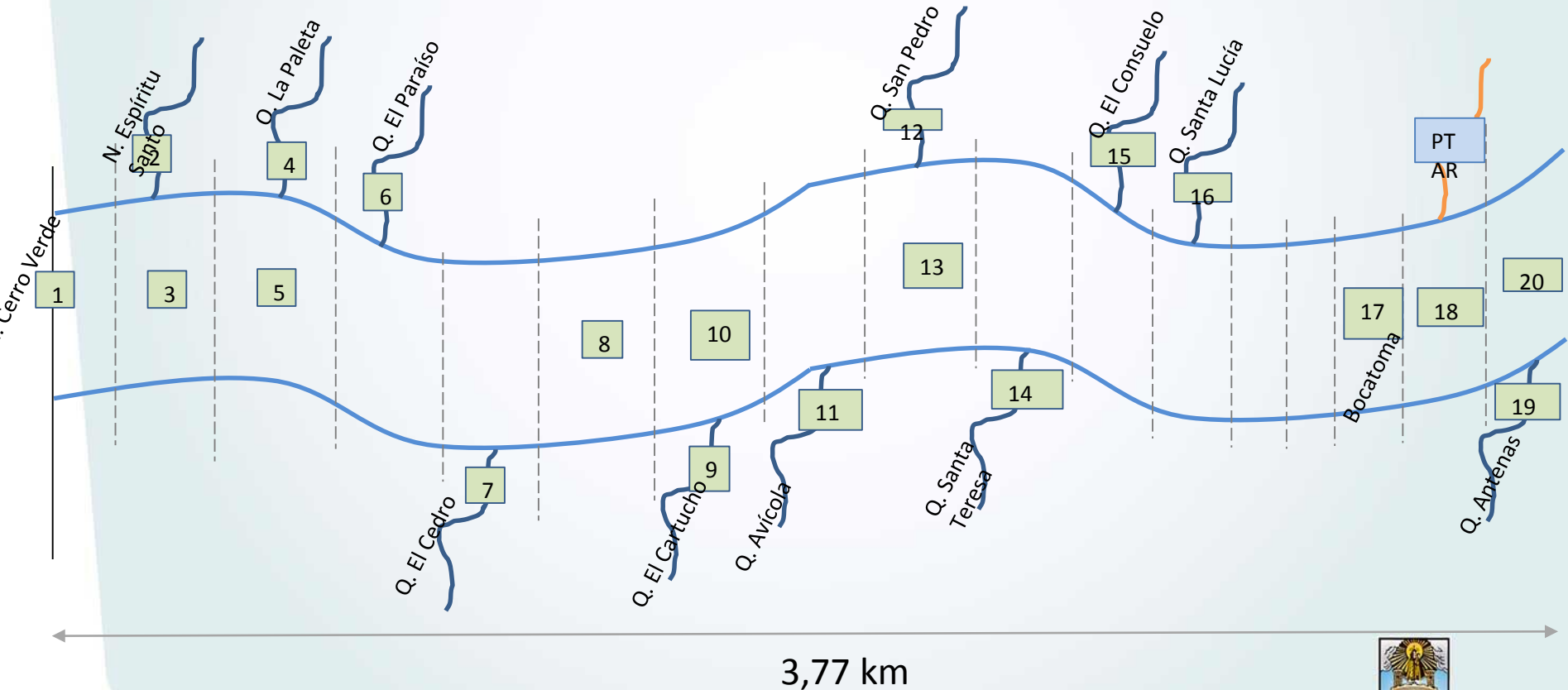
Parte baja – 10 puntos de muestreo.

- Discretización en **17 segmentos**, de acuerdo a los cambios de pendiente del cauce y condiciones hidráulicas como cambios en el ancho y la velocidad, así como la entrada de afluentes.



Metodología

Modelo conceptual



Metodología

Objetivos de modelación

Parámetros a modelar

Recursos económicos

Información disponible

Tiempo disponible

Selección del
modelo

Conocimientos técnicos

↓
QUAL2K

- Simula parámetros básicos de Calidad del Agua.
- Software de libre uso, usa ambiente de Windows.
- Simulación de fuente hídrica como una sucesión de tramos.
- Balance de masa, mediante la entrada de flujo de agua.



Metodología

Entrada de datos

Parámetros in-situ:

- OD
- Turbiedad
- Temperatura del agua
- Conductividad
- pH
- Caudal

Análisis físico-químicos

Variables climatológicas:

- Temperatura del aire
- Presión de vapor
- Viento
- Humedad Relativa
- Lluvia
- Cobertura de Nubes

Hidráulica del cauce (aforos y pruebas en HEC-RAS):

- Caudal
- Velocidad
- Sección transversal



Metodología

Entrada de datos

Reach Data:

Reach for diel plot	17						Location		Element	Elevation		Latitude	
Element for diel plot	1	Reach	Headwater	Reach	Downstream		Upstream	Downstream	Number	Upstream	Downstream	Latitude	
Reach	Downstream	Number	Reach	length	Latitude	Longitude	(km)	(km)	>=1	(m)	(m)	Degrees	Minutes
Label	end of reach label			(km)									
Mainstem headwater	Quebrada Santa Elena	1	Yes	0.16	6.19	74.51	3.770	3.607	1	2573.300	2568.600	6.00	11
Nacimiento Espiritu Santo		2		0.14	6.19	74.51	3.607	3.466	1	2568.600	2562.800	6.00	11
La Paleta		3		0.18	6.19	74.51	3.466	3.283	1	2562.800	2554.100	6.00	11
El Paraiso		4		0.17	6.20	74.51	3.283	3.110	1	2554.100	2552.900	6.00	11
El Cedro		5		0.18	6.20	74.51	3.110	2.931	1	2552.900	2550.300	6.00	11
		6		0.93	6.20	74.51	2.931	2.002	1	2550.300	2533.800	6.00	11
El Cartucho		7		0.26	6.21	74.50	2.002	1.746	1	2533.800	2529.900	6.00	12
Avicola		8		0.14	6.21	74.50	1.746	1.607	1	2529.900	2527.400	6.00	12
San Pedro		9		0.22	6.21	74.50	1.607	1.387	1	2527.400	2525.600	6.00	12
Santa Teresa		10		0.39	6.21	74.50	1.387	0.994	1	2525.600	2522.300	6.00	12
El Consuelo		11		0.29	6.21	74.50	0.994	0.706	1	2522.300	2521.000	6.00	12
Santa Lucia		12		0.25	6.21	74.50	0.706	0.459	1	2521.000	2519.200	6.00	12
		13		0.09	6.22	74.50	0.459	0.369	1	2519.200	2513.300	6.00	12
		14		0.11	6.22	74.50	0.369	0.260	1	2513.300	2509.500	6.00	13
Captacion		15		0.14	6.22	74.50	0.260	0.121	1	2509.500	2503.200	6.00	13
Descarga PTAR		16		0.09	6.22	74.50	0.121	0.034	1	2503.200	2501.700	6.00	13
Antenas	Afluente acueducto La Casca	17		0.03	6.22	74.50	0.034	0.000	1	2501.700	2501.600	6.00	13

Figura 3. Discretización del tramo a modelar. Elaboración propia.



Metodología

Entrada de datos

<i>Headwater 0 (Mainstem)</i>			
<i>Headwater label</i>	<i>Reach No</i>	<i>Flow Rate</i>	<i>Elevation</i>
		<i>(m³/s)</i>	<i>(m)</i>
Mainstem headwater	1	0.017	2573.300
<i>Water Quality Constituents</i>	<i>Units</i>	<i>12:00 a. m.</i>	<i>1:00 a. m.</i>
Temperature	C	14.30	14.30
Conductivity	umhos	20.70	20.70
Inorganic Solids	mgD/L	27.00	27.00
Dissolved Oxygen	mg/L	6.56	6.56
CBODslow	mgO2/L		
CBODfast	mgO2/L	1.00	1.00
Organic Nitrogen	ugN/L	3.24	3.24
NH4-Nitrogen	ugN/L	0.06	0.06
NO3-Nitrogen	ugN/L	0.27	0.27
Organic Phosphorus	ugP/L	0.00	0.00
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	0.00	0.00
Phytoplankton	ugA/L		
Internal Nitrogen (INP)	ugN/L		
Internal Phosphorus (IPP)	ugP/L		
Detritus (POM)	mgD/L		
Pathogen	cfu/100 mL		
Alkalinity	mgCaCO3/L	12.70	12.70
Constituent i			
Constituent ii			

Figura 4. Condiciones cabecera. Elaboración propia.



Metodología

Entrada de datos

Name	Tributary No.	Headwater Label	Location km	Point		Temperature		
				Abstraction m3/s	Inflow m3/s	mean °C	range/2 °C	time of max
Nacimiento Espiritu Santo	0	Mainstem headwater	3.50	0.0000	0.0090	14.80	14.80	4:00 PM
Quebrada La Paleta	0	Mainstem headwater	3.32	0.0000	0.0005	14.80	4.00	4:00 PM
Quebrada El Paraiso	0	Mainstem headwater	3.20	0.0000	0.0120	15.00	4.00	4:00 PM
Quebrada El Cedro	0	Mainstem headwater	3.08	0.0000	0.0140	15.30	4.00	4:00 PM
Quebrada El Cartucho	0	Mainstem headwater	1.90	0.0000	0.0300	14.60	4.00	4:00 PM
Quebrada Avicola	0	Mainstem headwater	1.64	0.0000	0.0050	14.90	5.60	4:00 PM
Quebrada San Pedro	0	Mainstem headwater	1.57	0.0000	0.1070	14.80	4.00	4:00 PM
Quebrada Santa Teresa	0	Mainstem headwater	1.23	0.0000	0.0050	15.00	4.00	4:00 PM
Quebrada El Consuelo	0	Mainstem headwater	0.94	0.0000	0.0980	15.50	4.00	4:00 PM
Quebrada Santa Lucia	0	Mainstem headwater	0.58369	0.0000	0.0200	16.10	4.60	4:00 PM
Bocatoma	0	Mainstem headwater	0.14107	0.0200	0.0000	15.10	4.00	4:00 PM
PTAR	0	Mainstem headwater	0.1168	0.0000	0.0110	15.10	6.08	4:00 PM
Quebrada Antenas	0	Mainstem headwater	0.04050	0.0000	0.0200	14.70	4.00	4:00 PM

Name	Specific Conductance			Inorganic Suspended Solids			Dissolved Oxygen		
	mean umhos	range/2 umhos	time of max	mean mg/L	range/2 mg/L	time of max	mean mg/L	range/2 mg/L	time of max
Nacimiento Espiritu Santo	28.50	50.00	4:00 PM	22.00	0.60	4:00 PM	5.99	3.00	4:00 PM
Quebrada La Paleta	45.00	50.00	4:00 PM	23.00	0.60	4:00 PM	3.18	3.00	4:00 PM
Quebrada El Paraiso	31.20	50.00	4:00 PM	9.00	0.60	4:00 PM	7.04	3.00	4:00 PM
Quebrada El Cedro	32.50	50.00	4:00 PM	18.00	0.60	4:00 PM	6.53	3.00	4:00 PM
Quebrada El Cartucho	26.40	50.00	4:00 PM	26.00	0.60	4:00 PM	6.62	3.00	4:00 PM
Quebrada Avicola	19.20	107.00	4:00 PM	30.00	1.00	4:00 PM	6.70	3.09	4:00 PM
Quebrada San Pedro	64.70	50.00	4:00 PM	42.00	0.60	4:00 PM	7.08	3.00	4:00 PM
Quebrada Santa Teresa	16.94	50.00	4:00 PM	30.00	0.60	4:00 PM	6.95	3.00	4:00 PM
Quebrada El Consuelo	61.20	50.00	4:00 PM	39.00	0.60	4:00 PM	6.68	3.00	4:00 PM
Quebrada Santa Lucia	72.80	38.50	4:00 PM	44.00	4.00	4:00 PM	6.37	1.87	4:00 PM
Bocatoma	52.60	50.00	4:00 PM	37.00	0.00	4:00 PM	7.03	3.00	4:00 PM
PTAR	55.20	24.00	4:00 PM	43.00	1.00	4:00 PM	7.06	1.41	4:00 PM
Quebrada Antenas	24.50	50.00	4:00 PM	20.00	0.60	4:00 PM	7.04	3.00	4:00 PM

Figura 5. Cargas puntuales. Elaboración propia.

Metodología

Datos de calibración

Coefficientes de
dispersión

Calibración y
validación

¿El modelo simula el comportamiento de los parámetros de calidad del agua del sistema hídrico?



Metodología

Simulación de
escenarios



Escenarios críticos de acuerdo a los objetivos de modelación:

- Caudales mínimos
- Aumento de las cargas contaminantes
- Cambios en el uso del suelo



Referencias

Alvarado, Juliana (2018). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA NATURAL QUE ABASTECEN LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO VEREDALES DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN, MEDIANTE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA.*

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2018). *GUÍA NACIONAL DE MODELACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES*

Chapra, S. C., Pelletier, G. J., & Tao, H. (2003). QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality: Documentation and users manual. *Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.*

IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogota, D. C., 2015. 496 paginas.

ANLA (2013). *Metodología para la definición de la longitud de influencia del vertimientos sobre corrientes de agua superficial.*

Chapra, S. (1997). *Surface Water Quality Modeling.* Mc Graw Hill, USA.



¡GRACIAS!

