

**MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
QUEBRADA BUENAVISTA
MUNICIPIOS DE FILANDIA Y QUIMBAYA
DEPARTAMENTO DEL QUINDIO**

**ENMARcado EN EL PROGRAMA
“GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO”**

Presentado a:

**LINA MARIA GALLEGO ECHEVERRY
Profesional Especializado
Subdirección de Ejecución de Políticas Ambientales
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO**

Preparó:

**JOHANA PÉREZ CARREÑO
Ingeniera Civil
Especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental**



Armenia, Diciembre de 2015

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES	5
1.1 INTRODUCCIÓN	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.3 ALCANCE	6
1.4 MARCO NORMATIVO	7
2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	9
2.1 LOCALIZACIÓN	9
2.2 RED HIDROGRÁFICA SUPERFICIAL	10
2.3 OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL	11
2.4 DEMANDA HÍDRICA	12
2.5 CALIDAD DEL AGUA	13
2.5.1 Disposición de aguas residuales	13
3. MODELO MATEMÁTICO UNIDIMENSIONAL QUAL2K	18
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	18
3.2 METODOLOGÍA	19
4. MODELACION: COMPONENTE HIDRAULICO	20
4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESTACIONES A MODELAR	21
4.2 OBTENCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE	25
4.3 DATOS HIDROMÉTRICOS Y MORFOLÓGICOS	26
4.4 CONDICIONES DE BORDE	27
4.4.1 Condiciones de borde externas	27
4.4.2 Condiciones de borde internas	27
4.5 RED FINAL DE MODELACIÓN	28
4.6 CALIBRACIÓN COMPONENTE HIDRÁULICO	29
4.6.1 Resultados de la modelación del componente hidráulico	29
5. MODELACIÓN: COMPONENTE CALIDAD	32
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL LABORATORIO	32
5.1.1 Observaciones Generales de los reportes de calidad	32
5.1.1.1 Análisis de las concentraciones obtenidas en los vertimientos puntuales identificados en la quebrada Buenavista con relación a la Resolución 0631 de 2015	36
5.2 CONSTANTES CINÉTICAS DE REACCIÓN	37
5.2.1 Constante de decaimiento de la DBO (Kd)	37
5.2.2 Constante de decaimiento de los coliformes (Kb)	39
5.3 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL COMPONENTE DE CALIDAD	39
6. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	44
7. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA LA QUEBRADA BUENAVISTA	48
7.1 ESCENARIO 1: REDUCCIÓN DE HASTA UN 60% DE LOS NIVELES DE SST Y DBO EN LOS VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES; QUEBRADAS CARMELITA, CALLE 14 Y CALLE 18. REDUCCIÓN DE UN 99% DE LOS CF EN LOS VERTIMIENTOS	48
7.2 ESCENARIO 2: REDUCCIÓN DE HASTA UN 80% DE LOS NIVELES DE SST Y DBO EN LOS VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES; QUEBRADAS CARMELITA, CALLE 14 Y CALLE 18. REDUCCIÓN DE UN 99% DE LOS CF EN LOS TRIBUTARIOS Y VERTIMIENTOS.	49
7.3 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	50

7.4	OBSERVACIONES DE LOS RESULTADOS.....	52
7.4.1	<i>DBO₅</i>	52
7.4.2	<i>SST</i>	53
7.4.3	<i>OD</i>	53
7.4.4	<i>pH</i>	54
7.4.5	<i>CF</i>	54
8.	CONCLUSIONES	55
9.	BIBLIOGRAFIA	56

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. NORMA PARA VERTIMIENTOS A UN CUERPO DE AGUA PARA USUARIOS NUEVOS	7
TABLA 2. CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA DESTINACIÓN DEL RECURSO	7
TABLA 3. VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VERTIMIENTOS PUNTUALES, RESOLUCIÓN 0631 DE 2015.....	8
TABLA 4. OBJETIVOS DE CALIDAD QUEBRADA BUENAVISTA – CRQ.....	8
TABLA 5. LOCALIZACIÓN UNIDAD HIDROGRÁFICA, QUEBRADA BUENAVISTA.....	9
TABLA 6. RESUMEN CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS – UNIDAD HIDROGRÁFICA QUEBRADA BUENAVISTA	10
TABLA 7. FUENTES HÍDRICAS IMPACTADAS POR VERTIMIENTO DE AGUAS SERVIDAS URBANAS	13
TABLA 8. CALIDAD DEL AGUA EN EL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	14
TABLA 9. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS A MODELAR SOBRE LA QUEBRADA BUENAVISTA	20
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE FORO Y MUESTREO	22
TABLA 11. VARIABLES HIDROMÉTRICAS OBTENIDAS EL 5 DE NOVIEMBRE DE 2015 DURANTE LA JORNADA DE AFORO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE	25
TABLA 12. VARIABLES HIDROMÉTRICAS OBTENIDAS EL 27 DE NOVIEMBRE DE 2015 DURANTE LA JORNADA DE AFORO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE	26
TABLA 13. CONDICIONES DE BORDE INTERNAS EN LA MALLA DE MODELACIÓN, QUEBRADA BUENAVISTA	28
TABLA 14. RED ESQUEMATIZADA PARA MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	28
TABLA 15. FUENTES DIFUSAS INCLUIDAS COMO BALANCE HÍDRICO DENTRO DE LA QUEBRADA BUENAVISTA	29
TABLA 16. VARIABLES HIDROMÉTRICAS OBTENIDAS EN LA CALIBRACIÓN HIDRÁULICA	30
TABLA 17. DATOS DE CALIDAD (CRQ) – CAMPAÑA DE MUESTREO 27/11/2015.....	32
TABLA 18. ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD	35
TABLA 19. CARGA CONTAMINANTE DE LOS VERTIMIENTOS IDENTIFICADOS EN LA MODELACIÓN	36
TABLA 20. CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN 0631 DE 2015, PARA LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES IDENTIFICADOS EN LA CAMPAÑA DE MUESTREO EL DÍA 27/11/2015	36
TABLA 21. CALIBRACIÓN DE LAS DESCARGAS DIFUSAS.....	40
TABLA 22. CONSTANTES CINÉTICAS DE REACCIÓN	40
TABLA 23. RELACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE LOS DATOS HISTÓRICOS OBSERVADOS Y EL MODELO SIMULADO PARA EL AÑO 2015	47
TABLA 24. ESCENARIO 1	48
TABLA 25. ESCENARIO 2	49
TABLA 26. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA DBO: ESCENARIO 2	53
TABLA 27. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS SST: ESCENARIO 2.....	53
TABLA 28. PORCENTAJE DE AUMENTO DEL OD: ESCENARIO 2	53
TABLA 29. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS CF: ESCENARIO 2	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN UNIDAD HIDROGRÁFICA QUEBRADA BUENAVISTA	9
FIGURA 2. UNIDAD HIDROGRÁFICA QUEBRADA BUENAVISTA	11
FIGURA 3. CAUDAL MEDIO MENSUAL MULTIANUAL, QUEBRADA BUENAVISTA.....	12
FIGURA 4. PORCENTAJES DEL CAUDAL DEMANDADO, UNIDAD HIDROGRÁFICA QUEBRADA BUENAVISTA.....	12
FIGURA 5. VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, EN LA QUEBRADA BUENAVISTA.....	15
FIGURA 6. VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, EN LA QUEBRADA BUENAVISTA.....	16
FIGURA 7. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	19
FIGURA 8. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE FORO Y MUESTREO, QUEBRADA BUENAVISTA	21
FIGURA 9. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES, QUEBRADA BUENAVISTA.....	27
FIGURA 10. CALIBRACIÓN COMPONENTE HIDRÁULICO, PERFILES LONGITUDINALES DE VARIABLES HIDROMÉTRICAS SIMULADAS VS OBSERVADAS.....	31

FIGURA 11. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	40
FIGURA 12. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	41
FIGURA 13. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	41
FIGURA 14. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	42
FIGURA 15. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	42
FIGURA 16. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA – QUEBRADA BUENAVISTA	43
FIGURA 17. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN: T Y PH	44
FIGURA 18. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN: DBO, OD Y CF.....	45
FIGURA 19. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN: SST Y CAUDAL.....	46
FIGURA 20. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SANEAMIENTO: DBO Y OD	50
FIGURA 21. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SANEAMIENTO: PH Y SST	51
FIGURA 22. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SANEAMIENTO: CF.....	52

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La normativa ambiental que reglamenta la formulación de planes de saneamiento y manejo de vertimientos y los procesos de licenciamiento ambiental reconocen la importancia de conocer la capacidad de auto depuración de ríos y corrientes, lagos o humedales e identificar los impactos en el uso y calidad del agua que generan los vertimientos de agua residual doméstica y/o industrial en las fuentes receptoras. Es por ello, que los modelos de transporte de contaminantes y de calidad del agua permiten conocer la capacidad de autodepuración por dilución, dispersión longitudinal y procesos de transferencia y/o reacción físico-químicas y biológicas en las fuentes receptoras, dimensionándolas y seleccionando soluciones estructurales (ejemplo, plantas de tratamiento) y no estructurales (ejemplo, tecnologías de producción más limpias) requeridas para alcanzar estándares de calidad de agua en la fuente receptora bajo diferentes niveles de contaminación y/o tratamiento. Para esto, se requiere seguir una metodología rigurosa en la implementación y aplicación de los modelos de calidad del agua para que puedan ser utilizados efectivamente como herramientas útiles en la toma de decisiones de saneamiento y manejo de vertimientos.

El presente estudio de modelación denominado “Modelación de la Calidad del agua, quebrada Buenavista”, es realizado mediante la aplicación del software QUAL2K elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el cual siguiendo una serie de pasos involucrados dentro de sus lineamientos, establece una aproximación de una realidad existente y futura de los parámetros hidráulicos y de calidad de la fuente hídrica a analizar, considerando este los diferentes vertimientos de aguas residuales originadas por sus distintos usos a lo largo de la corriente principal.

En cumplimiento con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, la Corporación Autónoma Regional del Quindío viene adelantando estudios de modelación de la calidad del agua en las principales fuentes hídricas del departamento del Quindío. Durante los años 2010, 2013 y 2014 se ha monitoreado un tramo representativo de la quebrada Buenavista en los municipios de Filandia y Quimbaya, evidenciando así su comportamiento a través del tiempo, lo que constituye una herramienta de planificación que permite en la actualidad y a futuro, identificar y preservar el recurso hídrico.

1.2 OBJETIVOS

General

- Realizar la modelación de la calidad del agua en la quebrada Buenavista, en un tramo cercano a los 20.48 kilómetros.

Específicos

- Determinar la capacidad de autodepuración de la corriente modelada e identificar los impactos en el uso y calidad del agua que generan los vertimientos de agua residual en las fuentes receptoras.
- Elaborar escenarios de saneamiento partiendo de información existente.

1.3 ALCANCE

El estudio considera el muestreo en diferentes puntos sobre la quebrada Buenavista, dando inicio en la captación de agua para el acueducto de la zona urbana del municipio de Quimbaya (vía Quimbaya - Filandia) hasta el centro poblado de Puerto Alejandría, a tan solo 1 kilómetro de la confluencia con el río La Vieja.

Las actividades desarrolladas dentro de la elaboración del presente estudio son las siguientes:

Trabajo de campo,

- Determinación de tiempos de viaje
- Campañas de aforo y muestreos de agua

Trabajo de oficina,

- Obtención y ajuste de registros hidrométricos
- Análisis Hidrológico de la fuente a modelar
- Procesamiento de la información físico-química y bacteriológica
- Selección del Modelo de Simulación a implementar
- Calibración del modelo
- Escenarios de saneamiento utilizando el modelo ya calibrado

1.4 MARCO NORMATIVO

En Colombia, por medio del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015), se encuentran compilados en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.

Para los usos del agua y residuos líquidos están reglamentados mediante los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010, en donde se establecen las normas de vertimiento a un cuerpo de agua.

Tabla 1. Norma para vertimientos a un cuerpo de agua para usuarios nuevos

PARÁMETRO	DECRETO 1594 / 84
pH (min-max)	5.0 – 9.0
Temperatura	≤40 °C
DBO ₅	Remoción en carga ≥ 80%
Sólidos Suspendidos	Remoción en carga ≥ 80%
Grasas y/o Aceites	Remoción en carga ≥ 80%

De igual forma, el Decreto 1594 de 1984 establece los criterios de calidad admisibles para los diferentes usos del agua. Entre estos se encuentra el uso agrícola, pecuario, recreativo y de consumo humano.

Tabla 2. Criterios de calidad para la destinación del recurso

Parámetro	Expresado como	Consumo Humano y doméstico (1)	Uso Agrícola	Uso Recreativo (2)
pH	Unidades	5 – 9	4.5 – 9.0	5.0 – 9.0
Oxígeno Disuelto (3)	mg O ₂ /L	-	-	6.1
Cloruros	mg/L	250	-	-
Tensoactivos	mg/L	0.5	-	0.5
Grasas y/o Aceites	mg/L	Ausente	-	Ausente
Coliformes Totales	NMP/100ml	20000	< 5000	1000
Coliformes Fecales	NMP/100ml	2000	< 1000	200

(1) Para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional

(2) Contacto primario

(3) 70% de la concentración de saturación

El Decreto 3930 del 2010, establece los parámetros mínimos que deben ser utilizados en los modelos de simulación aplicables en la ordenación del recurso hídrico, los cuales se presentan a continuación:

- DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
- DQO: Demanda química de oxígeno.
- SST: Sólidos Suspendidos Totales.
- pH: Potencial del Ion hidronio, H⁺
- T: Temperatura.
- OD: Oxígeno disuelto.
- Q: Caudal.
- Datos Hidrobiológicos.
- Coliformes Totales y Fecales.

La Resolución 0631 de 2015, establece en su Capítulo VI los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a los del Capítulo V hacia los cuerpos de aguas superficiales, a cumplirse a partir del 01 de enero del 2016.

Tabla 3. Valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales, Resolución 0631 de 2015

SST (mg/l)	DBO ₅ (mg/l O ₂)	DQO (mg/l O ₂)	pH (unidades)
< 50	< 50	< 150	Entre 6-9

Así mismo, la Corporación Autónoma Regional del Quindío en su Resolución No. 1035 de Noviembre de 2008, “Por medio de la cual se establecen objetivos de calidad para las fuentes hídricas del departamento del Quindío” resuelve en su Artículo Primero cada uno de los objetivos de calidad de los diferentes cuerpos de agua en el departamento a ser alcanzados antes del año 2017.

Tabla 4. Objetivos de calidad quebrada Buenavista – CRQ

TRAMO	PARAMETRO DE CALIDAD	UNIDAD	OBJETIVO DE CALIDAD ESPERADO PARA EL AÑO 2017
Comprendido desde el casco urbano del municipio de Quimbaya hasta su desembocadura con el río La Vieja	Oxígeno disuelto	(mg/l)	> 5.0
	DBO	(mg/l)	< 5.0
	SST	(mg/l)	< 20.0
	PH	unidades	[6.5-9.0]

2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

2.1 LOCALIZACIÓN

La quebrada Buenavista nace a 2100 m.s.n.m y entrega sus aguas a la altura de 950 m.s.n.m. sobre el río La Vieja, límites con el departamento del Valle del Cauca. Dentro del departamento del Quindío, limita al sur con los municipios de Armenia y Montenegro y al costado oriental con Filandia y Circasia.

La microcuenca se encuentra localizada entre las siguientes coordenadas:

Tabla 5. Localización unidad hidrográfica, quebrada Buenavista

Latitud	Longitud
4° 37' N	75° 44' E
4° 37' N	75° 51' E



Figura 1. Localización unidad hidrográfica Quebrada Buenavista

2.2 RED HIDROGRÁFICA SUPERFICIAL

A continuación se presentan las características morfométricas principales de la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista.

Tabla 6. Resumen Características Fisiográficas – unidad hidrográfica Quebrada Buenavista

Cuenca	Característica	Ítem	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Quebrada Buenavista	1. Área	1.1	Superficie	A	55.19	Km ²
		1.2	Perímetro	P	53.86	Km
	2. Forma	2.1	Factor de Forma	Kf	0.09	
		2.2	Coficiente de Compacidad	Kc	2.03	
		2.3	Índice de Alargamiento	la	7.15	
	3. Elevación	3.1	Cota de nacimiento		2100	m.s.n.m
		3.2	Cota de llegada		950	m.s.n.m
		3.3	Diferencia del nivel		1074	m
	4. Cauce Principal	4.1	Longitud	L	24.32	Km

Fuente: SIG, Quindío – POMCH Rio La Vieja, 2008.

La quebrada Buenavista, lleva consigo gran cantidad de tributarios que convergen en su cauce, siendo los más representativos, por su mayor aporte de caudal, las quebradas La Arenosa, Bambuco, Armenia y Minarica.

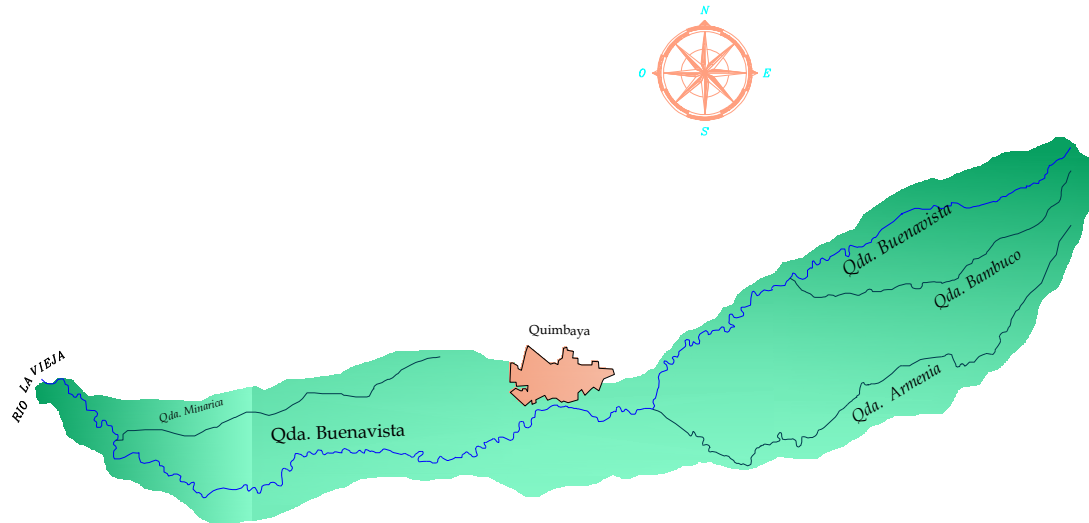


Figura 2. Unidad hidrográfica Quebrada Buenavista

2.3 OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL

De acuerdo a los reportes históricos de caudales medios mensuales de los años 1977 a 2013 obtenidos en la estación limnigráfica “Puerto Alejandría” administrada por la Corporación, fue posible la obtención de la variación mensual multianual de caudales en la quebrada Buenavista. Esta estación está localizada en zona rural del municipio a tan solo un kilómetro de distancia con el río La Vieja, lo que representa la totalidad de la oferta hídrica en la quebrada Buenavista.

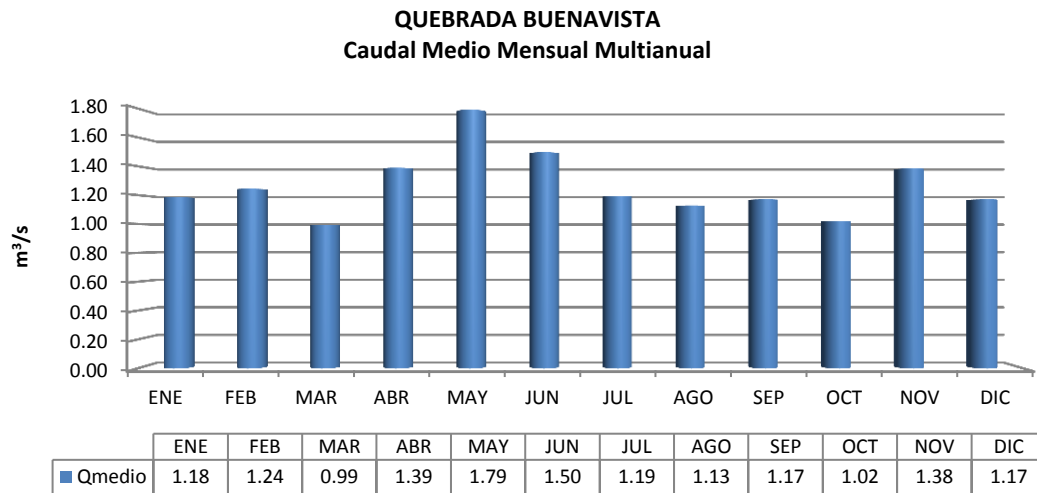


Figura 3. Caudal medio mensual multianual, quebrada Buenavista

Fuente: Balance hídrico, CRQ 2014

2.4 DEMANDA HÍDRICA

El uso doméstico y de consumo humano es la demanda de agua que predomina en la unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista, con un 88% del uso total. Igualmente se destacan otras demandas para usos como el agrícola, pecuario, piscícola e industrial. El total del caudal concesionado en la microcuenca de la quebrada Buenavista es de 212.48 l/s. (*Base de datos Concesiones, CRQ 2014*).

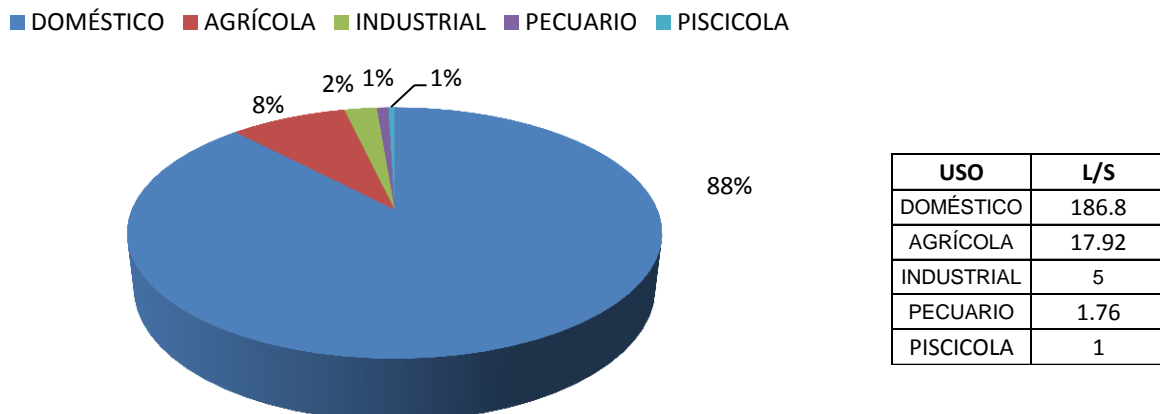


Figura 4. Porcentajes del caudal demandado, unidad hidrográfica Quebrada Buenavista

2.5 CALIDAD DEL AGUA

En la parte alta de la quebrada, se ubica la bocatoma para abastecimiento de agua potable del municipio de Quimbaya; hasta este punto la quebrada no ha tenido intervención del hombre, solo algunas fincas cercanas a ella. Su grave situación se observa ya dentro del casco urbano, donde la actividad antrópica (vertimientos domésticos directos) ha impactado la quebrada.

2.5.1 Disposición de aguas residuales

La topografía divide el municipio en varias áreas de drenaje, lo cual implica que aproximadamente los porcentajes de descarga son los siguientes.

Tabla 7. Fuentes hídricas impactadas por vertimiento de aguas servidas urbanas

QUEBRADA	% Vertimiento
Agua Linda	16.4
Buenavista*	6.3
Carmelita*	11.8
Campo Alegre	7.0
Minarica	23.7
Valencia	14
Calle 14*	9.6
Calle 18*	4.6
Sapera	6.6

*En total la quebrada Buenavista recibe el 32.3% de los vertimientos que limitan el casco urbano.

Fuente: PSMV, 2009

Luego de un trayecto aproximado de 9 km, las quebradas Minarica y Sopera (esta última se une a la quebrada la Silenciosa) entregan sus aguas en la parte baja de la microcuenca directo a la quebrada Buenavista en cercanías a su desembocadura.

Tabla 8. Calidad del agua en el cauce principal de la quebrada Buenavista

FECHA	Tramo	Longitud (km)	CAUDAL (L/s)	CAUDAL (m ³ /s)	T (°C)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	OD (mg/L)	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/100mL)
jul-11	Bocatoma Quimbaya	0.2	529	0.53	20	7.71	0.28		4.4		8.7	1.80E+02	1.80E+02
	Parte Media	14.2	884	0.88	22.7	7.25	6.75		9.29		3.44	5.40E+08	5.40E+08
	Desembocadura	21	1589	1.59	21	7.73	1.05		4.4		5.6	7.90E+03	7.90E+03
sep-11	Bocatoma Quimbaya	0.2	350	0.35	19.6	7.28	0.08	5.7	9.4	115	8.2	2.00E+02	2.00E+02
	Parte Media	14.2	426	0.43	22	7.29	5.03	63.6	7	106	5.4	1.60E+05	1.80E+02
	Desembocadura	21	1240	1.24	20	7.32	1.31	7.8	10.3	116	6.2	1.30E+03	1.30E+03
jun-10	Bocatoma Quimbaya	0.2	175	0.18	18	7.28	0.17	15.1	1.4		7.3	7.90E+03	5.80E+03
	Parte Media	14.2			20.8	7.64			5.7		8.1	1.70E+05	1.40E+05
	Desembocadura	21	618	0.62	21.7	7.9	0.80	17.8	7.2		7	2.20E+04	9.40E+03
ago-13	Bocatoma Quimbaya	0.2	131	0.131	17.1	7.65	<5.7	9.4	<4.4	59	7.58	1.70E+03	1.70E+03
	Parte Media	14.2	600	0.6	21.4	7.36	<5.7	11.5	<4.4	117	7.1	>1.6E+05	>1.6E+05
	Desembocadura	21	1076	1.076	22.9	7.86	<5.7	9.4	5.6	100	7.6	5.40E+04	5.40E+04
feb-14	Bocatoma Quimbaya	0.2	420	0.42	17	7.6	1.25	5.8	7		8.6	6.80E+08	2.00E+08
	Parte Media	14.2	1130	1.13	22.5	7.56	0.99	17.8	27.7		6.8	4.50E+08	4.50E+08
	Desembocadura	21	1620	1.62	23	7.65	0.92	18.6	35.2		7.8	2.20E+09	6.80E+08
nov-15	Bocatoma Quimbaya	0.2	754	0.754	18.6	7.54	0.80	9.5	3.7	79.6	7.24	2.80E+04	1.10E+04
	Parte Media	14.2	1410	1.410	21.1	7.28	4.30	13	36.2	107	6.07	1.60E+06	1.60E+06
	Desembocadura	21	1743	1.743	21.2	7.78	0.70	12.2	17.4	120	6.85	2.30E+05	2.30E+05

Fuente: Línea Base, CRQ 2011 y Modelación de la calidad del agua quebrada Buenavista, CRQ 2010, 2013 y 2014.

Figura 5. Variación de la calidad del agua, en la quebrada Buenavista

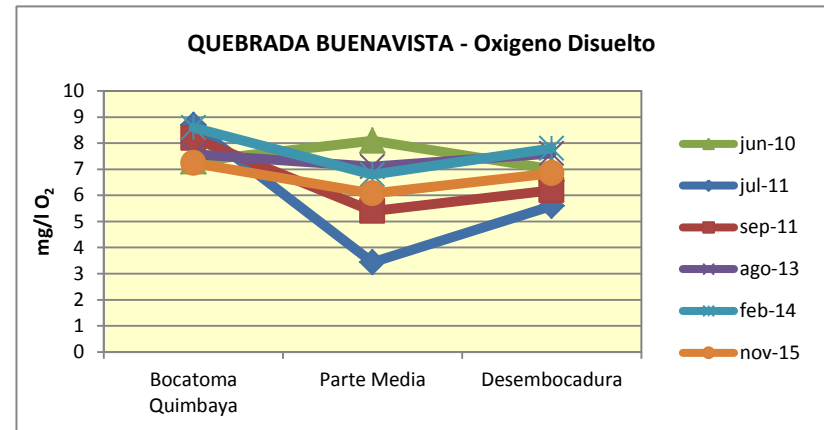
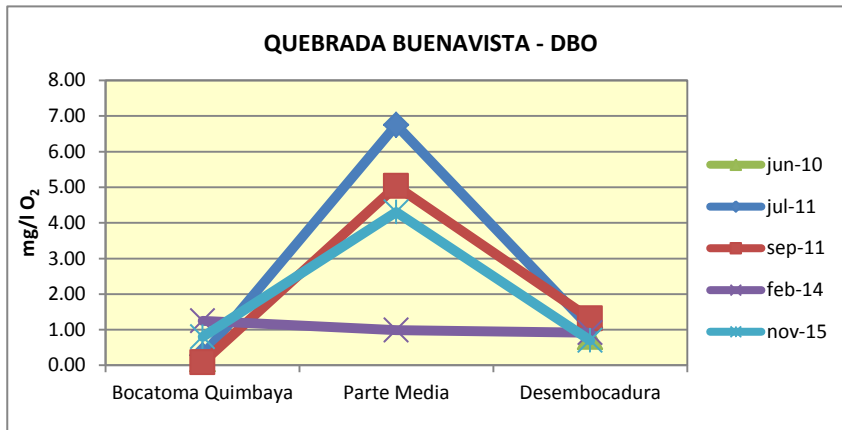
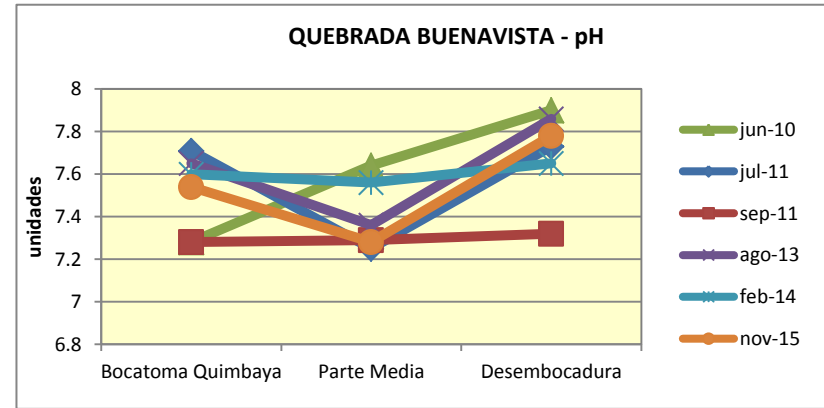
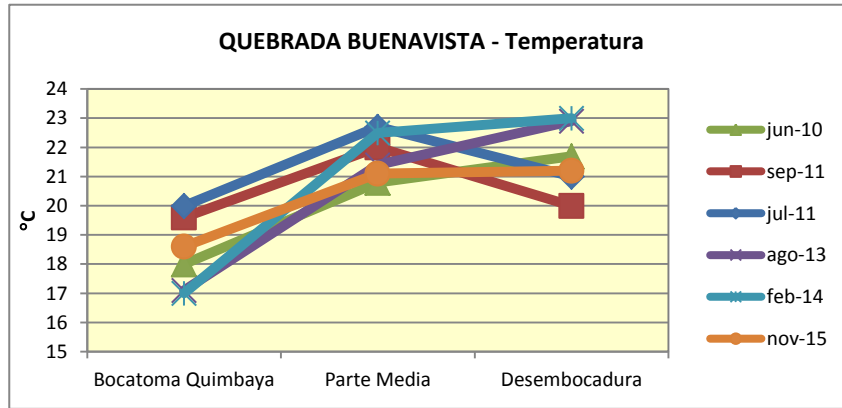
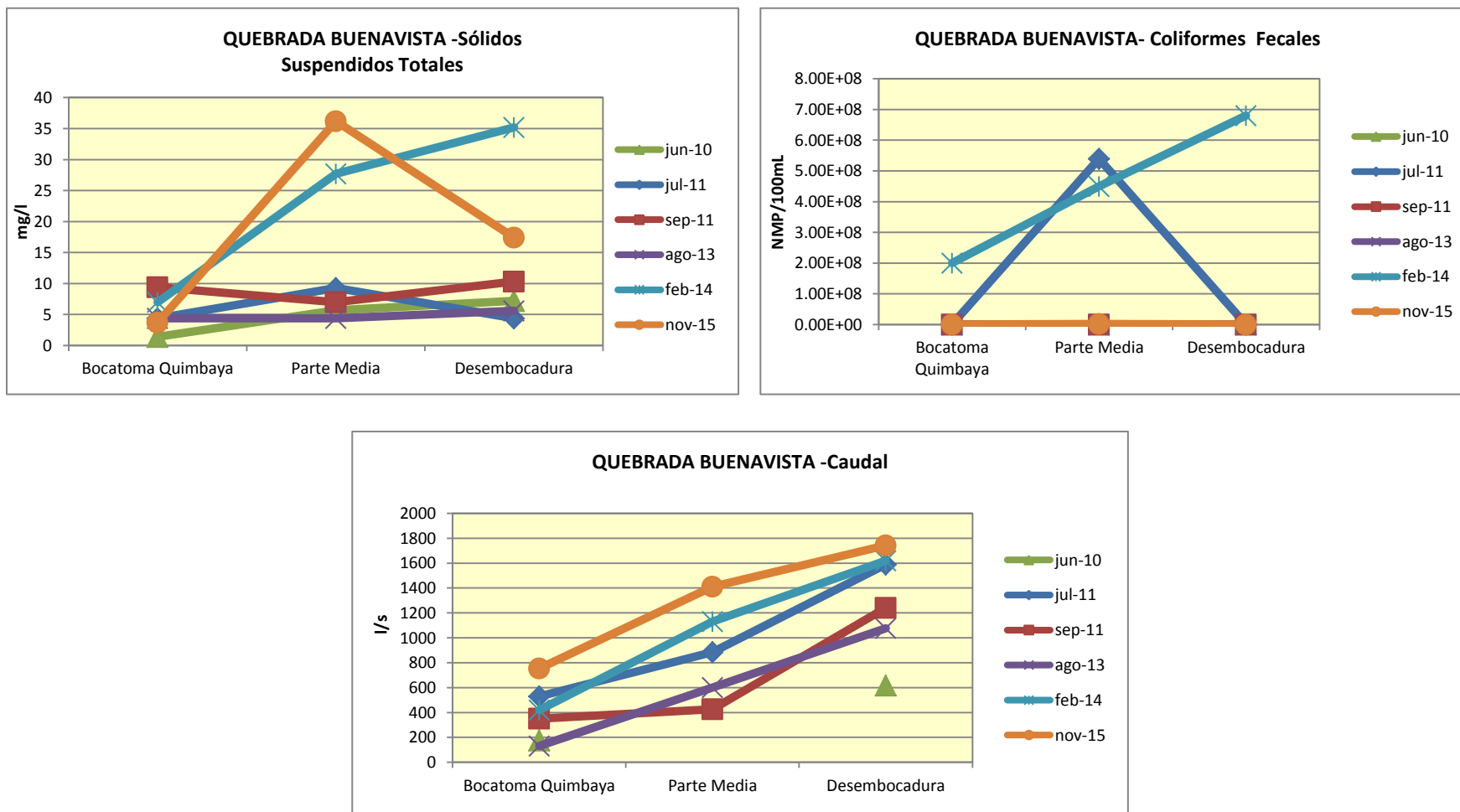


Figura 6. Variación de la calidad del agua, en la quebrada Buenavista



- **Temperatura del agua:** Se observa una temperatura promedio de 18.4 °C en la cuenca alta de la quebrada Buenavista, donde los meses de julio y septiembre del año 2011, reportan los mayores valores cercanos a 20°C. En la campaña de muestreo del año 2015 esta variable se mantuvo cerca del promedio con 18.6 °C. De igual forma se observa una tendencia creciente de esta variable relacionada directamente con la altura sobre el nivel del mar lo que hace que vaya en aumento hacia límites con el Valle del Cauca.
- **pH:** En todo momento los valores se encuentran dentro de los establecidos por el Decreto 1594/84 entre los valores 6.9 a 7.9 unidades aceptables para la mayoría de la fauna acuática. Se observa un descenso de este parámetro en la cuenca media evidenciada en los años 2011, 2013 y 2015.

DBO: Este parámetro se ve incrementado en la cuenca media debido a la recepción de vertimientos de aguas residuales en esta zona. Los niveles reportados para el año 2015 en la cuenca media poseen un aumento cercano al 77% en comparación con el año 2014.

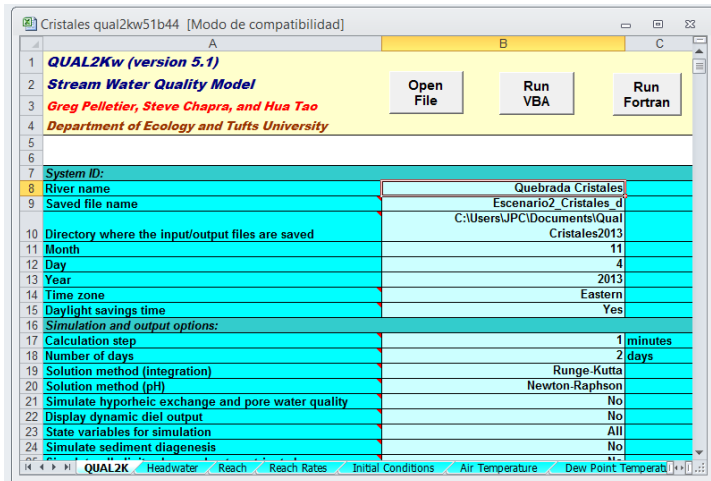
- **Sólidos Suspendidos Totales:** Para la última campaña de modelación (año 2015), se evidencia un aumento del 23% de este parámetro en relación con el año anterior medido en la cuenca media de la quebrada.

Oxígeno Disuelto: Existe una tendencia en el comportamiento de este parámetro a través de la quebrada Buenavista, donde las mayores concentraciones se observan al inicio y al final del tramo en estudio. En la zona media tiende a disminuir el oxígeno disuelto tras recibir las aguas residuales del casco urbano del municipio de Quimbaya; estas concentraciones varían entre 3.4 y 7.1 mg/l O₂ para la cuenca media.

- **Coliformes Totales y Fecales:** Esta variable se relaciona directamente con la presencia de bacterias procedentes del intestino humano y de animales de sangre caliente, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Se observa en la gráfica anterior, un descenso de este parámetro para el último año de registro en comparación con el año 2014 (Coliformes fecales año 2014 = 4.50E+08 NMP/100ml y año 2015 = 1.60E+06 NMP/100ml en su cuenca media).
- **Caudal:** Se observa para el último año de muestreo (año 2015) el mayor volumen de agua en la quebrada Buenavista, con 1743 l/s en relación al año 2014 con 1620 l/s.

3. MODELO MATEMÁTICO UNIDIMENSIONAL Qual2K

El modelo dinámico unidimensional Qual2k, simula la calidad del agua en ríos y arroyos de bajo caudal, asume zonas anóxicas y tramos longitudinalmente heterogéneos, maneja tributarios, fuentes puntuales y difusas. La EPA, (U.S. Environmental Protection Agency), lo aprobó en el 2007, se realizaron una serie de simulaciones en el arroyo “Southampton” Condado de Montgomery y Bucks, en Pennsylvania, USA en el 2008 (Capacasa, J.;, 1998). En Colombia, fue validado en el río Bogotá, (IDEAM, 2010).



3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El modelo presenta características útiles para la simulación de los ríos y quebradas de montaña (cauces con pendiente longitudinal mayor al 1.0 %, Parraga 2004.) propios de nuestra región. A continuación se detallan algunas de sus cualidades:

- Modelación en una sola dimensión (1D), en estado estacionario y con flujo no uniforme.
- Simula el cauce bien mezclado lateral y verticalmente.
- Simula el ingreso de fuentes puntuales y difusas.
- Simula las concesiones de agua como salidas puntuales y difusas.
- Simula la diagénesis y el flujo hiporreico.
- Permite la discretización espacial con tramos de diferentes longitudes.
- Simula las dos formas de oxidación de la materia orgánica carbonosa: rápida (DBOC₅) y lenta (DBOC₂₀ o DBOC_{ultima}).
- Simula la anoxia.
- Simula las bacterias (Coliformes totales o fecales)

3.2 METODOLOGÍA

La Figura que se presenta a continuación, representa esquemáticamente la metodología aplicada para la modelación de la calidad del agua para una corriente hídrica.

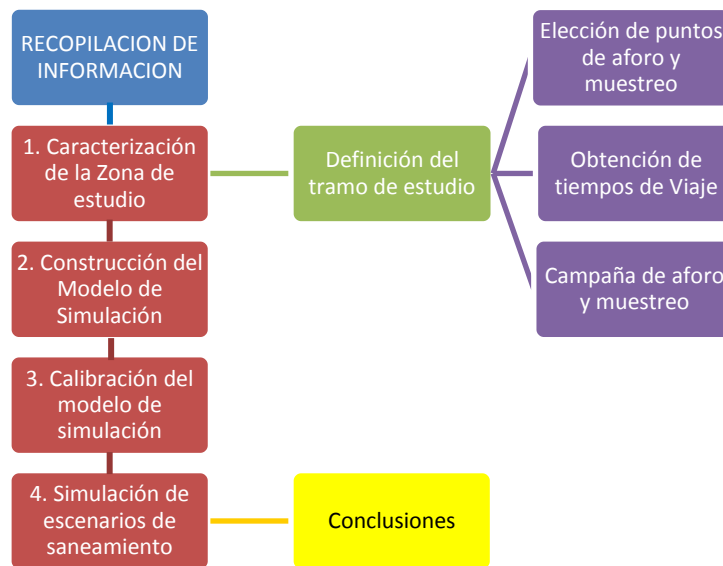


Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología empleada

Inicialmente se realizó la recopilación de información cartográfica con el fin de localizar la corriente principal junto a sus tributarios. A su vez, se evaluaron las diferentes estaciones a monitorear seleccionadas de acuerdo a su importancia geográfica y usos actuales (concesiones y vertimientos). Posteriormente, se georreferenciaron los puntos o secciones ya escogidos, para así determinar los tiempos de viaje de la masa de agua, cuyo fin es establecer un horario en la toma de muestras de calidad y cantidad sobre el tramo objeto de evaluación.

Definido el tramo, las secciones y los valores fisicoquímicos e hidrológicos a modelar, se construye el modelo de simulación teniéndose como objetivo, la identificación del comportamiento de los parámetros a modelar mediante el software QUAL2K. Para el presente estudio, se realizó una campaña de aforo y muestreo el día 27 de Noviembre de 2015, esperando que esta información simule el comportamiento usual de la corriente hídrica bajo condiciones de caudales medios a bajos, sin presencia de lluvias que modifiquen el estado del líquido en su trayectoria.

Luego de ingresar los datos que requiere el modelo, se realiza el proceso de calibración, donde se pretende aproximar los valores modelados con los valores reales tomados en la fuente hídrica, siendo esta la parte más importante en la implementación de esta herramienta. Por último se efectúa la simulación de escenarios de saneamiento en relación con los objetivos de calidad esperados para el año 2017 (Resolución No. 1035 de Noviembre de 2008, CRQ).

4. MODELACION: COMPONENTE HIDRAULICO

El tramo de estudio inicia en el punto de captación de agua para el acueducto del casco urbano del municipio de Quimbaya (Bocatoma ESAQUIN, vereda Bambuco Bajo) y se extiende unos 20 kilómetros hacia los límites con el departamento del Valle del Cauca, en el centro poblado de Puerto Alejandría. Hidrológicamente la longitud natural del cauce es de 30.24Km, con una diferencia de nivel de 1074 metros y una pendiente media del 1.93%, por lo que se puede clasificar como una quebrada con características de valle. A continuación se presentan las coordenadas de los puntos a modelar conformados por 4 secciones transversales sobre la fuente principal y 3 vertimientos (identificados como afluentes naturales, quebradas).

Tabla 9. Localización de puntos a modelar sobre la quebrada Buenavista

SECCION No.	ESTACION	CODIGO	ABSCISA (Km)	DISTANCIA ENTRE SECCIONES Δx (m)	COORDENADAS		
					Latitud	Longitud	M.S.N.M
1	Bocatoma Quimbaya	QB1	K 00+000	0	4° 37' 54"	75° 44' 9"	1350
2	Retorno ESAQUIN	QB2	K 04+290	4290	4° 37' 8"	75° 45' 35"	1220
3	Quebrada Carmelita	V1	K 04+500	210	4° 37' 8"	75° 45' 39"	1210
4	Quebrada Calle 14	V2	K 04+720	220	4° 37' 9"	75° 45' 44"	1205
5	Quebrada Calle 18	V3	K 04+851	131	4° 37' 6"	75° 45' 55"	1200
6	Pte. Quimbaya-Montenegro	QB3	K 06+660	1809	4° 36' 47"	75° 46' 27"	1195
7	Puerto Alejandría	QB4	K 20+480	13820	4° 37' 35"	75° 51' 19"	955

QB: Estación sobre la quebrada
V: Vertimiento
m.s.n.m.: altura sobre el nivel del mar

Las diferentes secciones transversales del río se fijaron en función de:

- a. Accesibilidad
- b. Seguridad del personal
- c. Condiciones hidráulicas

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESTACIONES A MODELAR

A continuación se presenta un resumen de las principales características que componen las estaciones de aforo y muestreo.

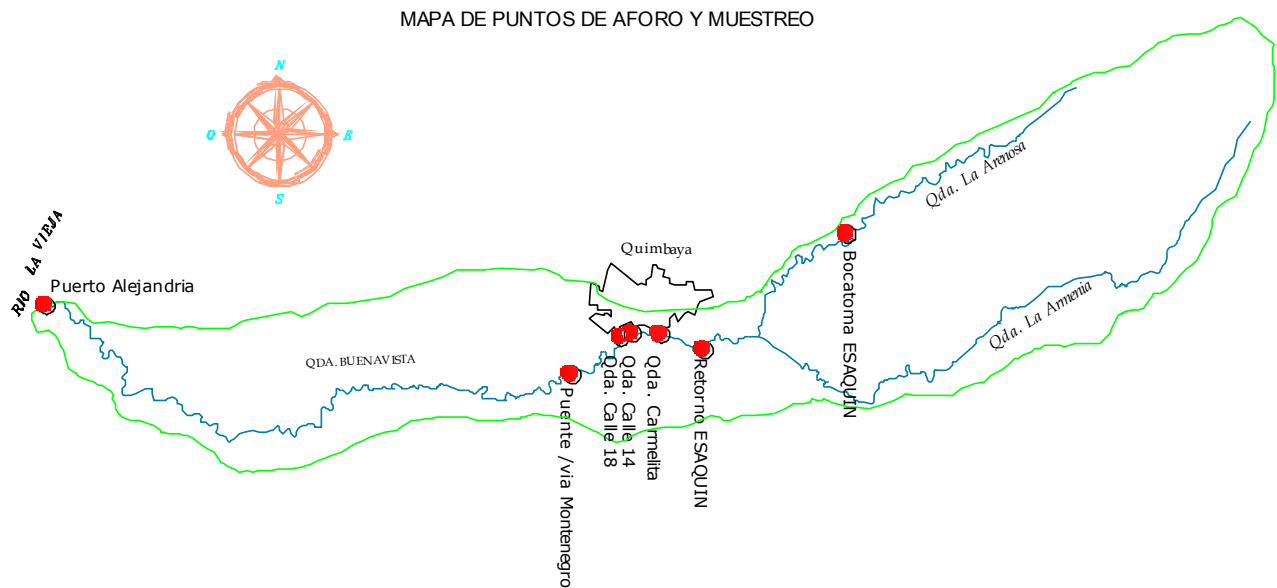









Figura 8. Localización de puntos de foro y muestreo, quebrada Buenavista

Tabla 10. Características de los puntos de foro y muestreo

ESTACION	ACCESO	ESTADO DEL RECURSO	REGISTRO FOTOGRAFICO
<p>QB1 Bocatoma ESAQUIN</p>	<p>Vía Quimbaya – Filandia, vereda Bambuco Bajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Quebrada en aparente buenas condiciones, rodeada por cultivos de plátano y café. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Allí se encuentra localizada la captación de agua para el acueducto de Quimbaya. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Se observan peces en la quebrada. 	
<p>QB2 Retorno ESAQUIN</p>	<p>Vía rural a la vereda Trocaderos</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Presencia de viviendas de aspecto artesanal cerca de la quebrada 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Algunas basuras de origen antrópico alrededor de la quebrada. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · La tonalidad del agua es algo amarilla, pero con buen aspecto. 	
<p>V1 Quebrada Carmelita</p>	<p>Ubicada en jurisdicción del municipio de Quimbaya. Su desembocadura con la quebrada Buenavista se encuentra en la va hacia la vereda Trocaderos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Vertimiento con fuerte olor a agua residual y color gris. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Vertimiento localizado en una zona de pocas viviendas (fincas), rodeada de pastizales. 	

ESTACION	ACCESO	ESTADO DEL RECURSO	REGISTRO FOTOGRAFICO
<p>V2 Quebrada Calle 14</p>	<p>Ubicada en jurisdicción del municipio de Quimbaya, por la Calle 14 con carrera 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Vertimiento de color gris y fuerte olor a agua residual. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Rodeada de pastizales y bosque de mediana altura. 	
<p>V2 Quebrada Calle 18</p>	<p>Ubicada en jurisdicción del municipio de Quimbaya, por la Calle 18 con carrera 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Vertimiento de color gris y fuerte olor a agua residual. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Rodeada de pastizales y construcción de viviendas (movimientos de tierra) 	

ESTACION	ACCESO	ESTADO DEL RECURSO	REGISTRO FOTOGRAFICO
<p>QB3 Puente vía Quimbaya-Montenegro</p>	<p>Vía secundaria hacia el casco urbano del municipio de Montenegro</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Quebrada receptora de las aguas residuales provenientes del casco urbano del municipio de Quimbaya. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Quebrada rodeada por guaduales. 	
		<ul style="list-style-type: none"> · Hasta este punto, la quebrada presenta cierta turbiedad y olor a aguas residuales. 	
<p>QB4 Puerto Alejandría</p>	<p>Vía al Valle por la vía terciaria que conduce el centro poblado de Puesto Alejandría</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Rodeada de grandes pastizales y guaduales. Se evidencia buen estado del recurso. El punto seleccionado se encuentra a 200 m de la desembocadura con el río La Vieja. 	

4.2 OBTENCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE

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

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

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

$$T_n = \sum_1^n t_n$$

Dónde:

$$t_n = \frac{Volumen_n}{Caudal_n} \quad Volumen_n = \frac{(Area_i + Area_k) \div 2}{\Delta x_{i,k}} \quad Caudal_n = \frac{(Caudal_i + Caudal_k)}{2}$$

Tabla 11. Variables hidrométricas obtenidas el 5 de Noviembre de 2015 durante la jornada de aforo para la obtención de los tiempos de viaje

Estación	A(m ²)	Δx (m)	Q (m ³ /s)	Volumen (m ³)	Q medio (m ³ /s)	T viaje (seg)	T viaje (min)	ΣT viaje (min)	ΣT viaje (hora)	Horas parciales
Bocatoma Quimbaya	1.288	0	0.190	0	0.2	0	0	0	0	0
Puente	3.408	6660	0.601	15636.87	0.4	39529.82	658.83	658.83	10.98	10.98
Puerto Alejandría	2.814	13820	0.963	42993.03	0.8	54984.00	916.40	1575.23	26.25	15.27

4.3 DATOS HIDROMÉTRICOS Y MORFOLÓGICOS

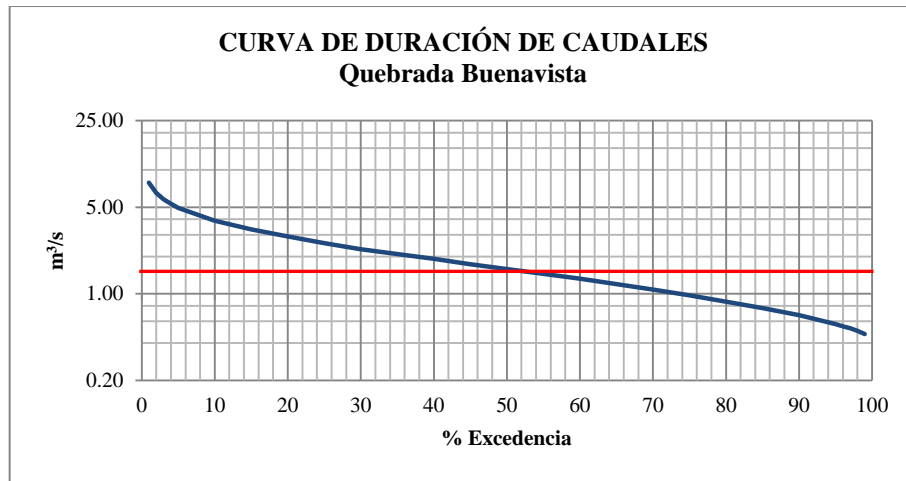
El método de aforo para la obtención de los tiempos de viaje y la toma de muestras de agua, fue seleccionado de acuerdo con lo establecido por el IDEAM en su “Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, 2007”. El tipo de aforo implementado fue por vadeo; se seleccionaron un mínimo de 11 secciones verticales dentro de cada sección transversal elegida (punto de monitoreo); la velocidad de flujo se obtuvo por medio de un molinete de eje horizontal.

Tabla 12. Variables hidrométricas obtenidas el 27 de noviembre de 2015 durante la jornada de aforo para la obtención de los tiempos de viaje

Punto	Abscisa	Nombre	Velocidad (m/s)	Área Total (m ²)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Caudal (m ³ /s)
QB1	K 00+000	Bocatoma Quimbaya	0.406	1.858	0.232	8.000	0.754
QB2	K 04+290	Retorno ESAQUIN	0.436	2.078	0.416	5.000	0.905
V1	K 04+500	Qda. La Carmelita	0.847	0.018	0.044	0.400	0.015
V2	K 04+720	Qda. Calle 14	0.377	0.038	0.096	0.400	0.014
V3	K 04+851	Qda. Calle 18	0.181	0.057	0.057	1.000	0.010
QB3	K 06+660	Pte. Quimbaya-Montenegro	0.396	3.557	0.356	10.000	1.410
QB4	K 20+480	Puerto Alejandría	0.734	2.373	0.396	6.000	1.743

- Caudal de muestreo

Con el fin de conocer el tipo de caudal (máximo, medio o bajo) obtenido el día del muestreo, se determinó a partir de los registros históricos de caudal medio mensual de la estación limnigráfica “Puerto Alejandría”, la *Curva de Duración de Caudales*. Esta representa un análisis de frecuencias de caudales que permite emplearse para referenciar el estado del recurso hídrico en cuanto a cantidad en condiciones de caudales máximos, medios, bajos y de sequía.



Fuente: Línea Base, CRQ 2011.

Figura 9. Curva de Duración de Caudales, Quebrada Buenavista

El valor del caudal arrojado el día del muestreo (27 de Noviembre de 2015) en la estación Puerto Alejandría fue de **1.743 m³/s**, equivalente a un 50% de probabilidad de excedencia posicionándose cerca de los **caudales medios**.

4.4 CONDICIONES DE BORDE

4.4.1 Condiciones de borde externas

Las condiciones de borde externas corresponden a las fronteras o límites del tramo a modelar de cualquier corriente hídrica principal (estación Bocatoma y Puerto Alejandría). La localización de las fronteras abiertas del modelo y la definición de las condiciones hidrodinámicas y de calidad del agua a imponer en dichos límites, son denominadas como condiciones de frontera. Estas constituyen en uno de los aspectos más relevantes dentro del proceso de implementación del modelo matemático.

4.4.2 Condiciones de borde internas

Las condiciones de borde internas de una corriente hídrica a modelar, corresponden a los diferentes afluentes y derivaciones existentes a lo largo del cauce principal, como son quebradas tributarias, vertimientos de aguas residuales (domésticas para el caso de estudio), concesiones y retornos de agua. Los caudales y las características de calidad para las condiciones de borde internas son las obtenidas durante el día de muestreo en la quebrada Buenavista. En la Tabla 13 se presentan todas las condiciones de borde internas correspondientes a la quebrada incluidas en la modelación matemática.

- Tributarios

Como afluentes de la corriente principal, son evaluados aquellos que poseen mayor impacto a nivel de calidad sobre la corriente principal definidas como fuentes receptoras de aguas residuales. Estas son las quebradas Carmelita, Calle 14 y Calle 18.

- Concesiones de agua

Existe la concesión de aguas para el acueducto del municipio de Quimbaya que capta directamente de esta quebrada. Esta no será tomada en cuenta, ya que el tramo de estudio inicia 10 metros aguas abajo del punto de captación.

Tabla 13. Condiciones de borde internas en la malla de modelación, quebrada Buenavista

PUNTO	CODIGO	ESTACION	ABSCISA (km)	CAUDAL (m³/s)	CONDICION
	QB1	Bocatoma Quimbaya	K 00+000	0.754	Estación
1	V1	Quebrada Carmelita	K 04+500	0.015	Vertimiento
2	V2	Quebrada Calle 14	K 04+720	0.014	Vertimiento
3	V3	Quebrada Calle 18	K 04+851	0.010	Vertimiento
	QB4	Puerto Alejandría	K 20+480	1.742	Estación

QB: estación sobre la quebrada Buenavista

4.5 RED FINAL DE MODELACIÓN

El grid o malla de modelación, quedó conformada por 4 secciones transversales correspondientes a las secciones localizadas en las salidas de campo como estaciones de aforo y de toma de muestras de agua. En la siguiente tabla se representa la malla de modelación para la quebrada Buenavista, donde se especifican las distancias entre las secciones a implementar.

Tabla 14. Red esquematizada para modelación de calidad del agua – quebrada Buenavista

QB1	k 0.000	0	1	k 0.000	Bocatoma Quimbaya
		1			
QB2	K 4.290		2	K 4.290	Retorno ESAQUIN
VEQB3	k 4.500	2			
VEQB5	k 4.720	3			

VEQB6	k 4.851	4			
QB2	K 6.660		3	K 6.660	Puente Quimbaya-Montenegro
QB4	K 20.480	5	4	K 20.480	Puerto Alejandría

Con base en los diferentes análisis efectuados, la red esquematizada para la quebrada Buenavista para fines de la modelación numérica, queda definida de la siguiente manera: 4 estaciones transversales, 2 condiciones de borde externas (estación Bocatoma Quimbaya y estación Puerto Alejandría) y 3 fronteras internas (tributarios considerados como vertimientos directos a la quebrada Buenavista).

4.6 CALIBRACIÓN COMPONENTE HIDRÁULICO

Durante la campaña de muestreo para la corriente en estudio, se obtuvo información de caudales y parámetros de calidad solamente en los tributarios de mayor interés en la quebrada Buenavista, debido a su localización y manejo de personal lo que restringiría poder realizar las mediciones en cada uno de ellos. Partiendo de este hecho, fue necesario tener en cuenta dentro de este componente, las fuentes difusas de agua necesarias para el balance de caudales no aforados en campo, es decir, es necesario introducir estos valores de caudal ya que la medición en campo no es específicamente exacta y se pierden ciertas cantidades de agua entre tramo y tramo.

Tabla 15. Fuentes Difusas incluidas como balance hídrico dentro de la quebrada Buenavista

Fuente Difusa		Diffuse Abstraction	Diffuse Inflow	Localización entre la abscisa (m)	
		m ³ /s			
Fuente Difusa 1	D1	–	0.151	0.00	4.00
Fuente Difusa 2	D2	–	0.460	4.48	6.60
Fuente Difusa 3	D3	–	0.338	7.48	20.48

4.6.1 Resultados de la modelación del componente hidráulico

Un modelo es una representación discreta y simplificada de una situación continua y compleja de un flujo real. Los diferentes tramos de una fuente hídrica o un canal son representados por elementos equivalentes o simplificados (unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales), en los cuales se considera que el flujo sigue o responde a ciertas leyes físicas (continuidad y cantidad de movimiento), representadas mediante ecuaciones diferenciales que incluyen diferentes coeficientes empíricos. En el proceso de implementación del sistema de modelación matemática,

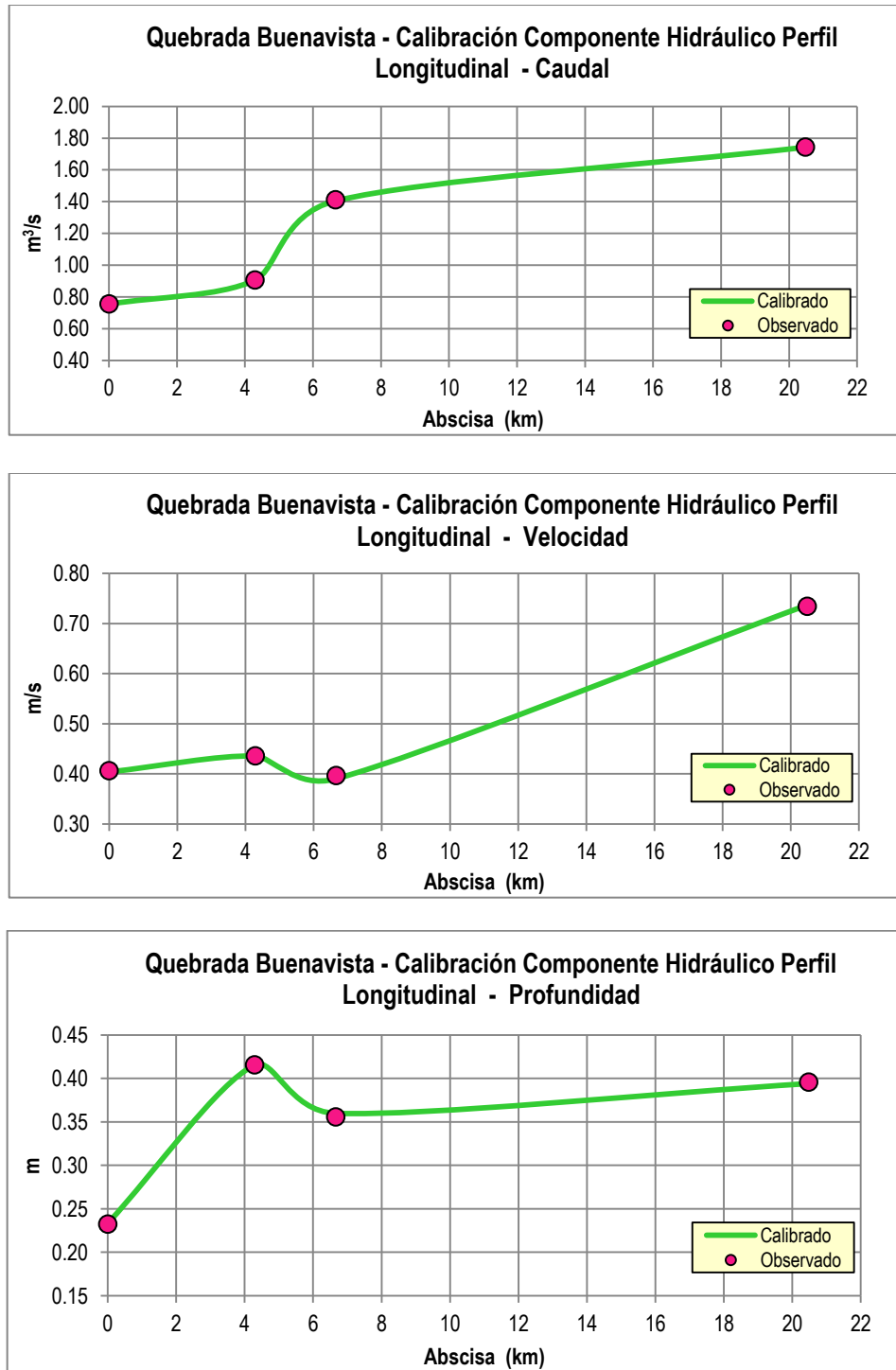
inicialmente se lleva a cabo la fase de calibración del modelo hidrodinámico, el cual se constituye el módulo básico del sistema de modelación. Una vez lograda la calibración del modelo hidrodinámico, se procede a efectuar la calibración de los modelos de transporte y de calidad de agua, en la medida en que la información de campo disponible lo permita.

En la Tabla 16 se presentan los resultados de las variables hidrométricas, obtenidas después de la calibración hidráulica. Asimismo, en la Figura 10 se presentan los perfiles longitudinales de las variables observadas comparadas con las calculadas por el modelo (simuladas).

Tabla 16. Variables hidrométricas obtenidas en la calibración hidráulica

Abscisa (km)	Profundidad media (m)	Ancho Cauce (m)	Área húmeda (m²)	Velocidad media (m/s)	Caudal (m³/s)
0.000	0.42	8.00	1.87	0.40	0.75
4.290	0.36	5.00	2.08	0.44	0.91
6.660	0.39	10.00	3.60	0.39	1.40
20.480	0.42	6.00	2.36	0.74	1.74

Figura 10. Calibración componente hidráulico, perfiles longitudinales de variables hidrométricas Simuladas vs Observadas



5. MODELACIÓN: COMPONENTE CALIDAD

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL LABORATORIO

Los datos de entrada (Inputs) para el modelo de “Calidad del agua” en la quebrada Buenavista, fueron obtenidos por medio de la toma de muestras en el cauce principal y tres tributarios de mayor interés hídrico, de forma simultánea, siguiendo la masa de agua de acuerdo a los horarios establecidos (tiempos de viaje) vistos anteriormente. Estas muestras fueron posteriormente analizadas en el laboratorio de aguas de la CRQ.

Tabla 17. Datos de calidad (CRQ) – Campaña de muestreo 27/11/2015

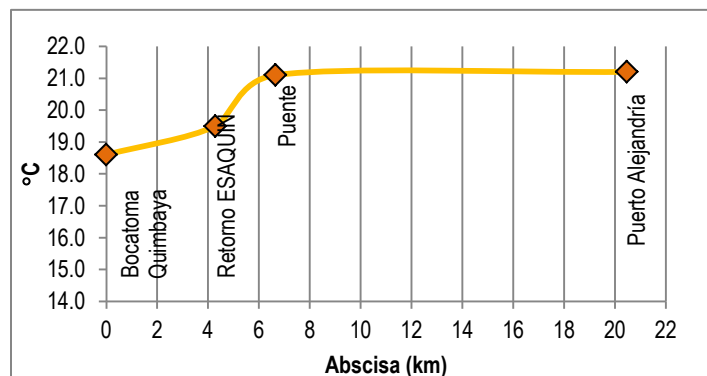
PUNTO DE MONITOREO		Caudal (m ³ /s)	Temp. Agua (°C)	SST (mg/l)	Solidos Totales (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH (unidades)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Coliformes Totales (NMP/100ml)
Bocatoma Quimbaya	QB1	0.754	18.6	3.7	79.6	7.24	0.8	9.5	7.54 (18.6°C)	1.10E+04	2.80E+04
Retorno ESAQUIN	QB2	0.905	19.5	11.2	104	7.35	0.7	11.4	7.61 (19.5°C)	-	-
Qda. La Carmelita	V1	0.015	22.2	69.7	356	4.49	114	251	7.68 (22.2°C)	1.60E+11	1.60E+11
Qda. Calle 14	V2	0.014	22.1	68.5	372	4.37	137.0	282.0	7.37 (22.1°C)	1.60E+11	1.60E+11
Qda. Calle 18	V3	0.010	21.9	35.6	310	2.54	76.6	156.0	7.13 (22.9°C)	1.60E+11	1.60E+11
Puente Quimbaya-Montenegro	QB3	1.410	21.1	36.2	107	6.07	4.3	13.0	7.28 (21.1°C)	1.60E+06	1.60E+06
Puerto Alejandría	QB4	1.743	21.2	17.4	120	6.85	0.7	12.2	7.78 (21.2°C)	2.30E+05	2.30E+05

QB: Sobre la quebrada Buenavista
V: Vertimiento

5.1.1 Observaciones Generales de los reportes de calidad

- **Temperatura**

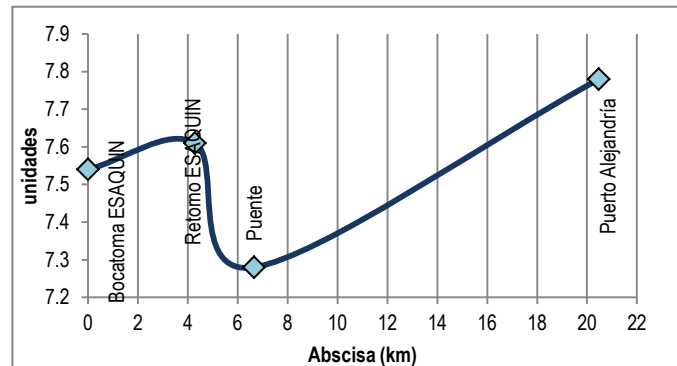
Existe una tendencia creciente de esta variable relacionada directamente con la altura sobre el nivel del mar lo que hace que esta vaya en aumento de tramo a tramo, debido a que el punto final se encuentra próximo al río La Vieja (límites con el Valle del Cauca). Además, y muy importante es que las mediciones de temperatura en las estaciones van asociadas al aumento o disminución de la temperatura ambiente que se produce en



el transcurso del día. La temperatura influye directamente en la disociación de sales y gases, por lo tanto en la conductividad eléctrica y el pH. Asimismo, la relación entre densidad del agua y su temperatura, pueden modificar los movimientos de mezcla de diferentes masas en función de la alteración de la temperatura; es por ello que el tramo Retorno ESAQUIN-Puente se evidencia un aumento significativo de la temperatura del agua por localizarse allí actividad antrópica relacionada directamente con los diferentes vertimientos del casco urbano del municipio de Quimbaya que inducen un aumento de la temperatura por el aumento de la actividad biológica.

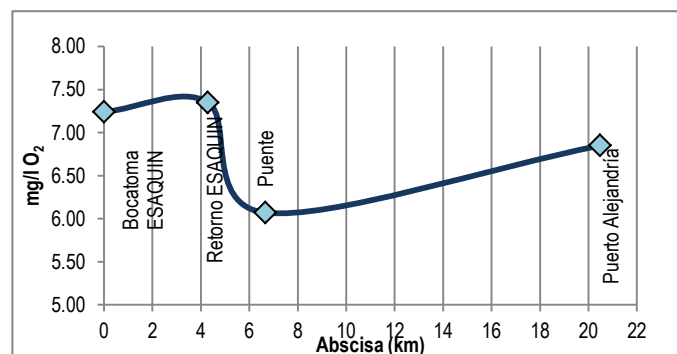
- **pH**

El análisis de esta variable es fundamental para establecer la calidad del agua, pues permite identificar las condiciones acidas o alcalinas de una corriente cuyos valores extremos puede repercutir seriamente en la flora y fauna acuáticas. En todo momento los valores se encuentran dentro de los establecidos por el Decreto 1594/84: 7.28 a 7.78 unidades aceptables para la mayoría de la fauna acuática.



- **OD**

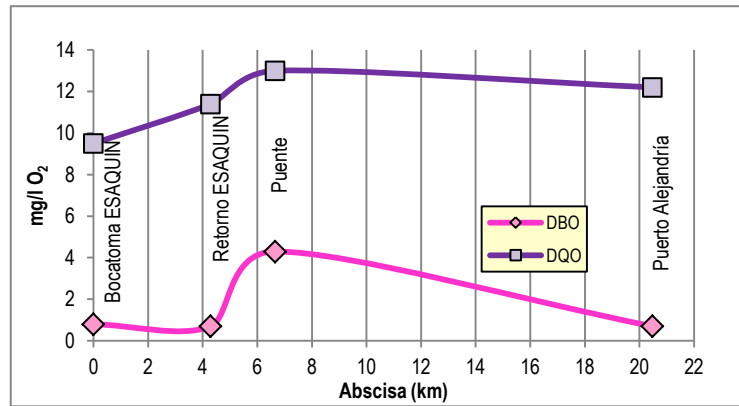
Indicador importante de la calidad del agua ambiental. El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Las caídas de agua y los lechos rocosos con pendiente media a alta, aumentan el OD al generar turbulencias en los ríos. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 mg/l. Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. Algunos tipos de larvas de mosca y mosquito se hallan localizados entre los 4mg/l a 1mg/l. Los niveles más bajos de OD encontrados el día del muestreo se hallan localizados en el segundo tramo Puente-Puerto Alejandría (QB3-QB4), estos varían entre 6.07 y 6.85 mg/l O₂.



• **DBO y DQO**

Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales.

DBO₅: Este parámetro mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos, entre mayor valor se presente mayor nivel de contaminación existe.



La quebrada Buenavista en gran parte de su trayecto presenta niveles de DBO₅ bajos, representativo este de aguas no contaminadas, valores que se encuentran entre los 0.7 y 0.8 mg/l O₂. Caso contrario en el punto intermedio, luego del paso de la quebrada por la zona urbana del municipio, donde la DBO asciende a 4.3 mg/l O₂, es decir, sobre este tramo se consideran aguas superficiales con indicio de contaminación.

DQO: Este parámetro estima la cantidad de materia orgánica en el agua que es oxidada o degradada por medios químicos, al igual que la DBO, entre mayor valor se presente mayor nivel de contaminación existe.

A lo largo de la quebrada Buenavista se presentan concentraciones de DQO entre 9.5 mg/l O₂ y 13 mg/l O₂, equivalente a aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable, lo que se clasifica como "Buena Calidad"; valores entre 10 < DQO < 20 mg/l O₂. (Tomado de: Escala de clasificación de la calidad del agua, CONAGUA, México).

• **Relación DQO/DBO**

La relación entre la DQO y DBO biodegradable, permite identificar si la materia orgánica presente en el agua es muy biodegradable, moderadamente o poco biodegradable.

Índice de biodegradabilidad:

- DQO/DBO = 1.5 Materia orgánica muy degradable
- DQO/DBO = 2 Materia orgánica moderadamente degradable
- DQO/DBO = 10 Materia poco degradable

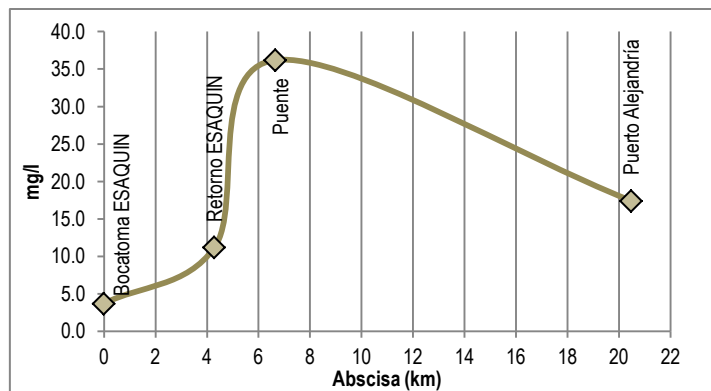
Tabla 18. Índice de biodegradabilidad

PUNTO DE MONITOREO		DQO/DBO	Observación
		Qda. La Carmelita	V1
Qda. Calle 14	V2	2.06	moderadamente degradable
Qda. Calle 18	V3	2.04	moderadamente degradable

Biodegradables: Sustancias que pueden ser degradadas o transformadas por los microorganismos (bacterias y hongos). Por ejemplo tenemos al papel, al cartón, algunos detergentes y desechos orgánicos (excremento, alimentos).

• **SST**

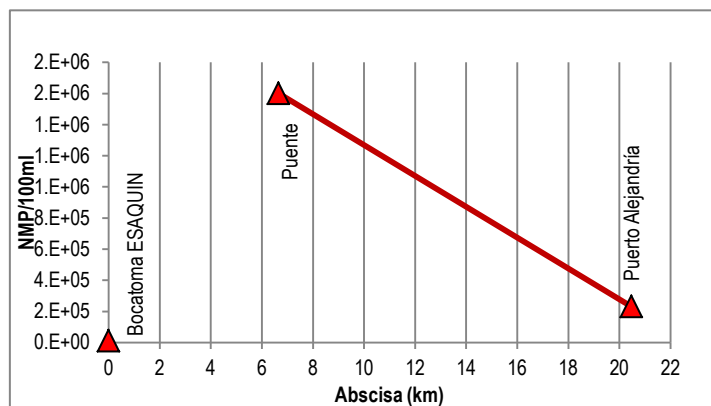
La concentración de sólidos suspendidos totales es importante para los ecosistemas fluviales por razones de calidad ecológica y del agua, los sólidos inorgánicos en suspensión atenúan la luz, principalmente a través del proceso de dispersión lo cual disminuye el proceso fotosintético en la flora acuática. Se ha demostrado las alteraciones en las relaciones depredador-presa (por ejemplo el agua turbia podría hacer difícil para los peces para ver a su presa – insectos). Los sólidos en suspensión también influyen en la actividad metabólica y proporcionan un área de superficie para la absorción y el transporte de una gran variedad de componentes.



Los resultados arrojan un alto contenido de sólidos suspendidos totales en la estación Puente con 36.2 mg/l, probablemente producto de los vertimientos en la zona al igual que los proyectos de vivienda que se están edificando en la zona sur del municipio (volcamiento de partículas hacia el lecho de la quebrada).

• **Coliformes Totales y Fecales**

Esta variable se relaciona directamente con la presencia de bacterias procedentes del intestino humano y de animales de sangre caliente, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. La mayor concentración de este parámetro se encuentra en la estación Puente, donde la quebrada recibe los vertimientos de aguas residuales domésticas del casco urbano de Quimbaya. Por otro lado, se observa una reducción cercana al 86% entre el



tramo Puente-Puerto Alejandría (QB3-QB4), debido a los procesos naturales que se producen, al igual que la inexistencia de vertimientos significativos hasta antes del centro poblado de Puerto Alejandría.

5.1.1.1 Análisis de las concentraciones obtenidas en los vertimientos puntuales identificados en la quebrada Buenavista con relación a la Resolución 0631 de 2015

Para la identificación de los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas de los prestadores del servicio público de alcantarillado (caso quebrada Buenavista), se evalúa previamente la carga contaminante en kg/día de DBO₅ con el fin de identificar la Tabla de los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles a cumplir.

Tabla 19. Carga contaminante de los vertimientos identificados en la modelación

ESTACION	DBO ₅ (mg/l O ₂)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)	Carga Contaminante kg/día DBO ₅	Resolución 0631 de 2015 (Capítulo V, Art. 8)
Qda. La Carmelita	114.0	0.0148	14.81	145.913	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS -ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PUBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625.00 Kg/día DBO ₅
Qda. Calle 14	137.0	0.0145	14.48	171.415	
Qda. Calle 18	76.6	0.0103	10.33	68.364	

Tabla 20. Cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015, para los vertimientos puntuales identificados en la campaña de muestreo el día 27/11/2015

PUNTO DE MONITOREO		SST (mg/l)	DBO ₅ (mg/l O ₂)	DQO (mg/l O ₂)	pH (unidades)
Qda. La Carmelita	V1 - Concentración	69.7	114	251	7.68
	Cumplimiento Resolución 0631 de 2015	< 90 CUMPLE	< 90 NO CUMPLE	< 180 NO CUMPLE	(6-9) CUMPLE
Qda. Calle 14	V3 - Concentración	68.5	137	282	7.37
	Cumplimiento Resolución 0631 de 2015	< 90 CUMPLE	< 90 NO CUMPLE	< 180 NO CUMPLE	(6-9) CUMPLE
Qda. Calle 18	V4 - Concentración	35.6	76.6	156	7.13
	Cumplimiento Resolución 0631 de 2015	< 90 CUMPLE	< 90 CUMPLE	< 180 CUMPLE	(6-9) CUMPLE

5.2 CONSTANTES CINÉTICAS DE REACCIÓN

En el modelo se hace fundamental conocer las distintas constantes que determinan la tasa a la que reaccionan los diferentes parámetros de calidad. Las constantes que serán necesarias hallar son las siguientes:

- Constante de decaimiento de la DBO (K_d)
- Constante de reaireación (K_2).
- Constante de decaimiento de los coliformes (K_b).

5.2.1 Constante de decaimiento de la DBO (K_d)

- **Método de la cinética de primer orden**

La tasa de remoción de la materia orgánica es proporcional a la cantidad de esta que se encuentre presente en el instante del análisis. Además se ha demostrado que la cinética de esta reacción se puede suponer para efectos prácticos como de primer orden, es decir:

$$dL/dT = -K_d L \quad (1)$$

Dónde:

L = Cantidad de Materia orgánica oxidable en el tiempo t , mg/L
 K_d = Coeficiente promedio de remoción de la DBO en el río, día⁻¹

- **Método de cálculo entre tramos**

La constante de desoxigenación se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Romero, 2004):

$$K_{d_e} = [(1/\Delta t) \ln (L_A/L_B)] \quad (2)$$

$$K_d = (K_{d_e}/2.3) \quad (3)$$

Dónde:

K_{d_e} : Constante de desoxigenación (base e), día⁻¹
 K_d : Constante de desoxigenación (base 10), día⁻¹
 L_A : DBOC en el punto A, mg/l
 L_B : DBOC en el punto B, mg/l

- Δt : Tiempo de viaje entre A y B, días
A : Punto localizado aguas arriba
B : Punto localizado aguas abajo

Si bien es cierto, que existen otro muchos métodos para determinar la constante de desoxigenación - el método de mínimos cuadrados, método de Thomas, método de la pendiente de Thomas, método de los puntos de Rhame - para llevar a cabo la modelación se decide por la metodología del cálculo de tramos, método más intuitivo y de mayor facilidad de manejo, y el cual permite obtener las constantes entre cada tramo (estaciones de muestreo), lo que da una representación muy aproximada de los valores de decaimiento que se dan en el cauce.

Además, la bondad de este método frente al método de cinética de primer orden, es que no hace falta estimar la constante de desoxigenación a los 20 días, ya que no es representativo de la situación que ocurre en la quebrada, en general, las fuentes de montaña tienen una alta capacidad de reaireación por la turbulencia que se genera en rápidos y caídas, y por lo tanto el nivel de oxígeno disuelto se mantiene alto favoreciendo la degradación aerobia de la materia orgánica y la nitrificación de las diferentes especies de nitrógeno. Adicionalmente, por la baja profundidad de la corriente, la luz solar penetra la columna facilitando la mortalidad de sustancias patógenas. A su vez, en las piscinas y zonas muertas o de almacenamiento de las fuentes de montaña, bajo condiciones de caudal bajo, la materia orgánica particulada y los sólidos suspendidos se sedimentan y pueden quedar temporalmente atrapados, aumentando la capacidad efectiva de autpurificación.

Así pues, un método empírico como es el método de cálculo entre tramos, permite obtener valores de la constante de desoxigenación similares a los obtenidos después del proceso de calibración del modelo.

- **Constante de reaireación (K2)**

Se ha demostrado que la tasa de transferencia de oxígeno a las corrientes por el fenómeno de reaireación depende de la hidrodinámica de los dos medios, de la intensidad, de la turbulencia y la superficie del agua, además de la relación entre el área superficial y el volumen del agua, como se muestra a continuación:

$$\frac{dC}{dt} = K_L A (C_s - C) / V = K_2 (C_s - C) \quad (4)$$

Donde K_L es el coeficiente de absorción o de transferencia de masa y K_2 es el coeficiente de reoxigenación.

5.2.2 Constante de decaimiento de los coliformes (K_b)

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$K_B = K_B = K_{B1} + K_{Bluz} + K_{B(sed)} - K_{a(crecimiento)} \quad (5)$$

Dónde:

K_B	: Constante de decaimiento de los coliformes, dia^{-1}
K_{B1}	: Decaimiento por salinidad, dia^{-1}
K_{Bluz}	: Decaimiento por la luz, dia^{-1}
$K_{B(sed)}$: Decaimiento por sedimentación, dia^{-1}
$K_{a(crecimiento)}$: Tasa de crecimiento de los coliformes, dia^{-1}

La concentración de coliformes en aguas naturales se viene usando como indicador de contaminación potencial por patógenos desde 1890. Los factores que afectan a la aparición y desaparición de coliformes son múltiples, factores físicos, físico-químicos y bioquímico-biológicos.

Tradicionalmente la desaparición de coliformes se trata como una cinética de primer orden (como casi todas las tasas relacionadas en el proceso de modelación). Lombardo va un poco más allá, y en un esfuerzo por describir la dinámica de los coliformes separa la cinética en tres ecuaciones de primer orden para Coliformes totales (CT), Coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (FS).

Existen muchos planteamientos sobre el decaimiento de los coliformes, otro interesante es la que propuesta por Lantrip (1983), en la cual propone una ecuación que modela el decaimiento, siendo este una combinación de la combinación de modelos que dependen de la intensidad lumínica y de los que no. La dificultad para la aplicación de este modelo, sería el conocimiento del valor de la intensidad lumínica y la temperatura para sustituir en la ecuación de Lantrip.

5.3 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL COMPONENTE DE CALIDAD

Una vez definidos los parámetros de calibración que tienen mayor sensibilidad además del ajuste manual de los valores de calidad para las descargas difusas, se inició el proceso de calibración del modelo seleccionado. Los parámetros con los menores efectos se dejaron fijos durante el proceso teniendo como base los valores reportados en la literatura científica.

La temperatura fue el primer parámetro de calidad del agua en ajustarse, y posteriormente se procedió con el ajuste de la DBO_5 , el OD, los SST y los CF. Con este ajuste manual preliminar de los parámetros de calibración, se realizaron las corridas del modelo. La calibración se efectuó comparando los resultados del modelo con los datos medidos en las estaciones sobre el cauce de la quebrada Buenavista.

A continuación se presentan los valores óptimos de los diferentes parámetros de calibración, además de los diferentes perfiles longitudinales para las variables temperatura, DBO₅, OD, SST, pH y CF.

Tabla 21. Calibración de las descargas difusas

Fuente Difusa		Localización entre la abscisa (m)		Caudal (m ³ /s)	Temp. Agua °C	SST (mg/l)	OD (mg/l O ₂)	DBO ₅ (mg/l O ₂)	pH (unidades)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)
Fuente Difusa 1	D1	0.00	4.00	0.1510	22.50	48.00	7.50	-	7.0	-
Fuente Difusa 2	D2	4.48	6.60	0.4600	22.50	84.50	6.50	2.50	7.0	-
Fuente Difusa 3	D3	7.48	20.48	0.3380	22.50	-	7.50	-	7.0	-

Tabla 22. Constantes cinéticas de reacción

Tramo	Abscisa (m)	Constante de reaireación (1/d)	Velocidad de sedimentación (m/d)	Tasa de Oxidación (1/d)	Constante de decaimiento de los coliformes	Velocidad de sedimentación de los coliformes
1	0-4290	25.00	-	-	-	-
2	4290-6660	3.80	-	-	95.8	95.8
3	6660-20480	28.00	12	17.5	40	5

Figura 11. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de Temperatura

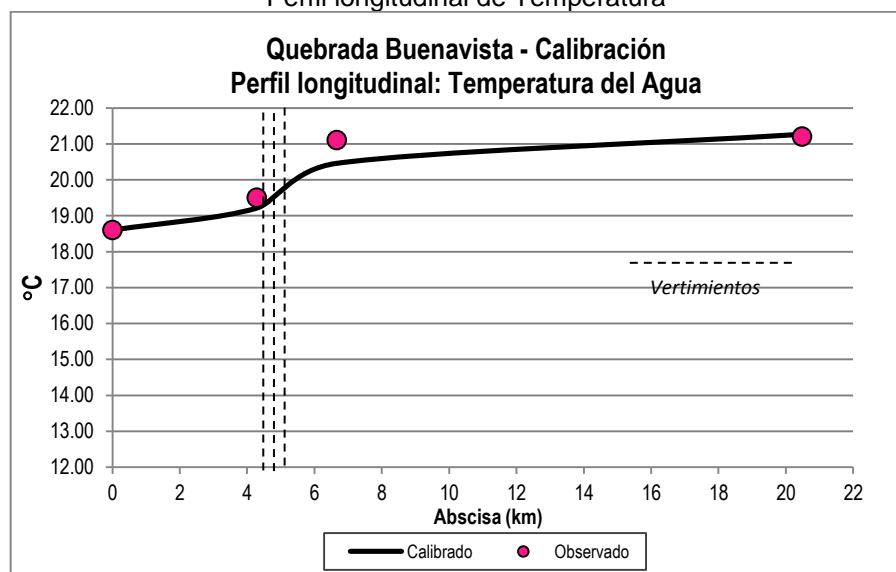


Figura 12. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de DBO_5

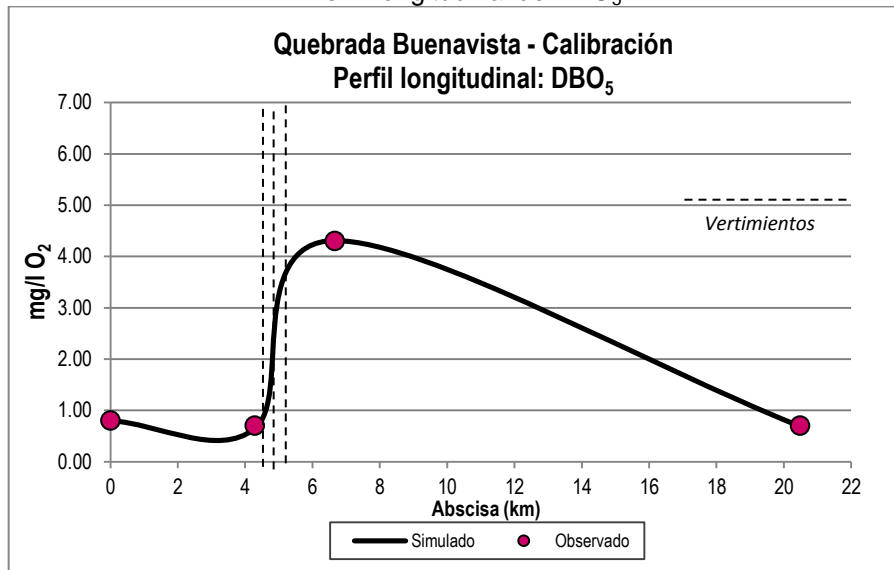


Figura 13. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de OD

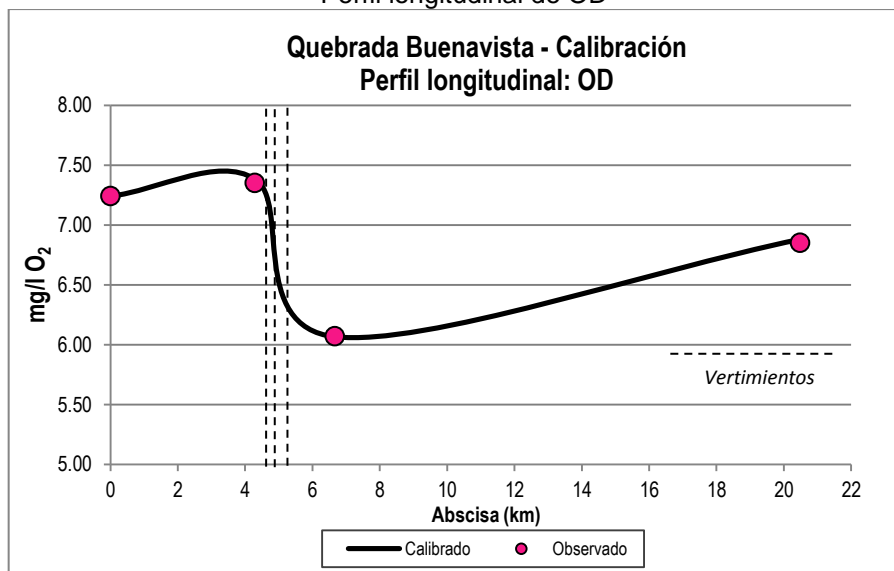


Figura 14. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de pH

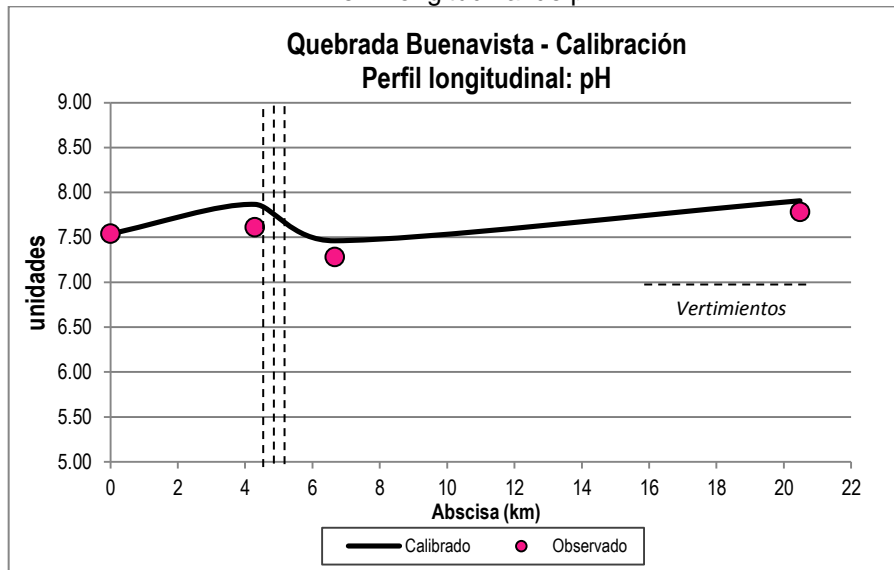


Figura 15. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de SST

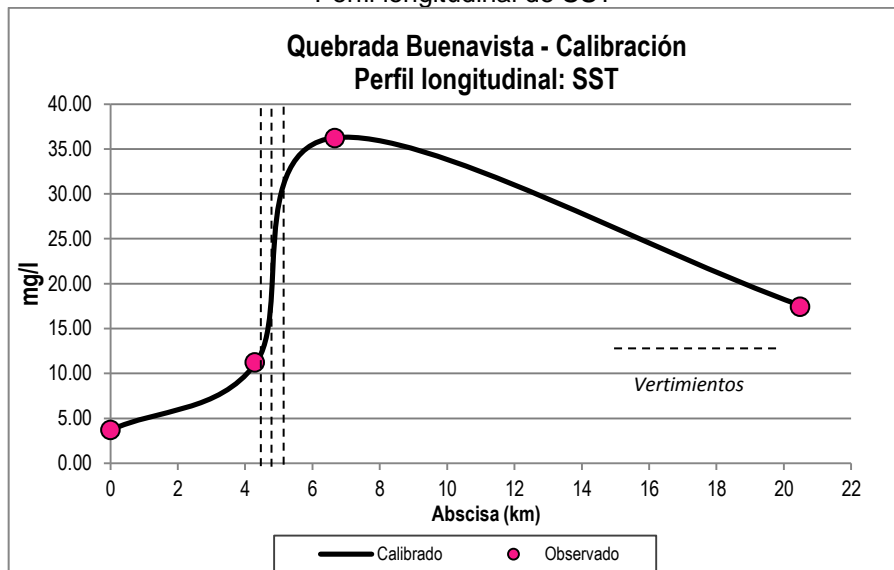
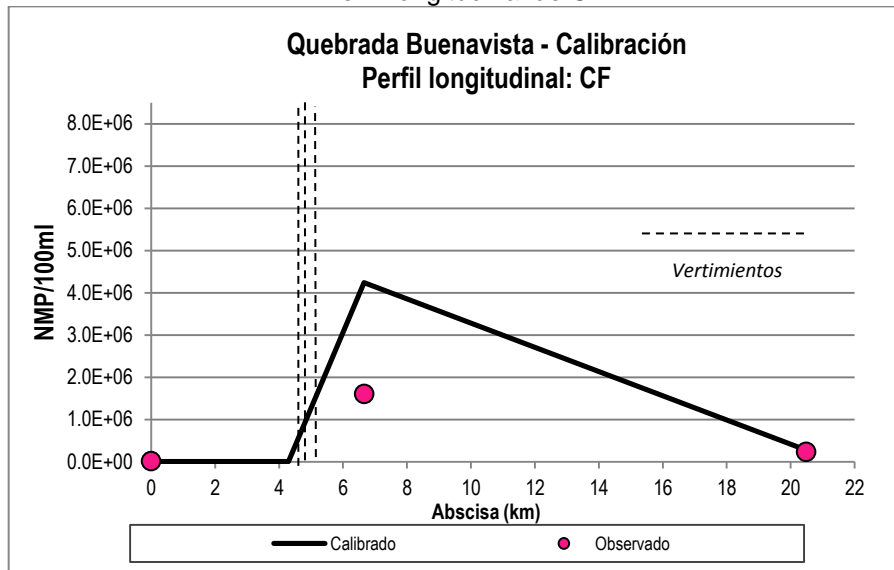


Figura 16. Modelo de calidad del agua – Quebrada Buenavista
Perfil longitudinal de CF



6. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

La validación o verificación del modelo de simulación, como su nombre lo indica, pretende certificar o garantizar que los resultados obtenidos de un modelo calibrado para una época específica, sirva para otras épocas cuando las condiciones sean similares. Con ello se pretende identificar un rango máximo o mínimo de los datos de calidad sobre cada punto monitoreado a partir de la información histórica. Para lo anterior, los diferentes modelos de calidad simulados para el año 2015 serán comparados con los valores obtenidos en las campañas de muestreo de los años 2010, 2013, 2014 y 2015 realizadas por la Corporación Autónoma Regional del Quindío sobre las mismas estaciones de estudio.

Figura 17. Validación del modelo de simulación: T y pH

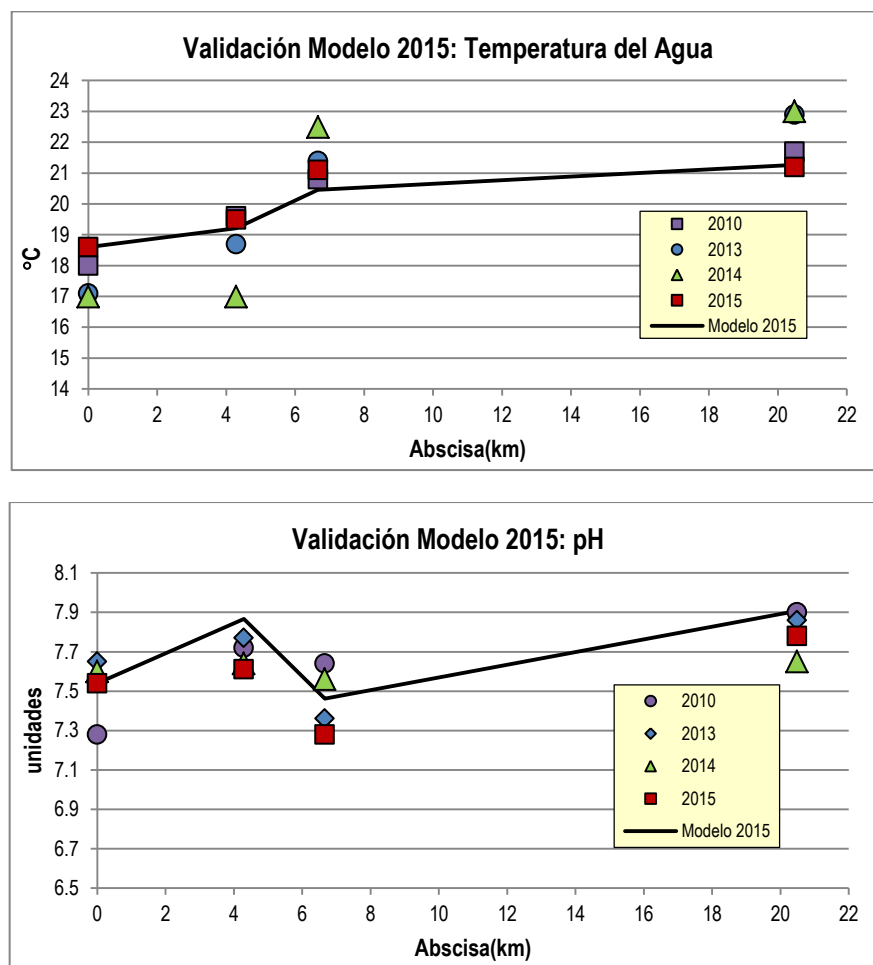


Figura 18. Validación del modelo de simulación: DBO, OD y CF

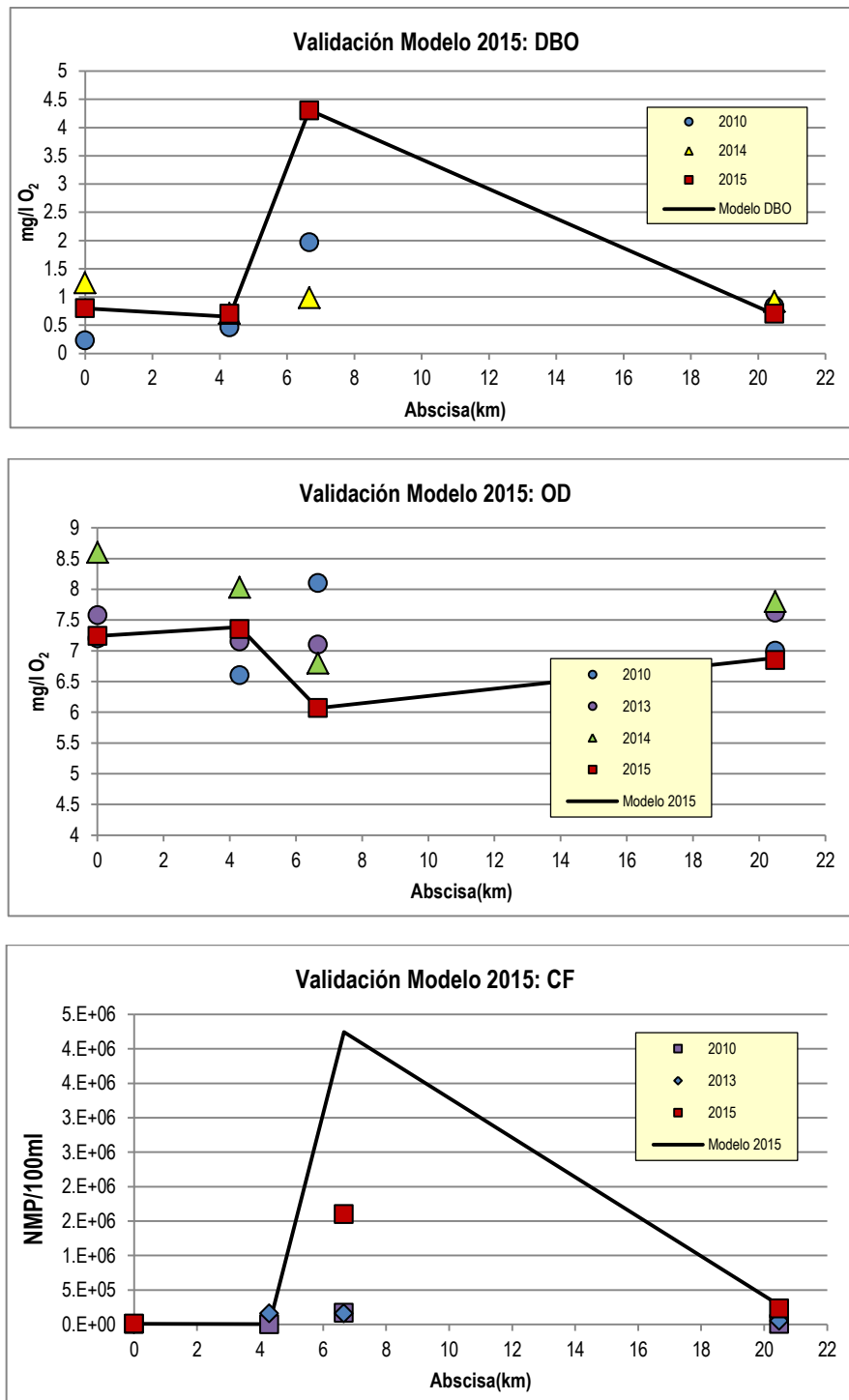
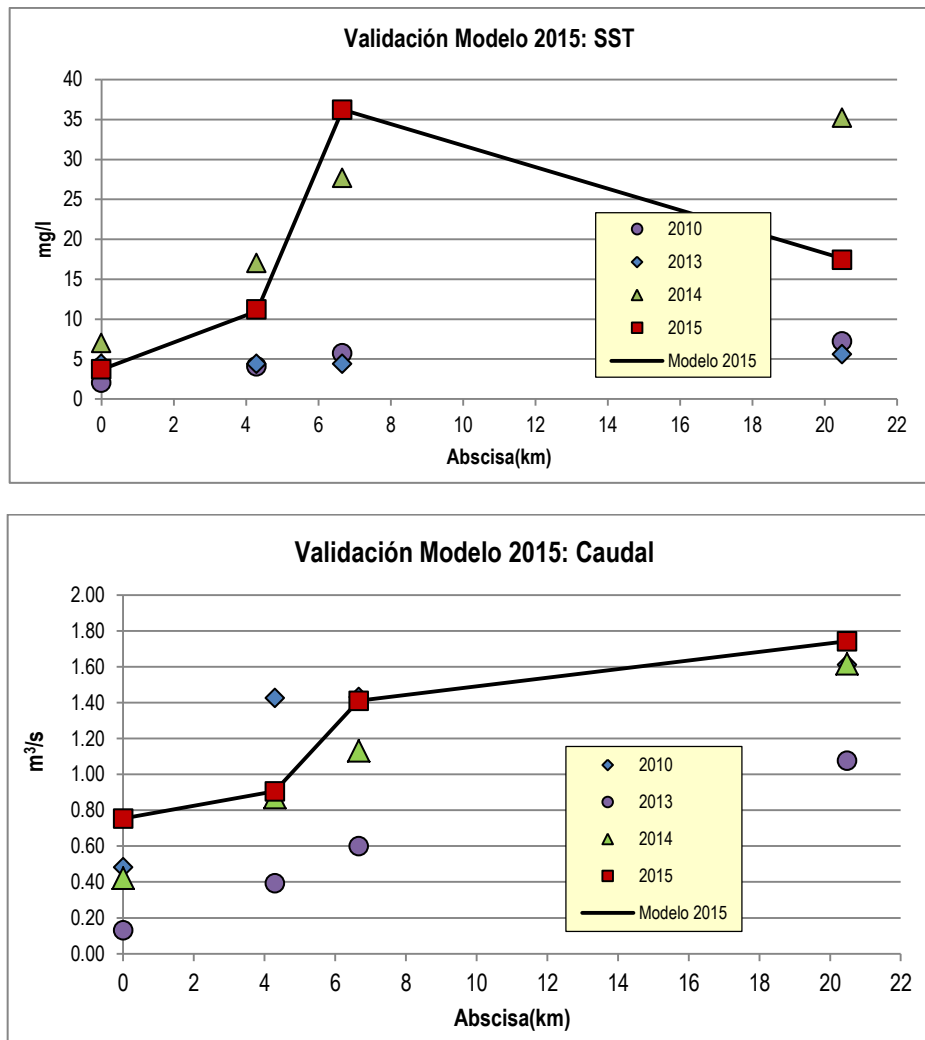


Figura 19. Validación del modelo de simulación: SST y Caudal



Gráficamente se puede observar que los diferentes modelos de calidad y cantidad calculados para el año 2015 poseen cierta similitud en cuanto a la variación entre tramos a lo largo del cauce principal y los obtenidos a través de los años; tendencias crecientes o decrecientes.

De acuerdo a lo anterior se presenta la siguiente tabla, los parámetros estadísticos medidos para cada una de las variables físicas y químicas en cada estación de muestreo, en ella se relaciona el coeficiente de variación respecto a la media de los valores obtenidos.

Tabla 23. Relación estadística entre los datos históricos observados y el modelo simulado para el año 2015

Parámetro calidad	Estación	2010	2013	2014	2015	Modelo simulado 2015	Media de los datos observados	Desv. Estándar	Coef. de Variación
Temperatura del Agua	QB1	18	17.1	17.0	18.6	18.60	17.860	0.780	4%
	QB2	19.6	18.7	17.0	19.5	19.21	18.803	1.067	6%
	QB3	20.8	21.4	22.5	21.1	20.46	21.252	0.781	4%
	QB4	21.7	22.9	23.0	21.2	21.27	22.014	0.877	4%
pH	QB1	7.28	7.65	7.6	7.54	7.54	7.522	0.143	2%
	QB2	7.72	7.77	7.64	7.61	7.87	7.721	0.103	1%
	QB3	7.64	7.36	7.56	7.28	7.46	7.460	0.146	2%
	QB4	7.9	7.86	7.65	7.78	7.91	7.819	0.107	1%
OD	QB1	7.2	7.58	8.6	7.24	7.24	7.572	0.595	8%
	QB2	6.6	7.2	8.0	7.35	7.38	7.303	0.514	7%
	QB3	8.1	7.1	6.8	6.07	6.07	6.827	0.844	12%
	QB4	7	7.6	7.8	6.85	6.88	7.230	0.446	6%
DBO ₅	QB1	0.23		1.25	0.8	0.80	0.770	0.418	54%
	QB2	0.46		0.71	0.7	0.65	0.630	0.116	18%
	QB3	1.97		0.99	4.3	4.31	2.892	1.679	58%
	QB4	0.84		0.92	0.7	0.69	0.788	0.111	14%
SST	QB1	2.04		7.0	3.7	3.70	4.110	2.080	51%
	QB2	4.06		17.0	11.2	11.00	10.815	5.294	49%
	QB3	5.7		27.7	36.2	36.25	26.463	14.414	54%
	QB4	7.2	5.6	35.2	17.4	17.59	16.599	11.800	71%
Caudal	QB1	0.48	0.131	0.421	0.75	0.75	0.508	0.261	51%
	QB2	1.43	0.393	0.871	0.91	0.91	0.900	0.365	41%
	QB3	1.43	0.600	1.131	1.41	1.41	1.197	0.356	30%
	QB4	1.61	1.076	1.616	1.74	1.74	1.558	0.277	18%

Los parámetros de calidad como la temperatura del agua, pH y Oxígeno Disuelto, poseen un coeficiente de variación bajo respecto a la media. Esto se relaciona con cierta similitud entre los parámetros a través de los años, lo que hace pensar que la calidad del agua en relación a estos varía poco en condiciones de caudales medios a bajos. Respecto a los demás parámetros (DBO, SST y Caudal), se tienen coeficientes de variación Altos, es decir, son más sensibles a las variaciones físico-químicas que alteren el comportamiento natural en la fuente hídrica.

Dado lo anterior, es necesario continuar con los muestreos sincronizados y reportes de caudal instantáneo, lo cual hace posible la verificación de cualquier modelo de simulación en una época específica. La información puede ser utilizada, como en el caso de la calibración del modelo, para mostrar tendencias del comportamiento de los parámetros de calidad o para tener una base estadística de ellos.

7. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PARA LA QUEBRADA BUENAVISTA

Los escenarios de saneamiento son representaciones hipotéticas del comportamiento de una sustancia contaminante en un cuerpo de agua, que ha sido modelada por medio de un programa de computador o técnicas matemáticas, y a la cual se le aplica un tratamiento que también es simulado por el programa o las técnicas matemáticas.

Una vez se ha ejecutado, calibrado y verificado el modelo de simulación, se procede a establecer escenarios con él para que así, sea utilizado como una herramienta de planificación. El modelo de simulación implementado para la quebrada Buenavista, de acuerdo a su calibración, tiene validez para niveles medios. Con esto, ya se tiene el modelo de simulación listo para la formulación de escenarios, tanto de contaminación como de saneamiento en la fuente hídrica.

Es así como se estima un porcentaje de tratamiento para cada una de las descargas puntuales que se han introducido previamente, para lo cual el modelo hará la presunción de que estas cargas tienen algún tipo de tratamiento y efectuará las operaciones respectivas con una disminución en la carga de DBO₅, SST y un aumento en la concentración de OD.

Las variables que se tomarán para el planteamiento de la mayoría de escenarios serán el OD, la DBO₅ y los SST como principales indicadores de la contaminación de las aguas.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los escenarios de saneamiento propuestos.

7.1 Escenario 1: Reducción de hasta un 60% de los niveles de SST y DBO en los vertimientos de aguas residuales; quebradas Carmelita, Calle 14 y Calle 18. Reducción de un 99% de los CF en los vertimientos.

Se proponen reducciones del 60% en los vertimientos analizados dentro del estudio de modelación para la quebrada Buenavista. Con ello se pretende evidenciar el comportamiento de la quebrada si se llegara a implantar algún sistema de tratamiento que lograra reducir estos niveles de contaminación.

Tabla 24. Escenario 1

	Sin Remoción (reportado el día del muestreo)		60% Remoción	
	DBO	SST	DBO	SST
Quebrada Carmelita	114.00	69.7	45.6	27.88
Quebrada Calle 14	137	68.5	54.8	27.4
Quebrada Calle 18	76.6	35.6	30.64	14.24

7.2 Escenario 2: Reducción de hasta un 80% de los niveles de SST y DBO en los vertimientos de aguas residuales; quebradas Carmelita, Calle 14 y Calle 18. Reducción de un 99% de los CF en los tributarios y vertimientos.

Se proponen reducciones del 80% en los vertimientos analizados dentro del estudio de modelación para la quebrada Buenavista. Con ello se pretende evidenciar el comportamiento de la quebrada si se llegara a implantar algún sistema de tratamiento que lograra reducir estos niveles de contaminación.

Tabla 25. Escenario 2

	Sin Remoción (reportado el día del muestreo)		80% Remoción	
	DBO	SST	DBO	SST
Quebrada Carmelita	114.00	69.7	22.8	13.94
Quebrada Calle 14	137	68.5	27.4	13.7
Quebrada Calle 18	76.6	35.6	15.32	7.12

7.3 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Figura 20. Resultados de la aplicación de los escenarios de saneamiento: DBO y OD

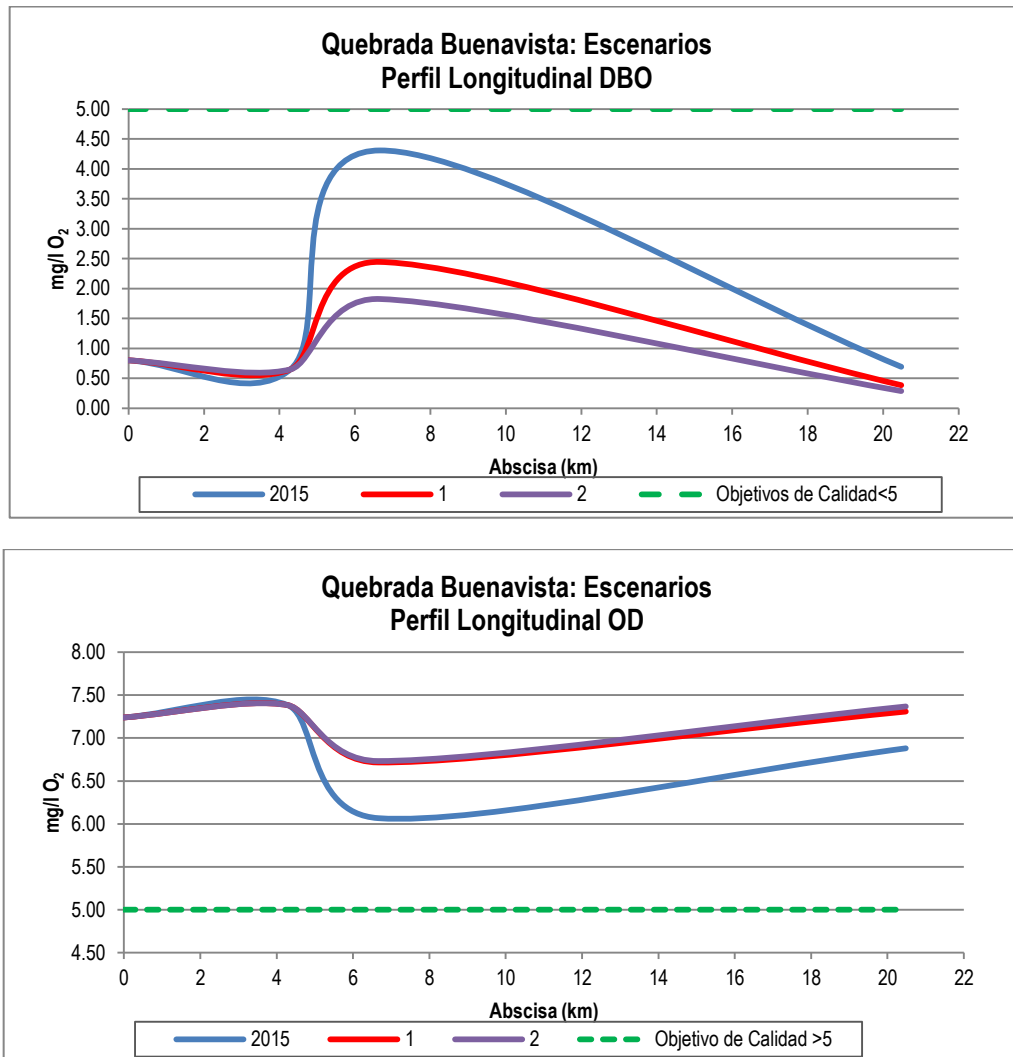


Figura 21. Resultados de la aplicación de los escenarios de saneamiento: pH y SST

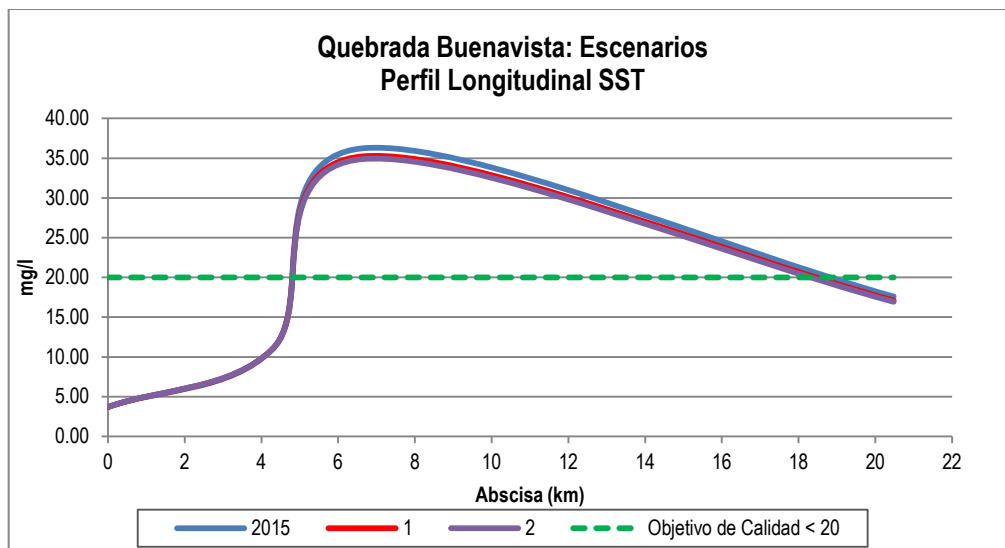
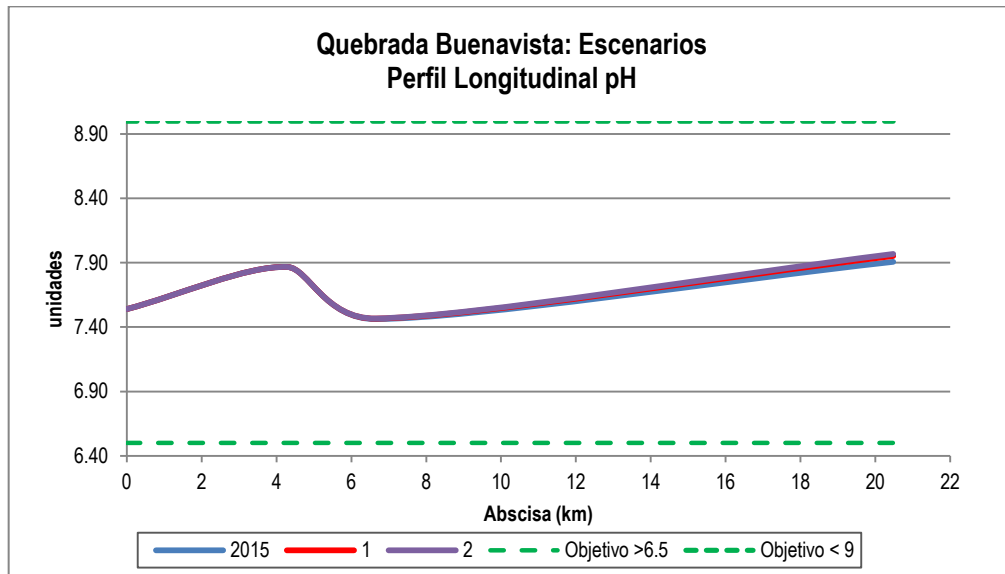
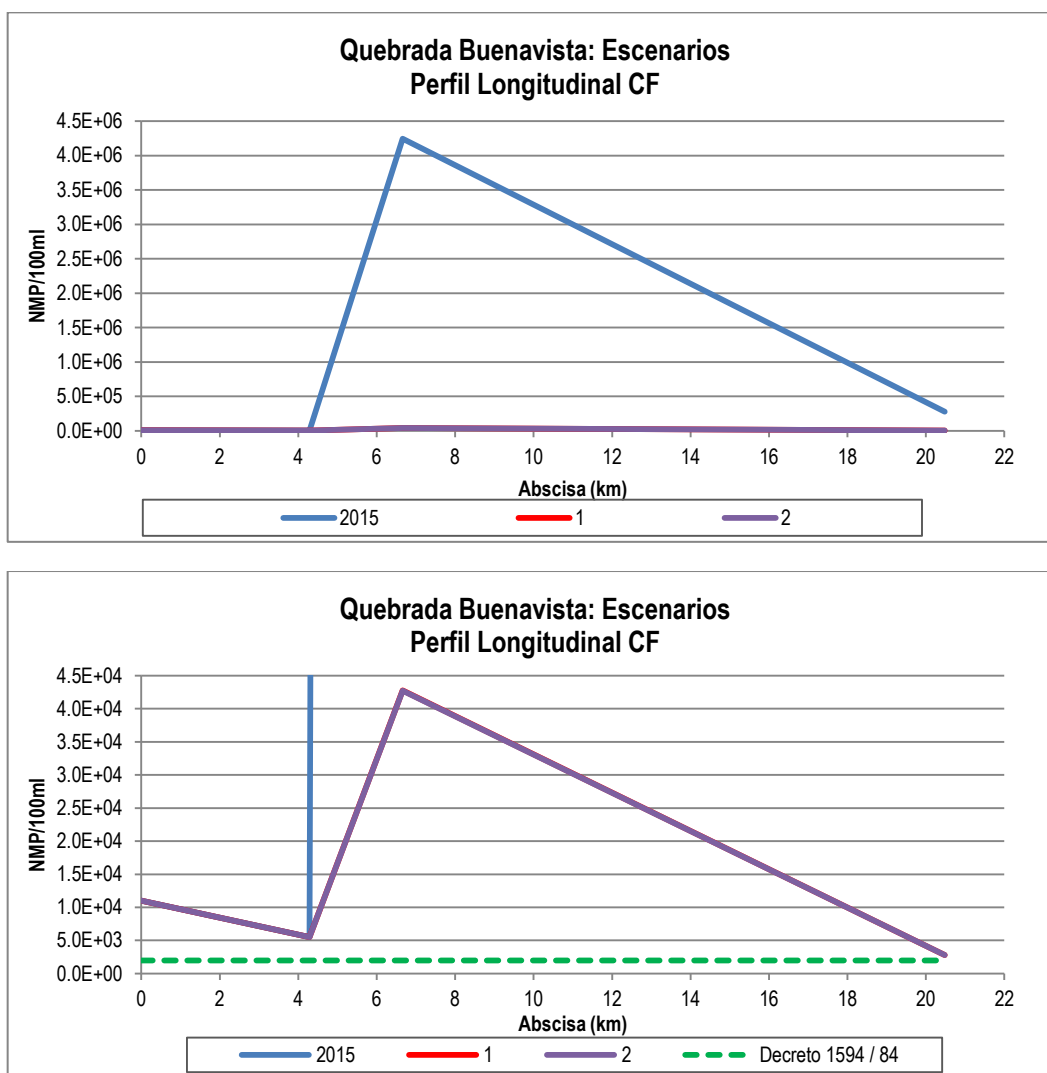


Figura 22. Resultados de la aplicación de los escenarios de saneamiento: CF



7.4 OBSERVACIONES DE LOS RESULTADOS

7.4.1 DBO₅

a) **Cumplimiento Objetivos de Calidad CRQ.** Como se observa en la gráfica, se cumplen los objetivos de calidad menor a 5 mg/l O₂ en todo el tramo de la quebrada Buenavista.

b) **Escenarios de saneamiento.** La reducción del 80% en los niveles de este parámetro, evidencia un descenso del 58.2% entre la condición actual y la obtenida en el escenario 2.

Tabla 26. Porcentaje de reducción de la DBO: Escenario 2

Abscisa (km)	Condición año 2015 (mg/IO ₂)	Escenario 2 (mg/IO ₂)	% de Reducción
0	0.80	0.80	0.0%
4.29	0.65	0.65	0.0%
6.66	4.31	1.83	57.6%
20.48	0.69	0.29	58.7%

7.4.2 SST

a) Cumplimiento Objetivos de Calidad CRQ. Como se observa en la gráfica, no se cumplen los objetivos de calidad menores a 20mg/l la cuenca media de la quebrada Buenavista, estación Puente.

b) Escenarios de saneamiento. La reducción del 80% en los niveles de este parámetro, evidencia una reducción del 3.7% entre el promedio de valores de la condición actual y la obtenida en el escenario 2, por lo cual no se estaría cumpliendo con los objetivos de calidad propuestos.

Tabla 27. Porcentaje de reducción de los SST: Escenario 2

Abscisa (km)	Condición año 2015 (mg/l)	Escenario 2 (mg/l)	% de Reducción
0	3.70	3.70	0.0%
4.29	11.00	11.00	0.0%
6.66	36.25	34.90	3.7%
20.48	17.59	16.94	3.7%

7.4.3 OD

a) Cumplimiento Objetivos de Calidad CRQ. Como se observa en la gráfica, se cumplen los objetivos de calidad mayor a 5mg/l O₂ en todo el tramo de la quebrada Buenavista.

b) Escenarios de saneamiento. No se aprecia aumento significativo de este parámetro con la aplicación de los escenarios de saneamiento propuestos. Para el escenario 2 se tiene en promedio un aumento del 8.3%.

Tabla 28. Porcentaje de aumento del OD: Escenario 2

Abscisa (km)	Condición año 2015 (mg/IO ₂)	Escenario 2 (mg/IO ₂)	% de Aumento
0	7.24	7.24	0.0%

Abscisa (km)	Condición año 2015 (mg/IO ₂)	Escenario 2 (mg/IO ₂)	% de Aumento
4.29	7.38	7.38	0.0%
6.66	6.07	6.73	9.9%
20.48	6.88	7.37	6.6%

7.4.4 pH

a) Cumplimiento Objetivos de Calidad CRQ. Como se observa en la gráfica, se cumplen los objetivos de calidad entre 6.5 a 9 unidades en todo el tramo de la quebrada Buenavista.

b) Escenarios de saneamiento. No se aprecia aumento significativo de este parámetro con la aplicación de los escenarios de saneamiento propuestos. Estos se mantienen entre 7.54 y 7.97 unidades.

7.4.5 CF

No se aprecia aumento significativo de este parámetro con la aplicación de los escenarios de saneamiento propuestos. El valor de los Coliformes Fecales obtenidos el día del muestreo para la estación Bocatoma ESAQUIN (11000 NMP/100ml), se encuentran por encima del mínimo requerido para la destinación del recurso para consumo humano y otros usos, establecido en el Decreto 1594 de 1984 (<2000 NMP/100ml). Luego de la bocatoma administrada por la empresa ESAQUIN, no existen aprovechamientos que tomen agua directamente del cauce principal de la quebrada Buenavista. No obstante, se plantea a continuación remociones del 99% de los CF para cada uno de los vertimientos tenidos en cuenta dentro del presente estudio con el fin de evidenciar su comportamiento a través de la quebrada, dentro cada escenario de saneamiento planteado anteriormente.

Tabla 29. Porcentaje de reducción de los CF: Escenario 2

Abscisa (km)	Condición año 2015 (NMP/100ml)	Escenario 2 (NMP/100ml)	% de Reducción
0	1.10E+04	1.10E+04	0%
4.29	5.52E+03	5.52E+03	0%
6.66	4.24E+06	4.28E+04	99%
20.48	2.79E+05	2.81E+03	99%

8. CONCLUSIONES

- En términos generales, el modelo de calidad del agua de la quebrada Buenavista reproduce en forma aceptable los valores de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y Temperatura en las diferentes estaciones ubicadas a lo largo de la corriente. Se contó con una campaña de monitoreo con propósitos de calibración en cuatro (4) estaciones sobre el cauce principal.
- La calidad del agua en la quebrada Buenavista registrada el día 27 de Noviembre de 2015, cumple con los Objetivos de Calidad propuestos por la Corporación Autónoma Regional del Quindío en su Resolución No. 1035 de Noviembre de 2008, para los parámetros de calidad: DBO, OD y pH.
- Según los escenarios de saneamiento planteados, se observa que de haber una remoción del 80% de los parámetros de calidad de la DBO y SST, para las quebradas Carmelita, Calle 14 y Calle 18, aumentaría los niveles de calidad en la quebrada Buenavista en un 58.2% para la DBO. En relación con los SST, estos sólo se reducirían un 3.7%, por lo cual se presume que los vertimientos identificados en la modelación no revelan un incremento considerable de este parámetro en la fuente hídrica.
- En general, se presenta para el año 2015 un mayor deterioro de la fuente hídrica en relación al año 2014 sobre el punto de mayor impacto “estación Puente” de los parámetros de calidad como la DBO, OD y SST.

9. BIBLIOGRAFIA

- Adela L.; Gloria G.(2010). Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Universidad Nacional de Colombia.
- Chapra, S. (1997). Surface water-quality modeling. The McGraw Hill Inc. NY
- CRQ, CARDER, CVC, UAESPNN, IDEAM, GTZ. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja- Resumen documento plan 2008-2019.
- CRQ, (2010, 2013 y 2014). Modelación de la calidad del agua en la quebrada Buenavista.
- CRQ, CARDER, CVC, Universidades del Valle, Tecnológica de Pereira y del Quindío, Definición línea base, Ordenación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río la Vieja Mediante el Desarrollo de una Metodología con Criterios de Eficiencia Económica e Implementación de Herramientas de Apoyo a la Decisión, 2011.
- DANE (2009a). COLOMBIA: Proyecciones de población municipales por área 2005-2009. (<http://www.dane.gov.co>.)
- Ven Te Chow. Hidrología Aplicada: Bogotá, McGraw-Hill, 1988.