

Modelación Ambiental del vertimiento generado por una fundación a la quebrada

Santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca

Carlos Andrés Contreras Rojas

Proyecto aplicado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Jessica Paola Páez Pedraza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2020

RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO

RAE

Información General
Título del texto
Modelación Ambiental del vertimiento generado por una fundación a la quebrada Santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca
Nombres y Apellidos del Autor
Carlos Andrés Contreras Rojas
Año de la publicación
2020
Resumen del texto:
<p>La modelación ambiental es una herramienta de planeación del recurso hídrico, así como de generación de soluciones ambientales en el marco de las condiciones propias de los cuerpos de agua receptores de vertimientos. La quebrada Santa Clara es una fuente hídrica de alta montaña, con condiciones particulares (constantes cinéticas, condiciones hidráulicas, alturas, pendientes y condiciones de frontera) que permiten interpretar y simular los escenarios de evaluación acorde a las condiciones medias y críticas en el cuerpo de agua.</p>

Dado que la quebrada santa clara es utilizada para uso doméstico y de consumo, evaluar la capacidad de asimilación de contaminantes del cuerpo de agua permite entender las dinámicas presentes en el cuerpo de agua, así como la distribución y uso del agua por parte de los usuarios del recurso.

En el presente documento se simulan las condiciones actuales de la fuente con base a la recolección y uso de información primaria y secundaria disponible, de igual forma se realiza la calibración del modelo de forma que permita establecer la confiabilidad de las simulaciones, en el documento se calibra y utiliza un modelo de calidad qual2kw para el vertimiento generado por un centro educativo denominado Nuestra Señora de la Esperanza, se plantean escenarios y se comparan los mismos, interpretando los cambios surgidos a partir de cambios simulados en el modelo de calidad generado.

Para ello se procede a realizar acorde a la metodología generada, la recolección de información, la alimentación del modelo ambiental y el análisis de resultados obtenidos a partir de la generación de escenarios de evaluación en la fuente hídrica.

Los objetivos del presente documento son el desarrollo de un modelo de calidad mediante el uso del programa qual2kw, simulando los escenarios requeridos para la adecuada comprensión de los impactos generados.

Como resultado, se obtuvieron los escenarios de evaluación en los cuales se simulan cambios en la dinámica del vertimiento, de forma que se comprenda las posibles afectaciones al medio vinculadas con un inadecuado vertimiento.

Palabras Claves
Aguas Residuales, simulación, Contaminantes, Impacto Ambiental
Descripción del problema
<p>La quebrada santa clara, es afluente de la quebrada la Honda, principal suministro de recurso hídrico para municipios como Tena, La Mesa, Anapoima, su conservación y adecuado uso permite la distribución del recurso disponible a los usuarios aguas abajo del proyecto, siendo necesario para ello establecer el punto en el cual la quebrada pierde su capacidad de asimilación y los vertimientos generados ocasionan deterioro en la calidad de la fuente hídrica receptora o problemáticas ambientales y sociales asociadas al inadecuado manejo de las aguas residuales en el área de evaluación.</p> <p>Se cuenta con un vertimiento activo correspondiente al centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza, y una reducción en el caudal de la fuente asociado a la existencia de captaciones no legales aguas arriba del tramo objeto de simulación, por lo cual el recurso se encuentra limitado y en condiciones de calidad por definir en las caracterizaciones ambientales a realizar en el marco del desarrollo del presente documento.</p>

Objetivos
<p data-bbox="699 262 922 296" style="text-align: center;">Objetivo General</p> <p data-bbox="237 352 1377 604">Desarrollar un modelo de calidad del agua qual2kw de un vertimiento de tipo residual doméstico proveniente de actividades pecuarias y de alojamiento procedentes de una fundación de niños que vierte a la quebrada santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca.</p> <p data-bbox="672 661 950 695" style="text-align: center;">Objetivos específicos</p> <ul data-bbox="285 825 1377 1083" style="list-style-type: none">• Realizar la modelación ambiental del vertimiento en la quebrada Santa Clara.• Simular escenarios de evaluación que permitan interpretar los impactos probables a generar por parte de las actividades desarrolladas en el predio.• Determinar los ICAs e ICos en los puntos de control de la quebrada Santa Clara.
Metodología
<p data-bbox="237 1295 1289 1402">Para el desarrollo del proyecto aplicado se utiliza metodología de investigación científica de tipo mixta, cualitativa - cuantitativa.</p> <p data-bbox="237 1472 1321 1579">Para el desarrollo del proyecto se establece en la metodología los pasos aplicables acorde a las necesidades del proyecto, los mismo son:</p> <p data-bbox="237 1644 1321 1751">Paso1. Búsqueda de información primaria, visitas de campo y realización de pruebas requeridas.</p>

Paso 2. Obtención de la información de campo realizada por el laboratorio Hidrolab LTDA.

Paso 3. Obtención de la información de campo realizada por la empresa Umwelt Colombia SAS

Paso 4. Generación plan de monitoreo

Paso 5. Análisis de datos e implementación del modelo

Paso 6. Selección del modelo

Paso 7. Incorporación de información al modelo

Paso 8. Calibración del modelo.

Paso 9. Calculo de ICAs e ICOs

Paso 10. Generación de resultados.

Principales Referentes Teóricos y Conceptuales

Como referentes teóricos se tiene en cuenta los principales referentes de investigación en modelación ambiental desarrollados con el modelo qual2kw, por ello, se tiene en cuenta a los autores responsables de la creación y formulación del modelo planteado para el desarrollo del documento, se centra en la descripción de la temática vinculada a la formulación de modelos ambientales de calidad del agua.

Entre ellos, los principales referentes teóricos incluyen los índices de calidad y el modelo qual2kw.

Como referentes conceptuales se reseñan los términos requeridos para el entendimiento del modelo generado, así como para la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de formulación y evaluación ambiental del vertimiento generado por el centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza.

Resultados y Conclusiones:

se observa recuperación del cuerpo de agua en las simulaciones propuestas a excepción del escenario 3 consistente en evaluación de ingreso de vertimiento sin tratamiento al cuerpo de agua en época crítica de estiaje, en dicho escenario se observa reducción crítica del determinante oxígeno disuelto, aumento en los procesos de nitrificación y aumento de fosforo total en el cuerpo de agua, lo que generaría alta probabilidad de inicio de eutrofización en la fuente.

Para la selección de determinantes se tiene en cuenta los diagnósticos iniciales

realizados en el predio generador de vertimiento, estableciendo el tipo de residuo generado como agua residual de origen residencial o doméstico se seleccionan aquellos determinantes causantes o generadores de procesos de eutrofización por carga orgánica y se priorizan aquellos cuya concentración significativa genera problemáticas en el cuerpo de agua receptor.

El cuerpo de agua cuenta con la capacidad de asimilación de los determinantes evaluados, incluyendo los escenarios críticos de evaluación, se observa recuperación del cuerpo de agua por debajo de las concentraciones fijadas como objetivo de calidad por parte de la corporación autónoma regional.

Bibliografía:

Pelletier, G. J., Chapra, S. C. (2003). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and User's Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 2003.

Pelletier, G.j. Chapra, S. (2004). QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1). A modeling framework for emulating river and stream water quality. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 104 pp. 2004.

Pelletier, G. J., Chapra, S., TAO, H. (2005). QUAL2Kw - A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. Environmental Modelling & Software. Vol. 21, 419 -425, 2005.

Ramírez, A. y Restrepo, R., Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación, Ciencia Tecnología y Futuro, 135 - 153.

Agradecimientos

En mi vida, más que unos títulos, he querido siempre crear mis competencias y ayudar a los demás con base a mis propios procesos de conocimiento, agradezco a este proyecto, pues ha permitido mi desarrollo personal. Entender las fuentes hídricas ha motivado mi crecimiento desde edad muy temprana, los ríos tienen un efecto especial en mí, efecto que aún desconozco y admiro, las fuentes hídricas son las venas de la madre tierra, por ellas corre vida en formas aún desconocidas o poco entendidas, por ende, como no agradecer al Agua, a la vida y a la magia que se observa y escucha al lado de una fuente hídrica como responsables de mi admiración hacía la ingeniería natural responsable del orden ambiental existente.

Hace mucho tiempo mi familia me enseñó una lección; Independiente de quien seas has las cosas con pasión, apasionate de tu creación y serás libre, no hay nada más real en un mundo necesitado de amor, como no agradecer a aquellos cuya luz ilumino mis profundas oscuridades, mis hermanos, mi madre, mi padre, mis abuelos, mi pareja, son responsables de poner un grano de arena en el desierto de mis emociones y hacer de mi realidad una hermosa libertad, Gracias.

Y por último, un agradecimiento especial a mi directora de proyecto, cuya colaboración ha permitido la implementación del proyecto aplicado en una fuente de alta montaña como la quebrada Santa Clara.

Resumen

La quebrada Santa Clara se encuentra ubicada en municipio de Tena, departamento de Cundinamarca, se encuentra ubicada en inmediaciones a la vía que del municipio de Mosquera conduce al municipio de Girardot, se evidencia intervención antrópica en el área de influencia directa, representada por proyectos de ampliación vial comprendida por la ampliación actual del corredor vial.

La actividad generadora de vertimiento es una fundación de niños, las actividades planteadas o realizadas en el predio son las que corresponden a la cocción y preparación general de alimentos, lavado de menaje resultante, servicios sanitarios, servicios educativos, alojamiento de niños, sacrificio de aves, desprese y venta de carne, cultivos de café, lavado de café, actividades de granja.

La Fundación se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, 35 kilómetros al sur de Bogotá D.C., capital colombiana, en la margen derecha del km 32.5 de la vía que de Mosquera conduce a la Mesa Cundinamarca, en el municipio de Tena.

el programa Qual2kw busca entender la asimilación de los contaminantes seleccionados (aportes de carga orgánica) por parte de un cuerpo de agua receptor, de esta manera y acorde a la calibración del modelo generado, se establecen las constantes cinéticas que representen de mejor forma las condiciones actuales en el cuerpo de agua, permitiendo evaluar escenarios prospectivos.

Palabras claves: *Modelación, Vertimiento, Calidad, determinante.*

Abstract

Through a quality model in the Qal2kw program, it is sought to understand the assimilation of the selected determinants (contributions of organic load) by a receiving water body, in this way and according to a validation of the generated model, the Kinetic constants that better represent the current conditions in the body of water, allowing to evaluate scenarios of theoretical contamination, projecting assimilation and saturation of the source before incorporation of spills in the Santa Clara stream.

The Santa Clara gorge is located in the municipality of Tena, department of Cundinamarca, is located in the immediate vicinity of the road that the municipality of Mosquera leads to the municipality of Girardot, anthropic intervention is evidenced in the area of direct influence, represented by projects of road extension covered by the current extension of the road corridor.

The activity that generates dumping, is a foundation for children, the activities proposed or carried out on the site are those corresponding to the cooking and general preparation of food, washing of the resulting utensils, sanitary services, educational services, accommodation of children, sacrifice of poultry, express and sale of meat, coffee crops, coffee roasting, coffee washing, farm activities.

The Foundation is located in the department of Cundinamarca, 35 kilometers south of Bogotá D.C., Colombian capital, on the right margin of km 32.5 of the road that de Mosquera leads to Mesa Cundinamarca, in the municipality of Tena.

Keywords: Modeling, Shedding, Quality, Determinant.

Tabla de contenido

Agradecimientos	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Tabla de figuras.....	xvi
Lista de tablas	xix
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	1
3. Justificación	2
4. Objetivos	4
4.1 Objetivo general	4
4.2 Objetivos específicos	4
5. Marco teórico	5
5.1 Generalidades de la Modelación de Vertimientos	5
5.1.2 Guía Nacional de Modelación.....	7
5.1.3 Modelación Matemática.....	8
5.1.4 Modelo Qual2kw	15
5.1.5 Índices de Calidad del agua	21
5.1.6 Normatividad.....	23
6. Descripción del problema.....	26

6.1 Antecedentes del Problema	27
6.2. Identificación de la organización responsable de la generación del vertimiento.	30
7. Metodología	34
8. Resultados.....	44
8.1. Aspectos generales del modelo	44
8.2. Recopilación de información existente	44
8.3 Recolección información secundaria Umwelt Colombia SAS, CIMA e Hidrolab SAS	45
8.4 Reconocimiento de Campo.....	46
8.4.1 Identificación fuente hídrica receptora	48
8.4.2 Perfil de la quebrada santa clara en el tramo evaluado.....	49
8.4.3 Pendientes y alturas de la quebrada santa clara.....	49
8.4.4 Cobertura vegetal asociada a la quebrada santa clara	52
8.4.5 Descripción del material del lecho Quebrada Santa Clara	53
8.4.6 Estado actual de la Quebrada Santa Clara.....	53
8.4.7. Ensayos de trazadores.....	60
8.5. Generación del plan de Monitoreo	68
8.6. Datos de entrada al modelo qual2kw	71
8.6.1. Determinación de las constantes empleadas.....	78
8.7. Calibración modelo.....	82
8.8. Simulación de Escenarios	88

8.8.1.	Vertimiento sin tratamiento (sin variación de caudal en la fuente receptora) ...	89
8.8.2.	Vertimiento sin tratamiento con uso de caudal mínimo en la fuente receptora.	93
8.8.3.	Caudal mínimo en la fuente receptora con vertimiento actual	96
9.	Análisis de escenarios.....	98
2.	Vertimiento sin tratamiento (sin variación de caudal en la fuente receptora)	107
3.	Vertimiento sin tratamiento con uso de caudal mínimo en la fuente receptora.	108
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
11.	Bibliografía.....	113
12.	Anexos	127

Tabla de figuras

Figura 1 Perfil de concentración Oxígeno Disuelto en su interfaz agua - aire,.....	14
Figura 2. Esquema de modelación,.....	16
Figura 3. Esquema General del Qual2kw.	19
Figura 4. Localización Centro de Formación Nuestra Señora de la Esperanza.	29
Figura 5. Laboratorio de café	
Figura 6. Centro de beneficio animal.....	32
Figura 7. Siembra de alimentos	
Figura 8. Siembra de Plántulas.	32
Figura 9. Aulas Centro de Formación	
Figura 10. Centros de Alojamiento	32
Figura 11. Levante y engorde de gallinas	
Figura 12. Interior Centros de alojamiento	33
Figura 13. Cría de conejos	
Figura 14. Cría de conejos	33
Figura 15. Esquema General de Modelación	38
Figura 16. Estaciones IDEAM en el área de influencia.	45
Figura 17. Quebrada Santa Clara	
Figura 18. Quebrada Santa Clara	48
Figura 19. Perfil de la Quebrada.	49
Figura 20. Mapa de Pendientes	
Figura 21. Mapa de alturas Quebrada Santa Clara.....	51

Figura 22. Topo Batimetría Qda. Santa Clara Fuente: RFS Topografía.....	51
Figura 23. Mapa de Cobertura Vegetal	52
Figura 24. Residuos sólidos cerca al vertimiento	
Figura 25. Residuos sólidos Quebrada.....	54
Figura 26. Quebrada Santa Clara, Aguas Arriba, 2019.....	54
Figura 27. Quebrada Santa Clara, Punto Intermedio del tramo, 2019.....	55
Figura 28. Calibración trazadores	60
Figura 29. Calibración Hach HQ40D	62
Figura 30. Calibración Apera Cond.....	62
Figura 31. Medición de longitud.	
Figura 32. Identificación de Tributarios.....	63
Figura 33. Trazador 1 Quebrada Santa Clara	64
Figura 34. Trazador 2 Quebrada Santa Clara	64
Figura 35. SSG Trazador 1	
Figura 36. SSG Trazador 2	67
Figura 37. Tiempos de Viaje	67
Figura 38. Medición de caudal	
Figura 39. Toma de muestras	
Figura 40. Toma de muestra.....	69
Figura 41. Medición de caudal	
Figura 42. Toma de muestras	
Figura 43. Medición in situ	69

Figura 44. Medición in situ	
Figura 45. Toma de muestras	
Figura 46. Toma de muestras	70
Figura 47. Toma de muestras	
Figura 48. Medición del vertimiento	
Figura 49. Medición del caudal	70
Figura 50. Localización puntos a ingresar al modelo Qual2kw	71
Figura 51. Hoja Qual2k	74
Figura 52. Hoja 2 - Headwater.....	76
Figura 53. Hoja Temperatura del aire.	77
Figura 54. Hoja Punto de Rocío.....	78
Figura 55. calibración de prueba	
Figura 56. Selección de la calibración final	83
Figura 57. Caudal	84
Figura 58. Profundidad.....	84
Figura 59. Temperatura	85
Figura 60. Oxígeno disuelto	85
Figura 61. DBO lenta	86
Figura 62. Nitrógeno orgánico.....	86
Figura 63. DBO rápida	87
Figura 64. Conductividad	87
Figura 65. Resultados segundo escenario.....	91
Figura 66. Resultados tercer escenario.....	95
Figura 67. Resultados cuarto escenario.....	97

Figura 68. Conductividad escenario 1,2,3 y 4.....	98
Figura 69. pH escenario 1,2,3 y 4	99
Figura 70. Oxígeno disuelto escenario 1,2,3 y 4	100
Figura 71. DBO lenta escenario 1,2,3 y 4.....	102
Figura 72. DBO rápida escenario 1,2,3 y 4.....	102
Figura 73. Nitrógeno Orgánico escenario 1,2,3 y 4	104
Figura 74. Nitrógeno amoniacal escenario 1,2,3 y 4	104
Figura 75. Nitrato escenario 1,2,3 y 4.....	105

Lista de tablas

Tabla 1 Actividades y su clasificación.....	30
Tabla 2. Información de las estaciones meteorológicas en el área de influencia.	44
Tabla 3 Pendientes.....	50
Tabla 4 Calibración equipos.....	61
Tabla 5. Plan de monitoreo	68
Tabla 6 Coordenadas Topobatimetría	72
Tabla 7. Constantes cinéticas para Calibración	79
Tabla 8 Escenarios de Simulación.....	107

Introducción

Las fuentes hídricas son importantes en el desarrollo de la vida tal cual la conocemos, su inadecuado uso y aprovechamiento genera problemáticas sociales vinculadas a la contaminación y al acaparamiento del recurso por parte de grandes empresas o monopolios que convierten el agua en propiedad privada, así como problemáticas asociadas a la obtención de los permisos ambientales requeridos toda vez la obtención se limita a la capacidad de entrega de estudios ambientales costosos o a la disponibilidad económica para el pago de tasas o beneficios gubernamentales.

En el marco de las problemáticas asociadas a la obtención de permisos ambientales, el permiso de vertimientos establece obligaciones sin discriminación de complejidad, caudal o rangos de contaminación, estableciendo los mismos requerimientos para empresas grandes como para fundaciones o proyectos con bajo flujo financiero.

En el ámbito de aplicación de la nueva guía nacional de modelación se establece la obligatoriedad de un análisis de sensibilidad robusto, la inclusión obligatoria de modelos hidrológicos, modelos hidráulicos, así como trazadores e hidrobiología de la fuente receptora.

En el desarrollo del proyecto aplicado, se buscó el modelo ambiental adecuado para el análisis del vertimiento realizado, generando una herramienta de gestión que permite la visualización de impactos proyectados, así como mejoras en los sistemas de tratamiento de agua residual domestica generada por el vertimiento modelado.

Planteamiento del problema

La quebrada Santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca presenta contaminación por vertimientos generados por las actividades en la fundación centro educativo Nuestra

Señora de la Esperanza. En los últimos cinco años, el vertimiento a la fuente ha ocasionado el deterioro de su calidad, aumentando los impactos asociados a un inadecuado manejo del vertimiento dispuesto en la fuente objeto de estudio, generando la necesidad de un análisis y discusión serio que permita a través de modelos de simulación, establecer los escenarios adecuados para la generación responsable de residuos líquidos al cuerpo de agua receptor.

Para el conocimiento de la fuente es necesario el uso de un software especializado que permita el análisis de series de datos obtenidas en campo o laboratorio, de forma que se simule el impacto de cargas contaminantes y sus factores de asimilación.

La modelación ambiental mediante el uso de la herramienta de modelación qual2kw establece a través del uso de constantes cinéticas utilizadas por autores reconocidos en fuentes hídricas de alta montaña como la quebrada Santa Clara, el comportamiento de la fuente en temporadas o periodos no medibles dado la falta de información o la carencia de seguimiento de fuentes hídricas superficiales en Colombia , así como sus dinámicas y capacidades de asimilación acorde a la necesidad de planeación nación al, regional o local.

Justificación

El presente escrito interpreta y documenta la capacidad de recuperación del cuerpo de agua mediante la construcción de un modelo ambiental que permita interpretar y representar las dinámicas del recurso hídrico, mediante el uso de constantes cinéticas, tasas, condiciones físicas, hidráulicas e hidrológicas levantadas en campo para el adecuado planteamiento del modelo Qual2kw que permite generar los planes, programas y acciones requeridas para la

mitigación o compensación de impactos ambientales desarrollados en el cuerpo de agua receptor.

A través de la modelación ambiental se puede realizar un estudio del vertimiento y de la fuente hídrica receptora, haciendo posible visualizar los escenarios en los cuales la generación de agua residual doméstica afecta significativamente el cuerpo de agua.

Los escenarios son el resultado de un conjunto de análisis y planteamientos que permiten generar estrategias que permitan la no materialización de las proyecciones establecidas en los escenarios de análisis planteados en el marco de la conservación del recurso hídrico, pero, ante todo, buscar que el proyecto sea ambientalmente sostenible.

Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un modelo de calidad del agua qual2kw de un vertimiento de tipo residual doméstico proveniente de actividades pecuarias y de alojamiento procedentes de una fundación de niños que vierte a la quebrada Santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca.

Objetivos específicos:

- Realizar la modelación ambiental del vertimiento en la quebrada Santa Clara.
- Simular escenarios de evaluación que permitan interpretar los impactos probables a generar por parte de las actividades desarrolladas en el predio.
- Determinar los ICAs e ICos en los puntos de control de la quebrada Santa Clara.

Marco teórico

Generalidades de la Modelación de Vertimientos

Cuando hablamos de evaluación ambiental y modelación de vertimientos, la primera pregunta que surge es, ¿qué es una evaluación ambiental? Seguida de una segunda pregunta, ¿cuál es el alcance de la evaluación? Y de una tercera, ¿qué es y para qué sirve un modelo de calidad?, dichas preguntas ponen en manifiesto una verdad innegable, la modelación ambiental y la evaluación de vertimientos en Colombia se encuentran en etapa de consolidación, de mejora continua y de desarrollo práctico.

Los modelos ambientales de vertimientos buscan visualizar impactos ambientales existentes, acorde a las herramientas disponibles. A través de las evaluaciones se observa el comportamiento del cuerpo de agua receptor en materia de calidad y cantidad, observando y protegiendo el recurso hídrico disponible en la zona objeto de evaluación.

Teniendo en cuenta el papel que cumple como ordenador del territorio, el desarrollo humano se encuentra ligado a fuentes hídricas que permitan satisfacer las necesidades básicas de los individuos en asentamientos, ciudades o centros poblados, dichas necesidades incluyen el abastecimiento, aprovechamiento, uso y disposición final del agua, este último paso debe ser regulado acorde a la capacidad de asimilación de los cuerpos receptores, entendiendo las herramientas disponibles como estructuradores de la política pública, del ordenamiento regional en torno a los recursos ambientales y a la disponibilidad de los mismos visualizada en las áreas de influencia de los proyectos productivos locales. (Suarez, 2009)

Es en dicho punto donde la coordinación institucional encuentra un apoyo en el componente técnico ambiental, siendo la modelación de vertimientos importante en la búsqueda de estrategias de control, regulación y protección del recurso hídrico receptor de vertimientos, acorde a su capacidad real de asimilación, depuración o cuidado, así como los usos del agua destinados para consumo humano, producción y ornato del territorio, entre muchos de los usos posibles y en los cuales los vertimientos realizados influyen de manera directa o indirecta.

Evaluar ambientalmente un proyecto, permite visualizar las particularidades en el mismo, evidenciando los puntos críticos para el adecuado desarrollo sin que el mismo comprometa la capacidad de recuperación de los ecosistemas involucrados, sean estos terrestres o hídricos. (Castro, 2015)

Se puede dar respuesta al primer interrogante, una evaluación ambiental es una verificación del cumplimiento normativo pero adicional a ello, es la determinación de cumplimiento eco sistémico, esto en otras palabras es un versus entre productividad contra la capacidad de recuperación de los ecosistemas involucrados e influenciados por las actividades antrópicas, permite determinar el grado de afectación de los recursos involucrados, describe, valora e identifica aquellas funciones y elementos importantes para el adecuado desarrollo y conservación de los recursos ambientales disponibles.

Para el desarrollo de las evaluaciones se buscan herramientas, las cuales deben proveer al evaluador de métodos o elementos con los cuales visualizar los efectos o impactos ambientales generados por una actividad o proyecto productivo a una matriz de evaluación seleccionada, en nuestro caso, la matriz agua correspondiente al cuerpo hídrico receptor y al

vertimiento responsable de los impactos generados, siendo el vertimiento un resultado de las actividades desarrolladas en el predio y por un ende una consecuencia asociada al uso del recurso disponible. La modelación ambiental al igual que las matrices Leopold, el cálculo de ICAs e ICOs, las valoraciones del componente hidrobiológico, son herramientas que brindan al evaluador una visual de la problemática asociada, su desarrollo, continuidad, duración y magnitud, permitiendo relacionar los impactos a los efectos ambientales esperados ante la materialización de los mismos.

Guía Nacional de Modelación

La guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales contiene los lineamientos mediante los cuales es viable la implementación de un modelo de calidad, acorde a las necesidades de estructuración del recurso hídrico, estableciendo la metodología requerida para la simulación de escenarios actuales y futuros y la comprensión de los mismos en búsqueda de una herramienta de gestión que permita la adecuada planeación de las aguas superficiales en el territorio. (MADS, 2018.)

En el contexto establecido, la guía nacional establece los elementos básicos de comprensión sobre los cuales se cimienta la modelación ambiental del recurso hídrico, basada en una revisión documental y técnica de los elementos comunes en las modelaciones realizadas en el marco de la investigación de cuerpos de agua a nivel nacional e internacional. (MADS, 2018.)

A continuación, se presentan los conceptos y definiciones requeridos para el entendimiento de los procesos y procedimientos contemplados por la guía nacional:

Modelación Matemática

Realidad

Entendida como la capacidad de representar las condiciones naturales de un entorno específico, en modelación ambiental, realidad es aquel termino que refiere al sistema natural objeto de estudio, sus características y procesos. (MADS, 2018.)

Modelo Conceptual

Un modelo conceptual es la descripción de la realidad, es aquella representación de la formulación matemática a visualizar en el escenario actual, está compuesto por conceptos, ecuaciones, leyes naturales, procesos físicos, biológicos y químicos entre otros. (MADS, 2018.)

el planteamiento del modelo conceptual incluye el conjunto de expresiones matemáticas, información primaria e interacciones ecológicas que componen un sistema natural, por lo cual, el modelo conceptual se resume como aquellas hipótesis y teorías para el escenario objeto de estudio. (MADS, 2018.)

Código del modelo

“A partir de un modelo conceptual, es posible realizar una formulación lógico-matemática del mismo, mediante un programa o código de computador que se denomina código del modelo.” (MADS, 2018, Guía Nacional de modelación del Recurso Hídrico, Pág. 6)

Modelo

Es la representación matemática de las condiciones asociadas a un área, a través del ingreso de información y la salida posterior al procesamiento de datos de variables establecidas en los códigos seleccionados, permite simular las particularidades del objeto de estudio adaptándose a sus condiciones, leyes y variables, permitiendo la representación de la realidad requerida.

Confirmación del modelo

Es el proceso mediante el cual se verifica que el modelo cumple adecuadamente con la representación de la realidad requerida, adaptándose a las necesidades particulares del área de estudio y acorde a la reducción máxima posible de la incertidumbre y sensibilidad. (MADS, 2018.)

Verificación del código

Es la verificación mediante la cual se determina que el modelo representa adecuadamente el modelo conceptual para el caso objeto de estudio, simulando casos que permitan establecer la confiabilidad del modelo seleccionado. (MADS, 2018.)

Modelación Ambiental de Vertimientos

La modelación ambiental de vertimientos es un proceso de investigación reciente en Colombia, en el cual la búsqueda de soluciones integrales sobre los impactos al ambiente permite la interacción con los elementos que componen los pilares sobre los cuales reposa la sostenibilidad de los recursos naturales disponibles, dicho eje estructural del desarrollo científico permite la generación de nuevas herramientas para la toma de decisiones, en dicho punto, los modelos ambientales para la calidad del agua permiten realizar los ajustes necesarios a los sistemas de tratamiento que permitan la conservación de los cuerpos de agua receptores de vertimientos. (Castro, 2015)

Para entender más a fondo la modelación propuesta, se debe entender la misma como el conjunto de constantes cinéticas, caracterizaciones ambientales e hidráulicas que permiten a través de un análisis matemático calibrar y analizar el comportamiento de la fuente receptora de vertimientos. (Pelletier, G.J. and Tao, H. 2005)

La modelación ambiental, es el uso a través de software, de modelos matemáticos que permiten visualizar los impactos asociados a determinantes específicos en el cuerpo de agua receptor de vertimientos, para ello, se analizan y determinan constantes cinéticas desarrolladas de forma teórica y práctica, la aplicación de la teoría en casos prácticos permite la observación del comportamiento de la simulación de la calidad de agua en corrientes naturales, a través de los años, la práctica ha permitido la adaptación específica de la teoría establecida y la generación de nueva documentación técnica que permite la adaptación de modelos a casos puntuales de estudio, tal es el caso de la generación de metodologías para la caracterización de la capacidad de auto purificación de ríos de montaña o la aplicación de constantes cinéticas en ríos procedentes de características muy especiales como cimas

nevadas o ciénagas inundables, dicha adaptación es producto del estudio de teoría en conjunto con la aplicación práctica de modelos ambientales Robustos. (Camacho, 2007)

Selección del modelo

Para la adecuada selección del modelo, se debe partir del tipo de contaminante y su distribución en el tramo de estudio seleccionado, para ello se debe partir de conceptos que permitan el entendimiento del caso de estudio, entendiendo la contaminación por materia orgánica como aquella que a menudo produce el efecto más significativo sobre la calidad del agua de un sistema acuático. (Suárez, 2009)

Pese a que, los cuerpos de agua de alta montaña ofrecen tasas de aireación altas asociada a sus resaltos y pendientes, la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua se ve claramente superada ante los escenarios actuales de vertido de aguas residuales, evaluar un modelo que permita la interpretación de la afectación vinculada a la materia orgánica vertida a la fuente objeto de estudio permite la toma de decisiones oportunas en pro de la conservación del recurso natural objeto de impacto. (Camacho, 2007.)

Evolución de la modelación ambiental para los Determinantes crítico seleccionados

Para el seguimiento y estudio del oxígeno disuelto, se han desarrollado estudios y modelos de calidad de importancia significativa en la evolución de la modelación ambiental de vertimientos, tal es el caso de los trabajos realizados por Harold Streeter y Earle Phelps (1914-1916) sobre la modelización matemática del oxígeno disuelto, dichos avances y modelos permitieron trazar la ruta hacia el conocimiento de factores incidentes en el oxígeno disuelto a lo largo de su seguimiento en la masa de agua, siendo una sencilla pero eficiente forma de interpretar los principales procesos asociados con el oxígeno disuelto en un río.

Posterior a ello Theriault (1927) realiza ensayos para la determinación de la demanda biológica de oxígeno y la determinación del OD en el río Támesis, potenciando los modelos posteriores generados por Velz (1948) y O Connor (1967) en los cuales ya se incluyen reacciones bioquímicas y el análisis de las mismas a través de modelos matemáticos más complejos que permiten interpretar la interacción del oxígeno disponible en el agua con los factores que disminuyen o aumentan su concentración, tal es el caso de los aumentos de oxígeno vinculados a la aportación del cauce, a la Re aireación atmosférica, al descenso de la temperatura, al aporte de fuentes hídricas no contaminadas, a la acción fotosintética ,entre otras, y a los casos de disminución de oxígeno relacionados a la materia orgánica, a la demanda bética de oxígeno, a la respiración de organismos, sean los mismos correspondientes a la ictiofauna, bentos perifiton y comunidad hidrobiológica en general del cuerpo de agua objeto de estudio. (Suárez, 2009)

La demanda de oxígeno disuelto ocasionada por oxidación de materia orgánica e inorgánica procedente de la masa de agua o de los sedimentos en la fuente objeto de estudio genera problemas en el adecuado desarrollo de la vida acuática, en el mantenimiento de ecosistemas vitales para la conservación del recurso hídrico, así como en la mortalidad de ictiofauna y comunidad bentónica asociada al cuerpo de agua, por lo cual su seguimiento es importante en el desarrollo y escogencia del modelo de calidad seleccionado. (Suárez, 2009.)

Dichos estudios permiten observar el comportamiento de la fuente de agua en base a la Re aireación disponible en el sistema acuático, para la selección del modelo en el caso de estudio, se parte de fundamentos teóricos vinculados a la interfaz agua – aire, así como procesos relacionados con el planteamiento de formas y métodos de determinación de tasas de Re aireación a introducir en el modelo de calidad seleccionado como resultado del ejercicio, es así como la determinación del parámetro de seguimiento se encuentra vinculado al adecuado

desarrollo del modelo de calidad, en la fuente santa Clara se observa ingreso de vertimiento de la fundación cuyas actividades y procesos no tienen incidencia química pero si biológica, es por ello que los determinantes seleccionados corresponden a oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno posterior a la descarga, estableciendo un punto de control aguas arriba del vertimiento generado. (Suárez, 2009)

Los determinantes seleccionados como críticos (OD, DBO, SST, DQO, Fosforo, Nitrógeno, Coliformes), obedecen al tipo de residuos líquidos generados en los procesos internos en el centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza, son el resultado del diagnóstico de actividades desarrolladas en el predio. (Autor, 2020)

Teniendo en cuenta las características, el tipo de agua residual incide en la valoración del oxígeno disuelto y en los determinantes de calidad del agua seleccionados para evaluación. (Pelletier, G.J. and Tao, H. 2005)

El oxígeno disuelto presente en un cuerpo de agua puede variar acorde a los ingresos registrados en el tramo de evaluación, es así como el aporte de fuentes superficiales, escorrentía, aguas subterráneas, son responsables de Re aireación atmosférica que permite la recuperación del cuerpo de agua ante posibles afectaciones antrópicas o naturales. (Camacho, 2007)

La atmosfera por lo tanto es el principal aportante de oxígeno en un cuerpo de agua, siendo responsable de equilibrar la concentración de oxígeno disuelto de la masa de agua con su saturación. (Suárez, 2009)

En cuerpos de agua con una calidad de agua adecuada, los valores de oxígeno disuelto se encuentran por debajo de los valores de saturación, lo que indica una inyección constante de oxígeno procedente de la atmosfera, siendo la misma continua en función del tiempo. (Suarez, 2009)

Suárez y Fernández de la universidad de la Coruña, establecen la aproximación lineal del perfil de concentración del oxígeno disuelto entre el agua y aire como se observa en la Figura 1. Perfil de concentración de oxígeno disuelto y su interfaz agua – aire.

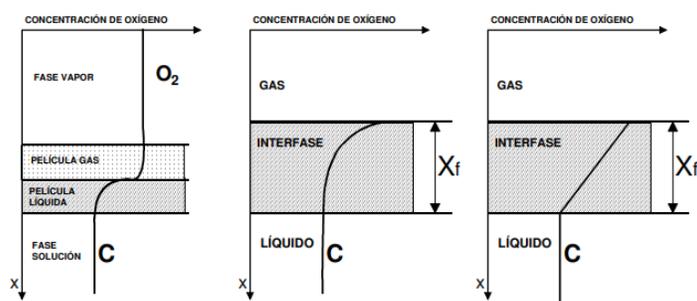


Figura 1 Perfil de concentración Oxígeno Disuelto en su interfaz agua - aire,

Fuente: Fernández, 2009.

Mediante la misma se evidencia el comportamiento del oxígeno en las interfaces líquido gaseosas, evidenciando procesos en los cuales los cuerpos de agua pueden aportar oxígeno a la atmosfera, ante sobresaturación del cuerpo de agua vinculada a posibles resaltos hidráulicos o como explica Camacho en su Metodología para la caracterización de la capacidad de auto purificación de ríos de montaña, al efecto acelerado de la hidrólisis de las moléculas complejas en condiciones de alta Turbulencia. (Camacho, 2007.)

Modelo Qual2kw

Existen una variedad importante de modelos matemáticos disponibles para la evaluación ambiental de vertimientos, el desarrollo de los modelos ambientales ha permitido el estudio del fenómeno de transporte de contaminantes en cuerpos de agua, dando origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen su comportamiento (Castillo G., 2008).

El modelo qual2kw es desarrollado por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos como parte de la implementación de modelos matemáticos que permitan el estudio de los comportamientos de los cuerpos de agua en un territorio específico.

El modelo Qual2kw es un modelo gratuito que tiene la capacidad de simular un cuerpo de agua principal y tres corrientes secundarias, lo que permite un amplio rango de aplicación, permitiendo la modelación de los contaminantes críticos seleccionados. (Lozano G.et al.,2003)

El modelo QUAL2KW, ha sido desarrollado exitosamente en ríos de alta montaña con las variaciones pertinentes en su calibración, modelos aplicables a quebradas con alta velocidad obedecen a los comportamientos propios de los cuerpos de agua en Colombia, en especial en áreas montañosas, permiten la evaluación ambiental del vertimiento y su incidencia en la calidad del agua de la fuente a intervenir, siendo aplicables dada la precisión de los resultados obtenidos, y la concordancia con los datos ingresados para el desarrollo adecuado del modelo. (Lozano G. et al.,2003)

El modelo permite interpretar los datos de la fuente como reactores independientes, permitiendo la simulación de los parámetros básicos de calidad de agua en base al oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, ciclo del nitrógeno y del fósforo, dichos

determinantes son los que se encuentran con mayor frecuencia en los vertimientos de tipo domestico realizados a cuerpos de agua. (García H. et al., 2008)

Para modelar el cuerpo de agua se tiene en cuenta las características especiales de la fuente objeto de estudio, así como los puntos anteriormente expuestos.

Se debe tener en cuenta según la Figura 2. la metodología adaptada de Camacho para la implementación del modelo seleccionado:

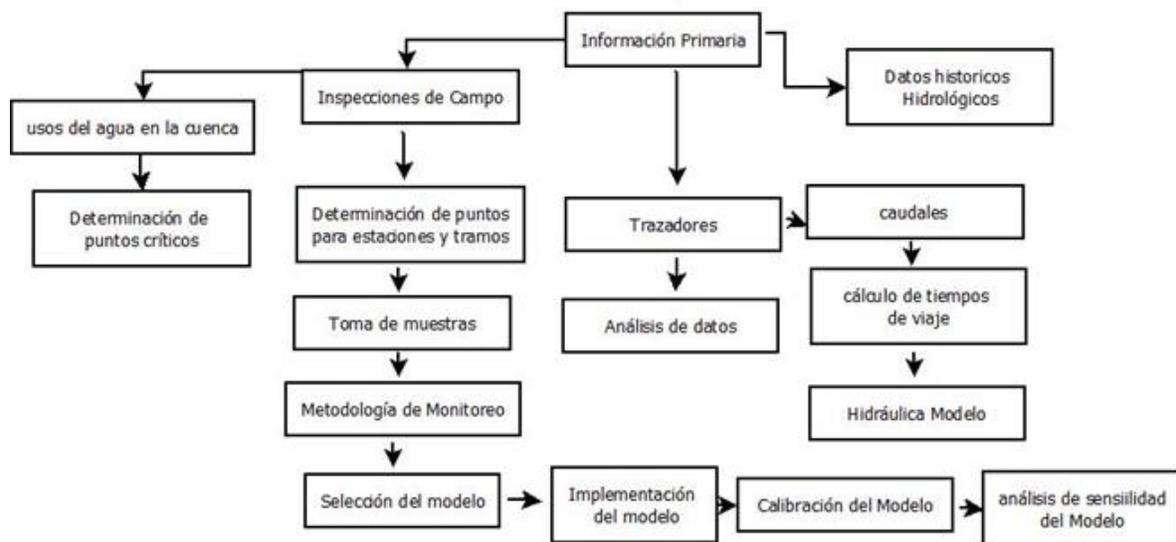


Figura 2. Esquema de modelación,

Fuente: Autor, adaptado de Camacho, 2008.

Después de realizar el proceso inicial se debe incluir el ingreso de datos posteriores, el paso a paso incluye la calibración y análisis de sensibilidad del modelo ambiental seleccionado.

Se debe partir de una descripción general del modelo para el entendimiento del mismo, partiendo por la base de su ejecutable, el programa corresponde a un código de computadora escrito en Visual Basic para aplicaciones VBA y un Fortran ejecutable disponible para uso asociado, la interfaz de usuario es el programa Excel, para lo cual el mismo se encuentra programado.

El modelo Qual2kw permite determinar los fenómenos asociados al transporte de contaminantes vinculado a materia orgánica, para la selección del modelo se tiene en cuenta que cumpla con los requerimientos de evaluación, para ello se tiene en cuenta los tipos de procesos, sean físicos químicos y biológicos, el tipo de cuerpo de agua, las dimensiones del modelo; de 1, 2 o 3 dimensiones, el estado; dinámico, estacionario, el tipo de transporte; advectivo, dispersivo o de intercambio béntico así como el modelo de solución requerido, en nuestro caso un modelo matemático formulado.

No se encuentra limitantes en cuanto a número de tramos que ocasionen una segmentación objetiva del modelo requerido, el flujo del agua es simulado en condiciones de flujo permanente, permite la incorporación de tributarios a través de ingresos puntuales y no puntuales en el tramo objeto de estudio, el modelo qual2kw modela las variables de calidad y las cinéticas vinculadas en escala de tiempo diurna, al igual que la temperatura en función de sus aspectos meteorológicos. (Chapra et. al.,2008)

El modelo qual2kw permite simular vertimientos y captaciones de recurso de forma puntual o difusa. (Chapra et. al.,2008)

El modelo qual2kw permite la simulación de determinantes asociados a contaminación por materia orgánica, entre ellos los patógenos, la DBO de lenta oxidación y rápida oxidación, los nitrógenos, la materia orgánica particulada POM ingresada en forma de detritus, los fósforos; inorgánico y orgánico, caudal, temperatura entre otros. (Chapra et. al.,2008)

Para la remoción, degradación o aumento de patógenos se realiza la evaluación de factores que inciden directamente en la fuente hídrica tales como la temperatura, la luz y la sedimentación. (Chapra et. al.,2008)

La interacción de los sedimentos con la lámina de agua se simula de forma interna en el modelo de calidad. (Chapra et. al.,2008)

El modelo matemático qual2kw permite representar las condiciones del sistema a modelar, estableciendo acorde a los requerimientos el ingreso de las condiciones o características hidrológicas, topográficas e hidráulicas de la fuente objeto de estudio.

A su vez, qual2kw permite la delimitación del tramo a través de la identificación de la frontera aguas arriba y aguas abajo, tal como se describe en el esquema general del modelo qual2kw, en el mismo, se pueden observar las fronteras internas y externas del modelo, así como las fronteras del tramo representadas por los puntos aguas arriba y aguas abajo del mismo como se observa en la Figura 3:

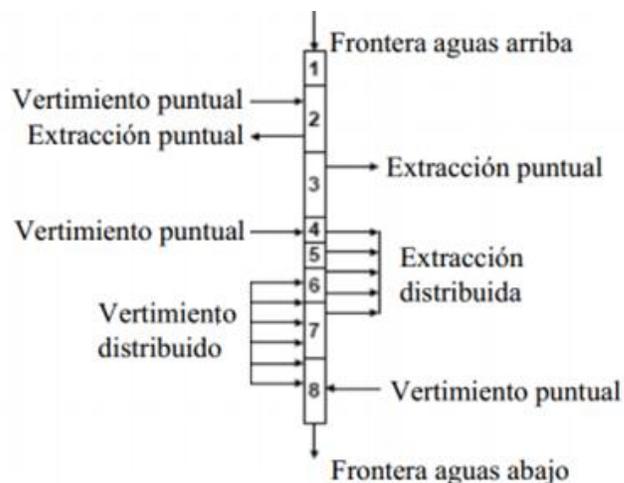


Figura 3. Esquema General del Qual2kw.

Fuente: (Chapra et.Al.,2008)

Calibración del modelo

La calibración del modelo permite el ajuste de los parámetros, de forma que representen de la mejor forma posible las características observadas en la realidad, permiten adecuar los escenarios acordes a la representación de los determinantes seleccionados y la adaptación de tasas cinéticas acorde a literatura y ejercicios técnicos realizados en cuerpos de agua superficiales. (MADS, 2018.)

Para la calibración del modelo Qual2kw, se realizan dos tipos de calibración, la primera de ellas es una calibración manual, en la misma, mediante ensayo y error se introducen y seleccionan las constantes cinéticas que se adaptan mejor a la realidad del modelo seleccionado.

Para ello se cuenta con la revisión documental realizada para el caso de estudio. En la revisión se establecen los rangos en los cuales el modelo se ajusta de mejor manera, se respeta

los rangos de calibración dados por la literatura de forma que el ajuste inicial se encuentre cercana a los valores óptimos del modelo.

La segunda calibración, es una calibración mediante el uso de un algoritmo genético denominado PIKAIA, introducido en la hoja de cálculo de Qual2kw.

Para su uso, es necesario programar la hoja fitness del modelo Qual2kw y vincularlas tanto a las hojas de salida del modelo como a las entradas del mismo.

Mediante dicha programación se comparan los datos ingresados al modelo con los datos generados como resultado del proceso de modelación, una vez programada la hoja de cálculo, se cambia la información acorde a la data incorporada y a la data generada, permitiendo ajustar el modelo a la realidad establecida en los monitoreos ambientales.

Se utiliza herramienta de optimización Algoritmo genético simple denominado por su autor como algoritmo PIKAIA, el mismo consiste en una selección numérica de las mejores poblaciones e individuos que permitan el ajuste óptimo del modelo ambiental seleccionado, con el fin de garantizar los datos generados al final del ejercicio respectivo, a medida que el modelo genera nuevos resultados en el proceso de calibración, el programa elige aquella población en la cual se optimiza el modelo en construcción, evaluando el ajuste de cada población a la selección de generaciones requeridas, estableciendo el óptimo de desempeño para la reducción de sensibilidad en el modelo respectivo, el programa corre modelos fortran por cada población e individuos seleccionados de forma manual en la hoja Rates, seleccionando los mejores cromosomas para la selección de los individuos clasificados como padres, utilizando para ello elementos de mutación y cruzamiento de forma descendente. (Pelletier y Chapra, 2004).

Índices de Calidad del agua

Los índices de calidad del agua (ICA) son herramientas que permiten conocer el estado de contaminación del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. (*OECD, 2003*)

Se clasifican o ponderan con un número entre 0 y 100 para ICAs, con los mismos, se registra la calidad o contaminación del agua acorde a parámetros de asociación. (*OECD, 2003*)

Un índice de calidad de agua, consiste en una expresión simple de una combinación de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Se utilizará para la evaluación de escenarios críticos, evaluando los índices de las salidas de los modelos generados acorde a la metodología establecida por el programa Icatest V1.0.

En Colombia, los principales generadores de contaminación al recurso hídrico son aquellas actividades vinculadas a la generación de aguas residuales domésticas, industriales y pecuarias, seguidas por las actividades de transporte de sustancias peligrosas o petróleo. (*IDEAM, 2010.*)

Teniendo en cuenta las actividades desarrolladas en el área de influencia directa del proyecto seleccionado para el presente caso de estudio, se evalúa la formulación de indicadores de calidad acorde a las características de la actividad generadora.

Para el proyecto seleccionado se trabaja el índice de calidad del agua OPI, desarrollado mediante el desarrollo de una propuesta denominada AMOEBA, el cálculo del índice OPI se realiza utilizando el promedio geométrico de la combinación de variables individuales (*Zwart,1995.*)

$$OPI = e^{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \ln(PQI)_n * w_n}$$

Donde:

W_n = “Denota el factor de ponderación de la variable para el n-ésimo parámetro, todas las variables tienen un peso de $1/n$.”

PQI = Índice de calidad para el n-ésimo parámetro, corresponde a un número entre 0 y 100

Normatividad

Normatividad	Descripción
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de recursos naturales, Establece la regulación y control del recurso hídrico, estableciendo el control de vertimientos y procesos sancionatorios asociados a aguas residuales sin tratamiento.
Ley 09 de 1979	Código Sanitario Nacional, establece procedimientos y medidas para la regulación y control de los vertimientos.
Ley 99 de 1993	Se crea el ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial como ente rector de las políticas ambientales nacionales, establece la base normativa para la implementación de tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a los cuerpos de agua y la competencia de las corporaciones en la evaluación, control y seguimiento de las descargas de aguas residuales.
Ley 142 de 1999	Aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos de que trata el artículo 15 de la ley, y a las actividades complementarias

Ley 1333 DE 2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Titularidad de la potestad sancionatoria en materia ambiental por parte del estado.
Ley 388 de 1997	Ley general de Ordenamiento territorial
Decreto 1076 de 2015	establece los requisitos para el trámite del Permiso de Vertimientos, entre los cuales se incluye en su numeral 19, la presentación de la Evaluación Ambiental del vertimiento presenta el contenido de la “Evaluación ambiental del vertimiento”, el cual se desarrolla a continuación de forma amplia y detallada con los ítems evaluados para su adecuada aplicación.
Decreto 1355 de 1970	Por el cual se dictan normas sobre Policía, art. 130. La policía velará por la conservación y utilización de las aguas de uso público. En consecuencia, el jefe de policía deberá evitar el aprovechamiento de dichas aguas, cuando no se haya obtenido el correspondiente permiso y velará por el cumplimiento de las condiciones impuestas en él y en las mercedes de aguas.
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas.
Decreto 3440 de 2004	Por el cual se reglamenta lo referente a las tasas retributivas y compensatorias por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

Decreto 1449 de 1977	Uso de los recursos naturales en Colombia
Resolución 1503 de 2010	Por el cual se adopta la Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y a los alcantarillados públicos
Resolución 959 de 2018	Guía nacional de modelación del recurso hídrico

Descripción del problema

La quebrada Santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca presenta contaminación por vertimientos generados por las actividades en la fundación, en los últimos cinco años, el vertimiento a la fuente ha ocasionado el deterioro de su calidad, generando la necesidad de un análisis y discusión serio que permita a través de modelos de simulación, establecer los escenarios adecuados para la generación responsable de residuos líquidos al cuerpo de agua receptor, la modelación ambiental qual2kw ha intentado establecer a través de constantes cinéticas, el comportamiento de la fuente hídrica objeto de estudio, sus dinámicas y comportamientos. Para el año 2019, entra en vigencia la guía nacional de modelación, siendo necesaria la adecuada implementación de la misma en la búsqueda de modelos de calidad acorde a las necesidades de evaluación ambiental establecidas.

Antecedentes del Problema

El centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza, viene adelantando la solicitud de un permiso de vertimientos y ocupación de cauce de la fuente objeto de estudio, sin que la misma haya llegado a término favorable, lo mismo asociado a la alta de modelación ambiental de la fuente receptora y del vertimiento generado por la actividad.

La fundación, cuenta con la atención prioritaria de jóvenes y niños en edad de formación, los mismos presentan situaciones enmarcadas en el conflicto, el desplazamiento o la violencia intrafamiliar, es por ello que los esfuerzos aunados en el marco del cumplimiento normativo, fortalecen vínculos sociales enmarcados en la reducción de la brecha social y la generación de una incorporación a la productividad de los jóvenes, por ello o para ello, se cuenta con apoyo del SENA para la formación integral agropecuaria de los integrantes de la fundación, dicho fortalecimiento permite a los individuos vinculados mejorar sus oportunidades en base a capacitación productiva y a la gestación de competencias vinculadas con el agro y la generación de proyectos de emprendimiento zonales.

Por ello, la no existencia del permiso de vertimiento y ocupación de cauce pone en riesgo la continuidad de la fundación ante posibles procesos sancionatorios por parte de la autoridad Ambiental CAR Cundinamarca, dichos procesos administrativos deben ser subsanados en pro del bienestar social de la comunidad vinculada.

La fuente receptora por su parte, es una fuente muy pequeña, con su nacimiento cercano a la fundación, lo que se encuentra relacionado al caudal bajo encontrado en el punto aguas arriba del vertimiento identificado, sin embargo, en un trayecto muy corto, recibe tributarios

que aumentan el caudal registrado y permiten una mayor asimilación del vertimiento generado por la actividad.

En el año 2002 se inicia la primera solicitud de permisos ambientales en el centro de formación, sin que el mismo surtiera el efecto deseado durante el proceso de evaluación técnica realizado por la CAR Cundinamarca.

Para el año 2009 la fundación recibe donación de la embajada de Suiza para la instalación de la planta de tratamiento del centro de formación, consistente en reactor biológico con suministro de microorganismos EM, y tratamiento químico mediante la dosificación de floculante y cloro, con cumplimiento normativo acorde a la normatividad vigente en su momento para la generación de vertimientos a cuerpo de agua superficial.

En 2010, con la entrada en vigencia del decreto 3930 de 2010, se inicia como tal la solicitud formal de permiso de vertimientos, enmarcado en el cumplimiento normativo y la determinación de la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor.

Durante el desarrollo de las actividades se solicita en el año 2012 el primer permiso de vertimientos, para el año 2018 se niega el permiso por parte de la autoridad ambiental CAR Cundinamarca.

El mismo año, se inicia nuevamente el trámite de permiso de vertimientos, negado en su revisión inicial por falta de modelación ambiental, sin que se evidencie la incorporación de la misma en el marco del cumplimiento normativo.

La fundación se encuentra ubicada en el municipio de Tena en la vía que de Mosquera lleva al municipio de la Mesa Cundinamarca, cuenta con una extensión de 1 hectárea para el

área de servicios y un área zonal de 1 hectárea para el desarrollo de actividades de granja y pecuarias, se observa en Figura 4. El área de la fundación responsable del vertimiento:

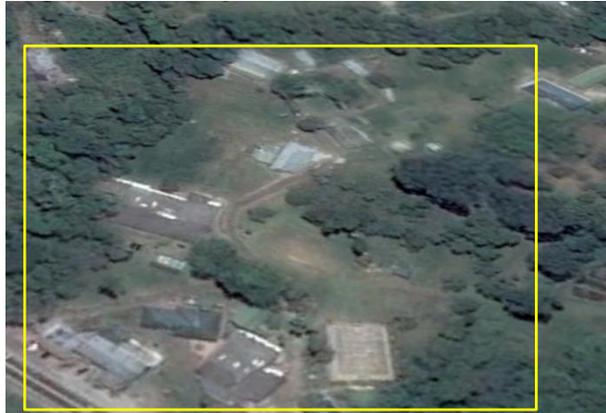


Figura 4. Localización Centro de Formación Nuestra Señora de la Esperanza.

Fuente: Autor – Google Earth

La Fundación se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, 35 kilómetros al sur de Bogotá D.C., capital colombiana, en la margen derecha del km 32.5 de la vía que de Mosquera conduce a la Mesa, con el fin de delimitar la localización del proyecto se georreferencian los puntos de control ambiental correspondientes al proyecto generador de residuos líquidos y el punto de vertimiento generado por la actividad. La ubicación georreferenciada se realiza en coordenadas geográficas, los puntos de vertimiento generados son:

Proyecto: N 04° 40' 18.43" W 074° 22' 53.8"

Punto de vertimiento: N 04° 40' 08.9" W 074° 22' 55.8"

Identificación de la organización responsable de la generación del vertimiento.

Se procede a realizar la descripción de las actividades generadoras o no de vertimiento al interior del predio, así como el número de trabajadores y colaboradores cuyo enfoque y ayuda permite la preservación de los derechos fundamentales de los niños cuya habitabilidad en el centro es permanente.

El centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza cuenta con 16 trabajadores fijos y 4 temporales, así como una capacidad máxima operativa de 150 niños para atención, sin embargo, dicho número es la capacidad máxima del centro en materia de alojamiento y servicios, tiene limitantes adicionales para operación como lo son los recursos financieros necesarios para el sostenimiento, razón por la cual la capacidad real se encuentra limitada a los medios disponibles al momento de apertura de matrículas, para el año 2018 se contó con 110 estudiantes y para el año 2019 con 112 estudiantes, para el año 2020 se cuenta con una proyección similar al año 2019.

Al momento de la realización del presente documento no se ha dado finalización al proceso de matrículas ni recepción de donaciones para el año 2020.

el alojamiento en el centro exige una operación continua, se disminuye el vertimiento en horas de la noche, al punto de no generar descarga. Normalmente se cuenta con vertimiento de agua residual doméstica en un periodo de 14 horas al día.

A continuación, se presenta en la tabla 1, las actividades en el predio y en frente de las mismas la clasificación entre generadoras o no generadoras de vertimiento:

Tabla 1 Actividades y su clasificación

Actividad	¿Generadora de vertimiento?
Levante de pollos de engorde y gallinas	No
Beneficio animal (pollos de engorde y gallinas)	Si
Laboratorio de café	Si
Siembra de alimentos	No
Procesos de educación	Si
Hospedaje	Si
Preparación alimentos	Si
Actividades Administrativas	Si
Clasificación, separación y venta de huevos	No
Levante y venta en pie de conejos	No



Figura 5. Laboratorio de café

Fuente: Autor



Figura 6. Centro de beneficio animal

Fuente: Autor



Figura 7. Siembra de alimentos

Fuente: Autor



Figura 8. Siembra de Plántulas.

Fuente: Autor



Figura 9. Aulas Centro de Formación

Nuestra Señora de la Esperanza, 2020

Fuente: Autor



Figura 10. Centros de Alojamiento

Fuente: Autor



Figura 11. Levante y engorde de gallinas

Fuente: Autor



Figura 12. Interior Centros de alojamiento

Fuente: Autor



Figura 13. Cría de conejos

Fuente: Autor



Figura 14. Cría de conejos

Fuente: Autor

Metodología

El proyecto aplicado permite la obtención de información vinculada a la generación de modelos de calidad en fuentes hídricas que tienen afectación por vertimientos, en el desarrollo del proyecto de grado, se busca abarcar problemáticas específicas como el deterioro ambiental ocasionado por vertimientos sin tratamiento, así como la determinación de la capacidad de evaluación de fuentes superficiales de alta montaña en el territorio colombiano.

Para la generación de un modelo de calidad se hace necesario disponer o generar la información inicial requerida, la misma incluye las caracterizaciones de calidad necesarias para la alimentación del modelo, los ensayos de trazadores requeridos para la determinación e ingreso de los tiempos de viaje incluidos en el modelo qual2kw, el levantamiento topográfico de la fuente receptora con el fin de alimentar el modelo de calidad seleccionado, la hidráulica del canal.

se realizan caracterizaciones ambientales aguas arriba aguas abajo, vertimiento y zona de mezcla del vertimiento generado, para lo cual se realizaron las vistas técnicas necesarias para el cálculo del tiempo de primer arribo así como el tiempo de viaje, tiempos necesarios para la determinación del plan de monitoreo y el adecuado seguimiento de la masa de agua.

se realizan aforos de caudal y medición de parámetros in situ en la quebrada Santa Clara con el fin de observar el comportamiento del modelo seleccionado, acorde a la teoría disponible, se seleccionan las variables y constantes cinéticas que mejor representan la fuente en su estado actual o escenario de calibración, re calibración, ajuste paramétrico y generación de hojas de resultados.

Para la generación del modelo de calidad se necesita información muy importante para la adecuada ejecución del mismo, se inició por la toma de muestras fisicoquímicas de calidad en la fuente receptora acorde al seguimiento de la masa de agua, las caracterizaciones hidráulicas de la Quebrada Santa Clara, el levantamiento de coordenadas, aforos de caudal, ensayos de trazadores, para posteriormente realizar la calibración del modelo.

Para el caso puntual seleccionado, se cuenta con caracterizaciones ambientales, realizadas en el marco del permiso de vertimientos solicitado ante la autoridad ambiental CAR Cundinamarca, se cuenta con aforos de caudal cada 50 metros en la fuente objeto de estudio realizados por la empresa Umwelt Colombia en el año 2019 y correspondientes al permiso de vertimientos otorgado por la corporación ambiental CAR Cundinamarca, se cuenta de igual forma con la caracterización fisicoquímica del vertimiento de dicha campaña de monitoreo, y se realizan monitoreos de calidad del agua en vertimiento, punto aguas arriba, y aguas abajo del punto de vertimiento. los monitoreos realizados por el laboratorio Hidrolab, entidad acreditada por el IDEAM para toma de muestras corresponden a los monitoreos realizados por la empresa Umwelt Colombia SAS, las muestras tomadas en el desarrollo del proyecto fueron realizados por personal disponible de la empresa Umwelt Colombia y analizadas por el laboratorio CIAN, igualmente acreditado para el análisis respectivo.

Los análisis de laboratorio, a cargo de Hidrolab SAS, se realizaron de acuerdo a los métodos normalizados por la AWWA y APHA a través del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* y de acuerdo a métodos normalizados por la EPA.

De igual forma, se cuenta con los perfiles de la quebrada, datos in situ cada 50 metros en un tramo de 1 km para la campaña realizada en el año 2019, consistentes en oxígeno disuelto,

pH, conductividad, SST, Temperatura, los mismos son suministrados por la empresa Umwelt Colombia SAS.

La empresa Umwelt Colombia SAS facilito el préstamo de equipos y personal para la realización de las actividades correspondientes.

Para ello, se realiza apoyo con el préstamo de vehículo y equipos Hach HQ40D, OTT C31 Z400, Lutron, conos Imhoff, decímetros, cuerdas, probetas.

Para la selección de los determinantes a medir en laboratorio es necesario conocer los factores contaminantes y la evaluación de los mismos, acorde a las actividades desarrolladas en el centro de Formación, de forma que permita la selección de los determinantes a caracterizar. Se tiene en cuenta el criterio establecido por Castillo y la agrupación de contaminantes acorde a la actividad o procedencia (*Castillo,1999.*):

Sustancias orgánicas biodegradables: organismos en descomposición, heces humanas y de animales.

Sustancias orgánicas tóxicas: son producidas por el hombre, y en general no son biodegradables.

Sustancias inorgánicas tóxicas: originadas por la industria o la minería.

Sólidos en suspensión: sedimentos que llegan por escorrentía provenientes de la construcción, industria o dragado.

Agentes patógenos: desechos vertidos que pueden generar enfermedades o daños a los entes biológicos relacionados con el río.

Térmicos: vertido de agua a temperaturas superiores a las del cuerpo de agua receptor.

Acorde a la misma, la documentación contempla la evaluación de los puntos 1 y 5 de los factores contaminantes descritos por Castillo, compuestos por sustancias orgánicas biodegradables y agentes patógenos en la fuente para evaluar su cumplimiento normativo y la zona de mezcla térmica contemplada en la Resolución 631 de 2015 (*Castillo, 1999.*)

Agrupando los determinantes evaluados, se genera la selección del modelo planteado, entendiendo la aplicación del modelo a las características determinadas acorde a la clasificación de Castillo.

Con el fin de establecer una visualización gráfica de los pasos propuestos se incorpora el siguiente diagrama de flujo acorde a los pasos requeridos para la adecuada implementación del modelo de calidad.

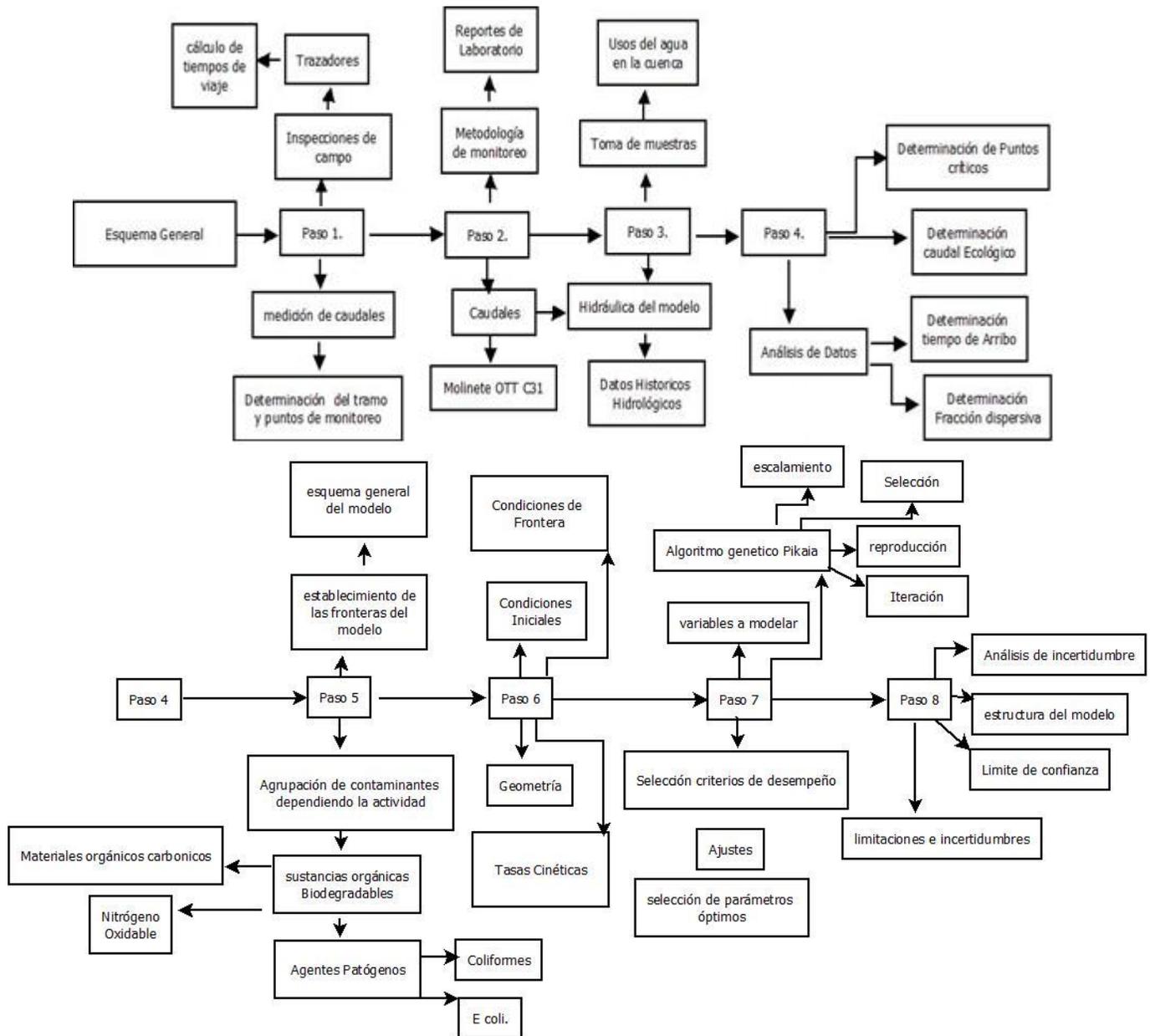


Figura 15. Esquema General de Modelación

Fuente: Autor, adaptado de Camacho, 2008.

Se procede a realizar el paso a paso requerido en el marco de la metodología implementada, el mismo es el siguiente:

Paso 1. Búsqueda de información primaria, visitas de campo y realización de pruebas requeridas.

Mediante la descripción del método de implementación del modelo, incluidas las visitas técnicas requeridas se permite la implementación adecuada del modelo ambiental, para ello, se plantean inicialmente una serie de visitas técnicas con el fin de identificar el tipo de vertimiento, las actividades realizadas por parte del centro de formación que repercuten en el vertimiento, la realización de los 6 trazadores planteados en el marco del cálculo de tiempos de viaje, así como las campañas de monitoreo respectivos en caso de que las existentes no cumplan con los requerimientos necesarios para la adecuada implementación en el modelo de calidad del agua seleccionado.

En el esquema general planteado en la Figura 15, se puede observar la información primaria requerida, así como aquella vinculada a los objetivos del presente documento.

Paso 2. Obtención de la información de campo realizada por el laboratorio Hidrolab LTDA

Se cuenta con reportes de laboratorio realizados por el centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza, dichas caracterizaciones incluyen monitoreos puntuales y compuestos realizados por la fundación en el año 2019.

Cabe resaltar que la existencia de diversos monitoreos y tipos de muestreo en el punto, (compuestos, puntuales, integrados) y las diversas distancias evaluadas entre monitoreos,

obedecen a las diversas solicitudes de la corporación ambiental, por lo cual se cuenta con información importante que permite la implementación del modelo ambiental requerido.

Paso 3. Obtención de la información de campo realizada por la empresa Umwelt Colombia SAS

De igual forma, se cuenta con información levantada por la empresa Umwelt Colombia SAS, la misma corresponde a la topo batimetría de la fuente, abscisado de la fuente, monitoreo de calidad con información in situ, entre ellos datos importantes sobre el comportamiento del cuerpo de agua, los cuales incluyen parámetros medidos cada 50 metros, como temperatura, conductividad, sólidos, oxígeno disuelto, y pH.

Con la recolección de la información disponible se procede a evaluar la conveniencia de la misma y el requerimiento de información adicional a la disponible.

Paso 4. Generación plan de monitoreo

Acorde a los requerimientos establecidos en la nueva guía nacional de modelación del recurso hídrico, se requiere realizar pruebas de trazadores, calcular tiempos de viaje y estimar los puntos en los cuales se realizará el seguimiento de la masa de agua, para ello y una vez realizadas las pruebas correspondientes se programan los laboratorios requeridos en el marco de la toma de muestras para la implementación del modelo.

Paso 5. Análisis de datos e implementación del modelo

se requiere realizar el análisis de la información recolectada con el fin de alimentar el modelo, realizar los cálculos, determinar las tasas cinéticas e implementar finalmente el

modelo seleccionado en el marco de la actividad desarrollada. En este paso se incorpora la data necesaria para la calibración del modelo ambiental y su posterior análisis de sensibilidad acorde a lo requerido en el proceso de investigación adelantado.

Una vez realizado el análisis de la información e implementado el modelo con su respectivas variables y condicionamientos, se procede a realizar la evaluación de escenarios planteados en el desarrollo de los objetivos propuestos en el presente estudio, permitiendo conocer los limitantes y ventajas del modelo seleccionado.

Paso 6. Selección del modelo

El modelo seleccionado corresponde al modelo qual2kw, contemplado dentro de la guía nacional de la modelación y adaptable a la información requerida en el marco de la modelación ambiental del vertimiento.

La selección del modelo se realiza contemplando el tipo de agua residual generado por la actividad, los procesos generados en el desarrollo de las actividades en el predio objeto de estudio, así como la posibilidad de análisis acorde a las variables de modelación, se tiene en cuenta las características propias del modelo, entre las mismas se encuentra el tipo de cuerpo de agua, la cantidad y calidad de los tributarios, las actividades que rodean el tramo seleccionado para evaluación, la dimensión, el estado, el tipo de cuenca, el tipo de transporte, el tipo de cuerpo de agua diferenciando si es lótico o lentic, los tipos de proceso evidenciados en la fuente, así como las características del modelo de simulación, realizando la selección entre modelos que permiten la simulación de efectos ocasionados por el vertimiento de carga de tipo orgánica en fuentes receptoras de alta montaña en Colombia.

De igual forma, se tiene en cuenta el componente económico requerido para el desarrollo del modelo, priorizando en el modelo la optimización del componente técnico sin reducir el factor de calidad requerido.

El modelo seleccionado cuenta con la capacidad de adaptarse a diferentes y diversas fuentes de agua superficial, dependiendo la experiencia del modelador, permite adaptarse a diferentes constantes cinéticas, sin que las variaciones se vean reflejados en aumentos innecesarios en presupuestos de evaluación.

Para la selección del modelo se tiene en cuenta la amplia aplicación del mismo en ríos de alta montaña como el objeto de la presente modelación, para ello, se verifica la capacidad de aplicación en fuentes pequeñas como la quebrada santa Clara en el municipio de Tena Cundinamarca.

De igual manera se tiene en cuenta el principio de simplicidad, acorde el cual un modelo de calidad más complejo en datos de ingreso o variables no necesariamente mejora los resultados finales obtenidos, por lo cual se busca un modelo con simplicidad en su ejecución. (Lozano et al., 2003)

Paso 7. Incorporación de información al modelo

En el presente paso se procede a identificar las fronteras del modelo con el fin de establecer las condiciones iniciales e incorporar la información requerida para iniciar la alimentación del modelo seleccionado, el qual2kw permite ingresar la data requerida en el marco de la generación del escenario actual, encargado de la representación de la realidad a modelar en el marco del desarrollo del presente documento.

Paso 8. Calibración del modelo.

Una vez incorporada la información al modelo, se procede a realizar una calibración manual inicial, para posterior a la misma realizar nuevamente una segunda calibración, para la segunda calibración el modelo qual2kw permite realizar la misma mediante el uso de algoritmos genéticos, en el caso específico, se plantea el uso del algoritmo genético PIKAIA desarrollado por Chapra y Pelletier, en el paso de calibración se optimiza el modelo de forma que represente la realidad requerida para la modelación ambiental del vertimiento.

Paso 9. Cálculo de los índices de calidad ICAs e ICOs

Para la determinación de los ICAs e ICOs así como su análisis e incorporación, se utiliza el programa ICATEST V1.0, de la universidad de Pamplona, el mismo permite incorporar la información obtenida de los resultados de laboratorio y generar los índices respectivos, calculando de forma directa su ponderación, calificación y gráfica, es un herramienta sencilla de evaluación que permite obtener datos confiables de índices nacionales e internacionales, los ICAs e ICOs utilizados son de análisis simple basados en los determinantes disponibles.

Resultados

Aspectos generales del modelo

Se tiene en cuenta los protocolos de modelación establecidos en la teoría evaluada con el fin de establecer el paso a paso técnico requerido para la adecuada ejecución de la modelación en el presente estudio ambiental, para ello, se modifica por parte del autor el protocolo de modelación de Camacho y Diaz Granados (2003) acorde a las necesidades de evaluación de la fuente receptora, en la Figura 15 contemplada en la metodología de modelación determinada por el autor.

Recopilación de información existente

Se realiza consulta a las entidades responsables de la alimentación continua de información en el área de influencia, CAR Cundinamarca e IDEAM, con el fin de establecer las estaciones cercanas al tramo objeto de estudio como se señala en la Tabla 2, donde se obtienen sus variables y condiciones climatológicas a ingresar como parte del desarrollo del modelo de calidad seleccionado.

Tabla 2. Información de las estaciones meteorológicas en el área de influencia.

Estación	Código	Ubicación
Pedro Palo - Automática	21205526	Tena
Esperanza la	21205110	La mesa
Pedro palo	21201780	Tena
Mesa la scria agri	21201170	La mesa

La visualización de las estaciones más cercanas se observa en la Figura 16.

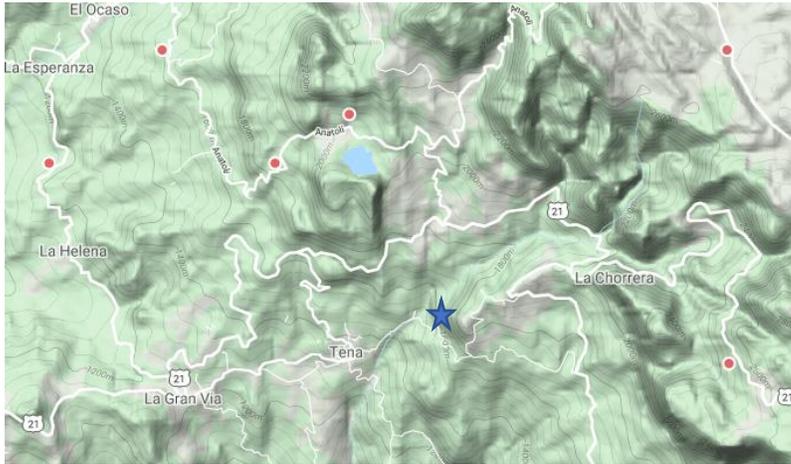


Figura 16. Estaciones IDEAM en el área de influencia.

Fuente: Autor

Recolección información secundaria Umwelt Colombia SAS, CIMA e Hidrolab SAS

Se procede a la búsqueda de información disponible en las empresas vinculadas en la parte ambiental al centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza.

De la búsqueda referenciada se obtiene la topobatimetría de la fuente, información de calidad del cuerpo receptor incluido caudales del cuerpo de agua que permiten establecer valores adicionales a los contemplados u obtenidos mediante el programa de muestreo planteado y que permiten observar el comportamiento del caudal en diversas épocas y temporadas, visualizando las variaciones en el cuerpo de agua receptor de forma que los tiempos de viaje calculados permitan la toma de muestras acorde a las necesidades de seguimiento de la masa de agua.

De igual forma, se obtienen caracterizaciones ambientales disponibles al momento de la realización del presente estudio y que permiten visualizar el estado de la fuente en años anteriores a la realización de la modelación de calidad requerida.

Si bien no toda la información es utilizada en el modelo de calidad, existen informaciones muy necesarias para la adecuada implementación del modelo ambiental seleccionado, tal es el caso de la topo batimetría de la fuente, las alturas a ingresar al modelo, así como las coordenadas de los subtramos en la quebrada Santa Clara.

Reconocimiento de Campo

Se realiza visita técnica en la quebrada Santa Clara, en la misma se hace recorrido desde el centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza, hasta 600 metros aguas abajo del vertimiento generado por la actividad pedagógica, es claro visualizar que, para el entendimiento del modelo conceptual a generar, es necesario el conocimiento de la quebrada objeto de estudio, así como la visualización de los tributarios y captaciones en el cuerpo de agua objeto de estudio.

Durante la visita se identificaron los principales problemas asociados a contaminación antrópica, así como las condiciones particulares a tener en cuenta durante la implementación del modelo de calidad, como las características morfológicas del cauce, las características hidráulicas, georreferenciación de los puntos de interés, así como la determinación observación y planteamiento de los puntos en los cuales se desarrollarán los monitoreos de control.

La quebrada Santa Clara es una fuente de alta Montaña con comportamientos de Re aireación particulares, a evaluar de forma continua en el desarrollo del proyecto y vinculados a la formación de grandes caídas al interior del cuerpo de agua, formación de pozos y disminución o aumento de las velocidades en el tramo de observación marcadas por las características propias de la fuente, durante el recorrido inicial se busca identificar aquellos aspectos en los cuales se presentan posibles condiciones alternas, como lo son condiciones anaeróbicas de la fuente, y otras condiciones permanentes como lo son la sedimentación en el cuerpo de agua, las condiciones de flujo, las estructuras hidráulicas construidas en el tramo de estudio, las velocidades, profundidades y la toma de los registros fotográficos pertinentes.

En la quebrada Santa Clara se encuentran condiciones particulares marcadas por una reducción significativa de caudal en periodos de estiaje, sin pérdida permanente de flujo, estructura Box Culvert para paso de vía terciaria, ubicado muy cerca del punto de vertimiento del centro de formación, extracción de recurso marcado por toma ilegal del mismo ante ausencia de concesiones de agua que avalen dicho aprovechamiento en dos puntos del tramo, dos viviendas abandonadas y/o en desuso en inmediaciones a la mitad del tramo observado, así como viviendas cercanas a la fuente y en las cuales se evidencia presencia de tubería de alcantarillado hacia el cuerpo de agua, pero no se puede realizar la identificación de punto de descarga ante el enterramiento de la red respectiva antes del ingreso a la quebrada Santa Clara.

Dichas condiciones forman parte de las particularidades evaluadas en el cuerpo receptor y que deben ser tenidos en cuenta al momento de realizar la respectiva modelación de calidad, la identificación y georreferenciación de tributarios es elaborada posterior a la visita inicial la cual fue hecha en el mes de febrero de 2020, en una época del año donde las condiciones

climatológicas y los periodos de lluvia presentaban reducción significativa, evidenciando escenario de estiaje en la fuente receptora de vertimiento y posible reducción de tributarios no permanentes en el sistema objeto de evaluar, por dicho motivo, se observa nuevamente los tributarios existentes en las visitas técnicas correspondientes a los trazadores realizados en el desarrollo de la generación del plan de monitoreo requerido.

Identificación fuente hídrica receptora

La fuente receptora del vertimiento corresponde a corriente superficial, identificada con el nombre de quebrada santa Clara, ubicada en el municipio de Tena Cundinamarca, perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca Quebrada la Honda.



Figura 17. Quebrada Santa Clara

Fuente: Autor



Figura 18. Quebrada Santa Clara

Fuente: Autor

Perfil de la quebrada santa clara en el tramo evaluado

De acuerdo con las mediciones realizadas por el centro de formación, fue posible conocer el perfil altimétrico longitudinal que se presenta en la figura 19 , el mismo permite visualizar las alturas en los subtramos a alimentar como parte de la hidráulica del modelo qual2kw seleccionado.

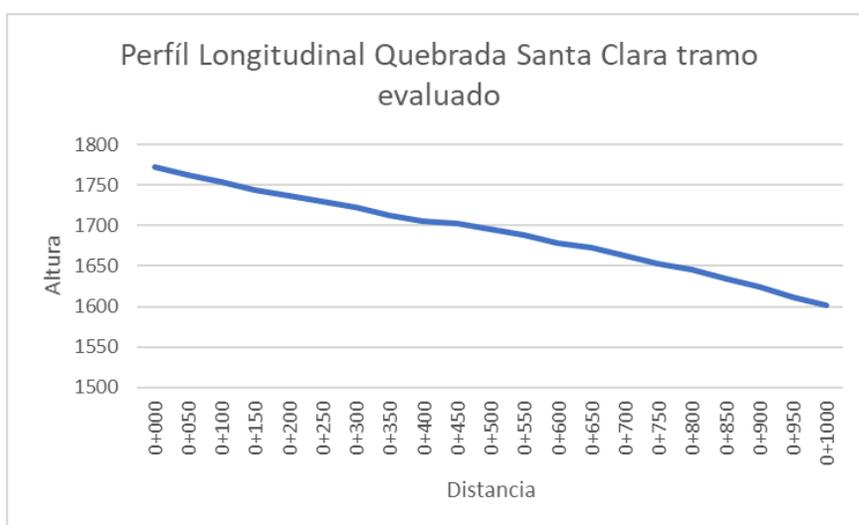


Figura 19. Perfil de la Quebrada.

Fuente: Autor

Pendientes y alturas de la quebrada santa clara

Se realiza la medición de la pendiente en el cuerpo de agua con base a las necesidades de evaluación previstas en el presente documento y en el marco de la modelación ambiental planteada, se realiza la medición en cuatro puntos utilizando para ello la información disponible en la topo batimetría de la fuente.

Para la determinación de la pendiente media en los tramos seleccionados, se calcula como la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida por su longitud total (Lc):

$$Sm = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{Lc}$$

Tabla 3 Pendientes

Punto	Pendiente (m/m)	%
Aguas Arriba a punto Intermedio	0.22	22
Punto Intermedio a Aguas Abajo	0.14	14

Fuente: Autor

De igual forma, se verifica las pendientes puntuales mediante la herramienta de análisis Ráster del programa QGIS, siendo acordes a las pendientes registradas en

Tabla 3.

A continuación, se determinan las alturas y pendientes de la fuente en el tramo de estudio basados en un modelo de elevación digital DEM Alos Palsar obtenido a partir de una imagen satelital, como resultado del proceso de modelación SIG se obtienen las imágenes a continuación generadas:

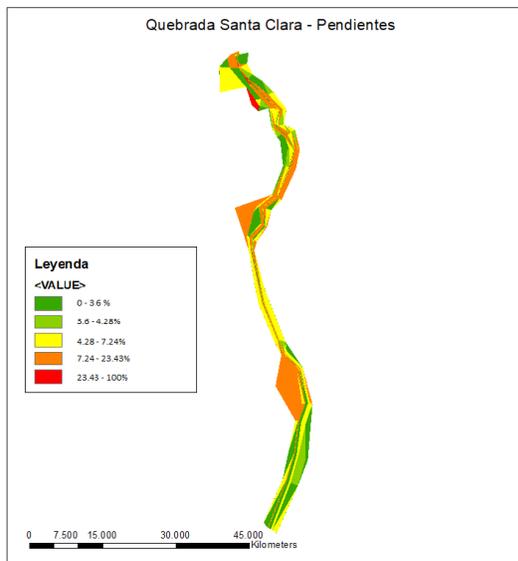


Figura 20. Mapa de Pendientes

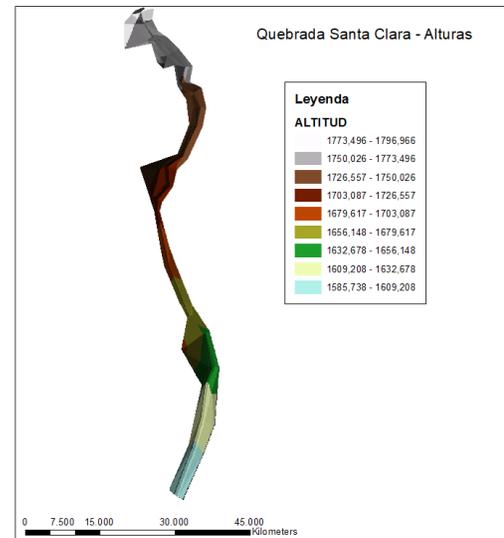


Figura 21. Mapa de alturas Quebrada Santa Clara

Quebrada Santa Clara.

Fuente: Autor

Fuente: Autor

Posterior a la determinación de las pendientes y alturas de la fuente se procede a referenciar el mapa de curvas de nivel asociado a la fuente hídrica, con la determinación de las cotas de inundación en el proyecto educativo Nuestra señora de la Esperanza.



Figura 22. Topo Batimetría Qda. Santa Clara Fuente: RFS Topografía

Fuente: Autor

Cobertura vegetal asociada a la quebrada santa clara

La cobertura vegetal asociada a la fuente Santa Clara corresponde a bosque Denso, con uso permitido para cultivos pecuarios no intensivos, acorde al mapa de cobertura vegetal, base cartográfica secretaria de planeación de la gobernación de Cundinamarca. El punto correspondiente al vertimiento del centro de formación a la quebrada Santa Clara se encuentra identificado en la Figura 23 con un círculo de color Naranja.

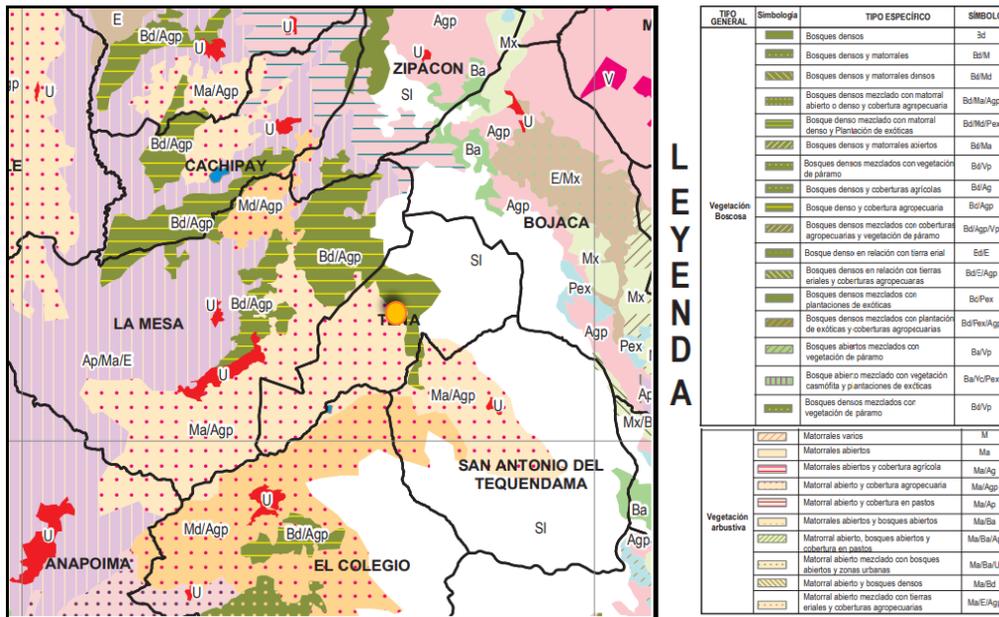


Figura 23. Mapa de Cobertura Vegetal

Fuente: Gobernación de Cundinamarca.

Descripción del material del lecho Quebrada Santa Clara

El lecho de la quebrada Santa Clara se encuentra conformado en su mayor parte por materiales no cohesivos, entre los cuales destacan los cantos, bloques y arenas, una parte menor de la fuente se encuentra conformado por roca (contorno fijo) en los cuales se ha generado el cauce producto de la socavación, se evidencia arrastre de bloques y piedra con acumulación de los mismos, producto de atrición generada en escenarios o periodos de aumento de caudal en el cuerpo de agua.

Estado actual de la Quebrada Santa Clara

La fuente hídrica en la que se realiza el vertimiento del proyecto Centro de Formación Nuestra Señora de la Esperanza es la quebrada Santa Clara.

Es tributaria de la quebrada la Honda, que a su vez es tributaria del río Bogotá. Sirve de abastecimiento para riego en su parte baja, la fuente es de carácter continuo, sin pérdida completa de caudales en periodos de estiaje, nace en la parte alta del predio Catalamonte abajo de la laguna Pedro Palo, a lo largo de su descenso va adquiriendo caudal propio de la llegada de afluentes a su cauce.

Se evidencia problemática asociada a residuos sólidos en la fuente de agua, producto de mala disposición de elementos sobre el cuerpo de agua y que acceden a la misma provenientes de la vía y predios aledaños, se observan botellas plásticas, maletines, empaques, plástico en general que puede ser retirado en campañas posteriores y con las cuales se iniciaría la recuperación del cuerpo de agua.



Figura 24. Residuos sólidos cerca al vertimiento

Fuente: Autor



Figura 25. Residuos sólidos Quebrada

Fuente: Autor

En contraste, se observan macroinvertebrados del género decápoda que evidencian conservación en los criterios de calidad, los mismos se observan antes y después del vertimiento realizado por el centro educativo Nuestra Señora de la Esperanza. (CIMA, 2019)

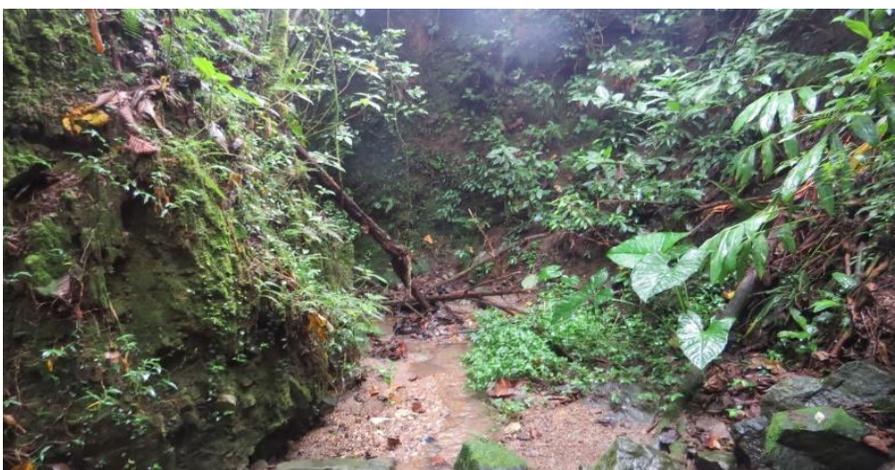


Figura 26. Quebrada Santa Clara, Aguas Arriba, 2019.

Fuente: Autor



Figura 27. Quebrada Santa Clara, Punto Intermedio del tramo, 2019.

Fuente: Autor

Acorde a las necesidades establecidas por la modelación ambiental del vertimiento, se procede a recolectar la información requerida para el ingreso de datos al modelo ambiental Qual2kw, en dicha fase del estudio, se realiza el levantamiento de información primaria, la información se recolecta conforme a la metodología definida, estableciendo como paso inicial la realización de trazadores en la fuente que permitan la determinación de los tiempos de viaje y curvas de caudal requeridas para el ingreso de información en el modelo ambiental.

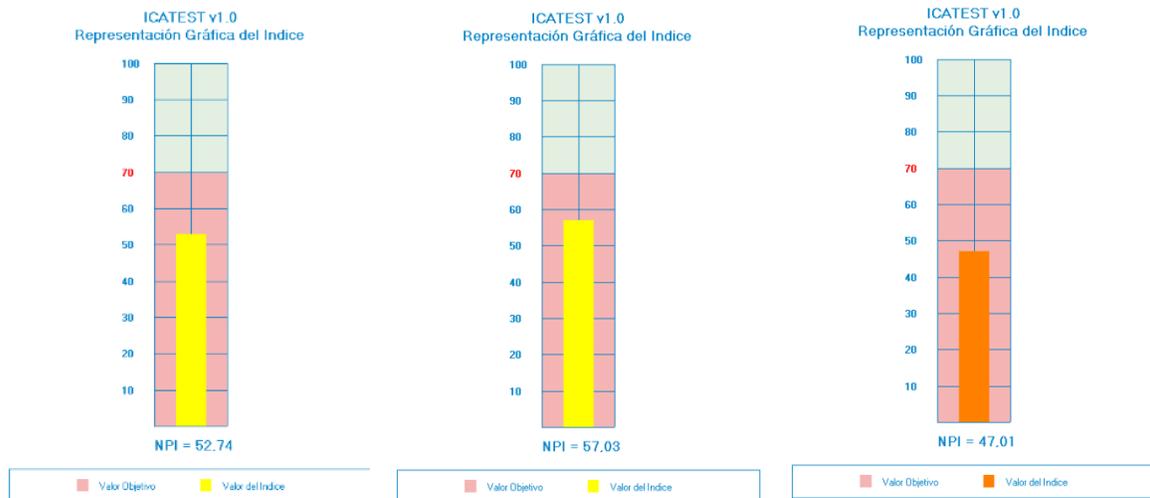
A continuación, se procede a describir los ensayos de trazadores realizados en la fuente receptora, se registra y entrega la información respectiva, para lo cual se apoya en un archivo Excel programado para la determinación de centroides y tiempos de viaje, realizando una descripción posterior del procedimiento realizado en campo.

El ICA OPI se encuentra ligado al análisis de la disponibilidad de oxígeno en un cuerpo de agua superficial, permite establecer la correlación en los determinantes seleccionados acorde a las actividades desarrolladas en el predio, el índice valora la afectación por carga orgánica en cuerpos de agua poco contaminados, lo que se adapta a la situación reflejada en la quebrada objeto de estudio.

Se calcula a partir de los determinantes, Amonio, DBO, DQO, OD, y Temperatura, datos disponibles en los resultados de laboratorio realizados sobre la quebrada Santa Clara, se calcula el índice de calidad para los puntos monitoreados en la campaña correspondiente al año 2020.

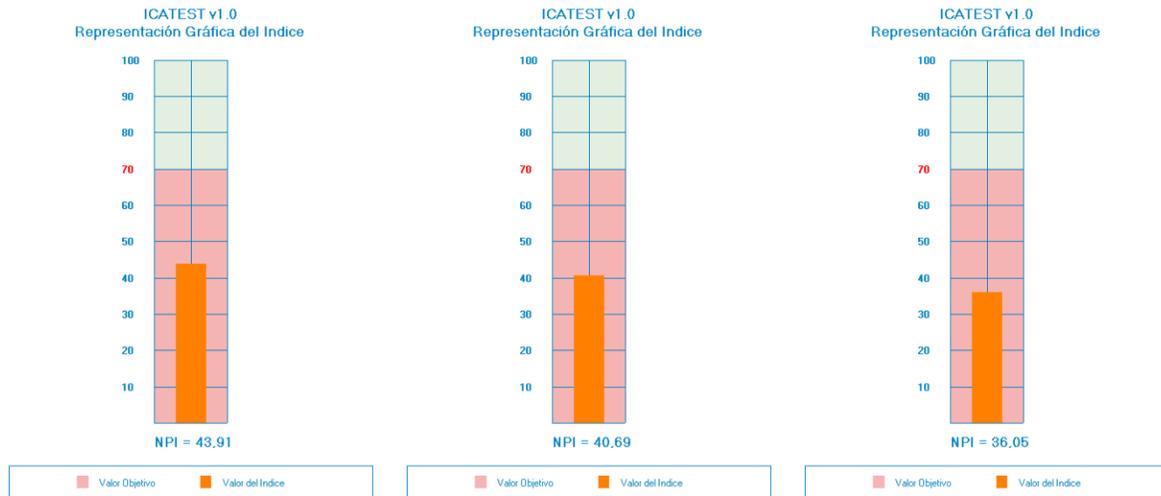
La estrategia AMOEBA busca integrar variables interrelacionadas en un solo indicador, de forma que se pueda observar las causas y efectos vinculados con el desarrollo de impactos ambientales asociados a vertimientos con características similares, se puede conducir el estudio a la interpretación de resultados a partir de vertimientos ocasionados por materia orgánica, a continuación, se relacionan las gráficas para cada uno de los puntos, para el escenario actual y crítico:

Escenario Actual:



Aguas arriba vertimiento 100 mts aguas Abajo del vert. 300 mts aguas Abajo del vert.

Escenario Crítico:



Aguas arriba vertimiento

100 mts aguas Abajo del vert.

300 mts aguas Abajo del vert.

lugar	Valor Índice	Valor objetivo (Holanda)
Escenario actual		
Aguas Arriba de vertimiento	52.74	70
100 metros aguas abajo de vertimiento	57.03	70
300 metros aguas debajo de vertimiento	47.01	70
Escenario Crítico		
Aguas Arriba de vertimiento	43.91	70
100 metros aguas debajo de vertimiento	40.69	70
300 metros aguas debajo de vertimiento	36.05	70

Los valores en el indicador más cercanos a 100 indican calidad del agua optima, mientras que aquellos valores tendientes a 0 indican una pésima calidad del agua, se puede observar una reducción en la calidad del agua de la fuente receptora en el escenario crítico con respecto a los mismos puntos analizados para el escenario actual de monitoreo, la reducción del caudal se encuentra vinculado con la pérdida de capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor, evidenciando cambios drásticos en la calidad del agua, un objetivo muy estricto planteado por el gobierno Holandés fija la cifra en un valor de 70 para aguas con aceptable grado de contaminación, en Colombia dicho análisis pasaría por debajo de la discusión al

encontrarse acorde a los criterios de calidad requeridos como objetivos de calidad de las fuentes hídricas y sus usos.

Ensayos de trazadores

Par la realización de la prueba de trazadores se contó con la colaboración de la empresa Umwelt Colombia SAS para el suministro de equipos y personal, así como para la movilización a los puntos requeridos en el municipio de Tena Cundinamarca.

Se elabora calibración inicial de los trazadores requeridos mediante la construcción de la curva de calibración de los equipos disponibles para la actividad.

Para ello, se genera medición de conductividad a una muestra de agua cruda, consistente en 10 litros de agua, adicionando 0.5 gramos de sal común entre medida y medida. Se realiza compra de báscula con capacidad y alcance para la medición requerida.



Figura 28. Calibración trazadores

Fuente: Autor

Como resultado, se obtiene la curva de calibración de los equipos utilizados en el desarrollo de las pruebas de trazadores, siendo necesarias para el entendimiento de la fuente y la determinación de los tiempos de arribo y tiempos de viaje requeridos.

Tabla 4 Calibración equipos

vol agua (L)	10			
			HACH HQ40D	APERA EC20
Gramos sal	mg sal	C sal (mg/l)	$\mu\text{s/cm}$	$\mu\text{s/cm}$
0	0	0	160	150,2
0,5	500	50	263	301
1	1000	100	375	400
1,5	1500	150	464	469
2	2000	200	562	570
2,5	2500	250	665	690
3	3000	300	732	755
3,5	3500	350	815	831
4	4000	400	922	919
4,5	4500	450	1010	1016
5	5000	500	1101	1128

Fuente: Autor

Una vez se realiza las mediciones correspondientes se procede a graficar la información obtenida dando como resultado las curvas de calibración de cada uno de los equipos utilizados, a continuación, se relacionan las curvas de calibración empleadas en el marco de la determinación de los tiempos de viaje para el diseño del plan de monitoreo en la fuente receptora:

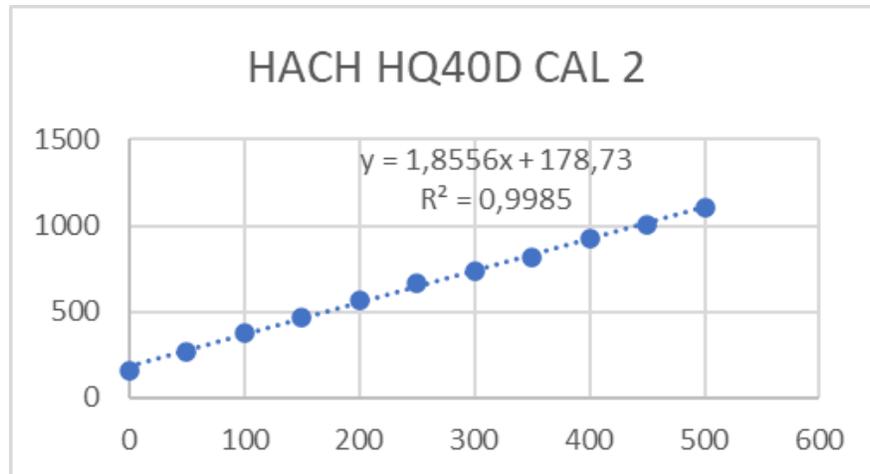


Figura 29. Calibración Hach HQ40D

Fuente: Autor

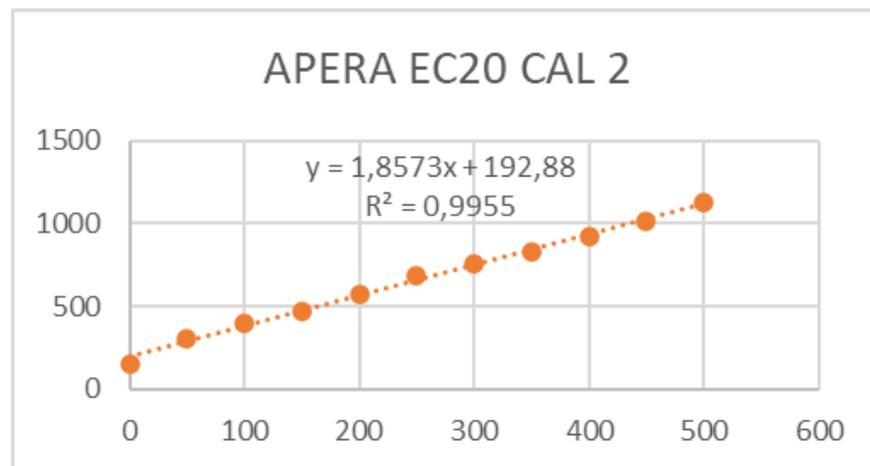


Figura 30. Calibración Apera Cond

Fuente: Autor

Una vez realizada la calibración de los equipos para la prueba requerida se procede a la programación de los trazadores requeridos, estableciendo un número mínimo de trazadores a desarrollar en el marco de la modelación ambiental establecidos en el presente documento.

Como primer paso metodológico, se procede a la medición de distancias en el cuerpo de agua, estableciendo mediciones de 400 metros posteriores al ingreso de vertimiento procedente del centro de formación Nuestra Señora de la esperanza, en la medición, se identifican las fuentes o tributarios que ingresan a la quebrada Santa Clara, así como vertimientos o aportes que puedan generar variaciones en el modelo de calidad.



Figura 31. Medición de longitud.

Fuente: Autor

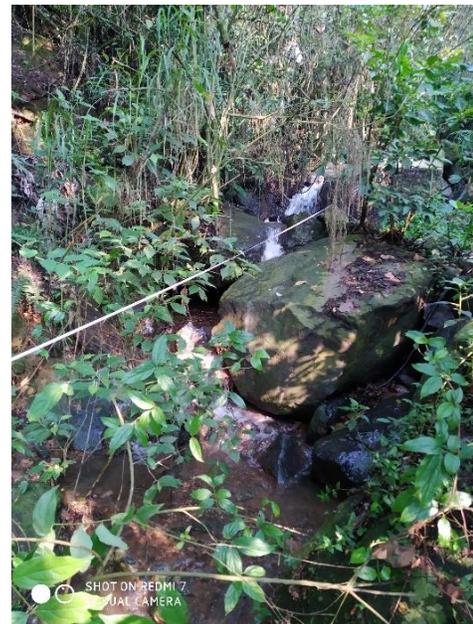


Figura 32. Identificación de Tributarios

Fuente: Autor

Se determinan los puntos en los cuales se dispondrá de equipo y personal para la realización de la medición de conductividad en el tramo seleccionado para estudio, se dispone de dos equipos de medición, un Hach HQ40D y un equipo Apera Conduc, se asigna un equipo a cada sitio seleccionado con el fin de que se utilice el mismo equipo en cada una de las mediciones planteadas.

Se tiene como resultado los datos obtenidos en las pruebas para cada uno de los sitios, se grafican y obtienen los centroides respectivos.

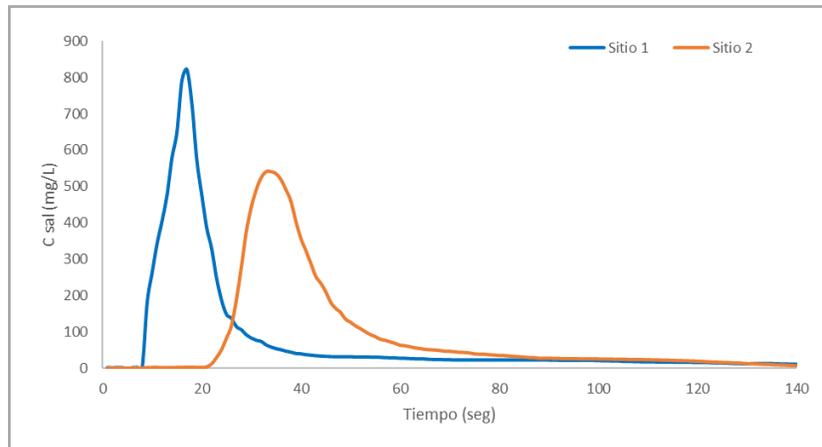


Figura 33. Trazador 1 Quebrada Santa Clara

Fuente: Autor

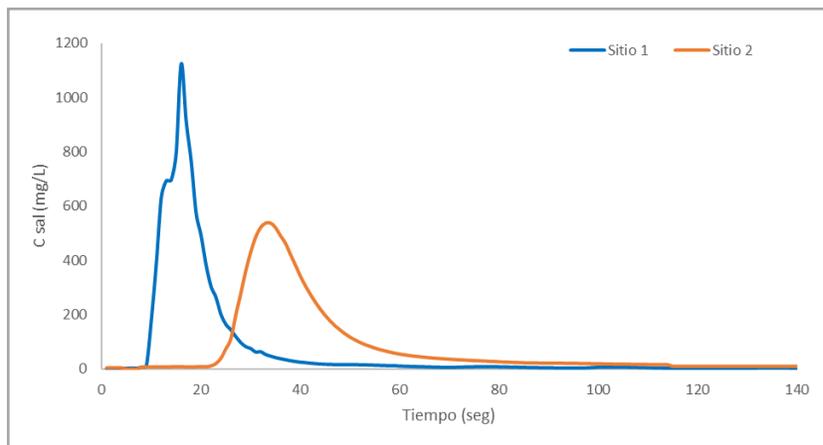


Figura 34. Trazador 2 Quebrada Santa Clara

Fuente: Autor

se cuenta con curva de calibración de caudal para escenarios de estiaje y periodos de lluvia elevados, de forma que, al momento de realización de los monitoreos de calidad integrados los mismos tengan en cuenta el tiempo de viaje más acorde a las condiciones del día en el cual se realiza los monitoreos.

Caudales

Para el cálculo de caudal se obtiene la masa del trazador inyectado y la longitud del tramo objeto de estudio, a diferencia de un caudal puntual el caudal medio del tramo permite observar el comportamiento de la fuente en la longitud del tramo objeto de estudio.

El caudal Q se obtiene conociendo la cantidad de masa M del trazador inyectado. (Guía nacional de Modelación del recurso Hídrico, 2018.) Con el fin de poder emplear la formula a continuación descrita, la duración del ensayo de trazadores se extiende hasta el regreso al valor de referencia (concentración de conductividad inicial) en el cuerpo de agua objeto de estudio :

$$Q = \frac{M}{\int_0^T c dt}$$

Ecuación 1. Ecuación de Caudal, Fuente: Guía Nacional de Modelación

El denominador de la anterior ecuación corresponde al área bajo la curva de concentración del trazador, medida en un punto localizado aguas abajo del sitio de inyección, a la cual se le debe remover previamente la concentración base. (Guía Nacional de Modelación del recurso Hídrico, 2018.)

Una vez obtenida la masa del trazador se cuenta con un caudal promedio de 4 litros por segundo en la fuente para el periodo de lluvias e inferior a 1 litro por segundo en periodos de estiaje. Por ello para la adecuada ejecución del plan de monitoreo se realiza aforo de caudal antes de la toma de muestras en los puntos definidos y se ajustan los tiempos de viaje al caudal registrado en el día de monitoreo, (caudales anexos al documento).

Estado de Ganancia Estable SSG

Es el estado de pérdida o ganancia de masa en el sistema, es una medida de la cantidad de masa que gana o pierde el sistema en el tramo seleccionado para estudio, sirve para determinar siendo los valores óptimos aquellos cercanos a 1, de forma que aquellos valores inferiores a 1 muestran una pérdida de masa y unos valores superiores a 1 una ganancia de masa, se estima de la siguiente manera:

$$SSG = \frac{\int_{sala} c dt}{\int_{entra} c dt}$$

Ecuación 2 Ecuación de Estado de ganancia Estable

Fuente: Guía Nacional de Modelación

Para los trazadores realizados en la Quebrada Santa Clara se cuenta con SSG de 1,03 y 0,97, siendo el error menor al 5% contemplado por la guía nacional de modelación del recurso hídrico.

A total S1	683,030
A total S2	701,676
SSG	1,03
Masa sal (kg)	3
Masa sal (kg)	3.000,000
Q1 (L/s)	4,39
Q2 (l/s)	4,28
Centroide S1 (segs)	2.053,78
Centroide S2(segs)	2.822,64
Diferencia centroides (segs)	768,85
Centroide S1 (mins)	34,23
Centroide S12(mins)	47,04
Diferencia centroides (mins)	12,81
Distancia Inyección - S1 (m)	100,00
Distancia S1 - S2 (m)	100,00
Vel Iny - S1 (m/s)	0,049
Vel S1 - S2 (m/s)	0,130
Tiempo al S1 (mins)	34,23
Tiempo al S2 (mins)	47,04
Tiempo al S1 (horas)	0,57
Tiempo al S2 (horas)	0,78

Figura 35. SSG Trazador 1

Fuente: Autor

A total S1	4.984,545
A total S2	4.843,001
SSG	0,97
Masa sal (kg)	3
Masa sal (kg)	3.000,000
Q1 (L/s)	0,60
Q2 (l/s)	0,62
Centroide S1 (segs)	11.449,41
Centroide S2(segs)	14.554,21
Diferencia centroides (segs)	3.104,80
Centroide S1 (mins)	190,82
Centroide S12(mins)	242,57
Diferencia centroides (mins)	51,75
Distancia Inyección - S1 (m)	70,00
Distancia S1 - S2 (m)	30,00
Vel Iny - S1 (m/s)	0,006
Vel S1 - S2 (m/s)	0,010
Tiempo al S1 (mins)	190,82
Tiempo al S2 (mins)	242,57
Tiempo al S1 (horas)	3,18
Tiempo al S2 (horas)	4,04

Figura 36. SSG Trazador 2

Fuente: Autor

Con los trazadores realizados se procede al cálculo de áreas bajo la curva para la determinación de los centroides de las curvas de concentración obtenidas. Una vez obtenida la información requerida se procede a calcular la diferencia entre los centroides para obtener el tiempo medio de viaje. se procede a realizar el cálculo de los tiempos de viaje para el tramo seleccionado:

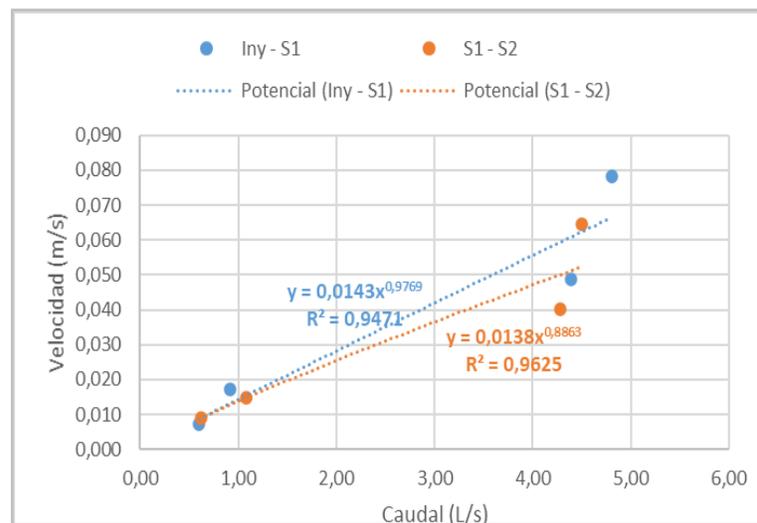


Figura 37. Tiempos de Viaje

Fuente: Autor

Generación del plan de Monitoreo

La quebrada Santa Clara presenta condiciones particulares de evaluación que permiten el seguimiento adecuado de la masa de agua, con el fin de dar cumplimiento a lo solicitado por la guía nacional de modelación del recurso hídrico, se realiza calibración de la curva de caudales acorde a los monitoreos realizados en la fuente hídrica receptora.

Una vez realizada la curva y calibrada la misma se utiliza en campo para definir los tiempos de toma de muestra acorde a los tiempos de viaje esperados versus el caudal medido en los puntos de monitoreo iniciales o fronteras del modelo.

Se realiza programación de monitoreo compuesto en el vertimiento en el proyecto.

Se calculan los tiempos de toma de muestra entre los puntos basados en los tiempos de viaje generados tras el análisis de las pruebas de trazadores, generando el plan de monitoreo y las horas en las cuales se debe realizar las muestras integradas, de la siguiente manera:

Tabla 5. Plan de monitoreo

Punto	Hora
Aguas arriba	9:20 am
100 m aguas abajo de vertimiento:	9:44 am
300 m aguas debajo de vertimiento.	10:06 am

Fuente: Autor

Una vez elaborado el plan de monitoreo, estableciendo los minutos entre las tomas de muestra se procede a realizar los monitoreos, acorde a la necesidad de seguimiento de la masa de agua.

Aguas Arriba del vertimiento:



Figura 38. Medición de caudal

Fuente: Autor



Figura 39. Toma de muestras

Fuente: Autor



Figura 40. Toma de muestra

Fuente: Autor

Punto Intermedio:



Figura 41. Medición de caudal

Fuente: Autor



Figura 42. Toma de muestras

Fuente: Autor



Figura 43. Medición in situ

Fuente: Autor

Punto Aguas Abajo del tramo:



Figura 44. Medición in situ

Fuente: Autor



Figura 45. Toma de muestras

Fuente: Autor

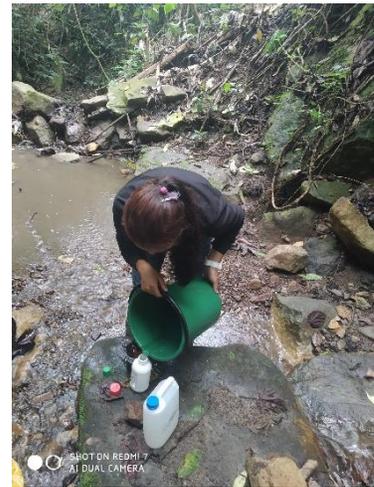


Figura 46. Toma de muestras

Fuente: Autor

Vertimiento:



Figura 47. Toma de muestras

Fuente: Autor



Figura 48. Medición del vertimiento

Fuente: Autor



Figura 49. Medición del caudal

Fuente: Autor

El monitoreo realizado en el vertimiento se realizó de manera compuesta, muestreo de 8 hora realizado al vertimiento del centro de formación el día 02 del mes 07 del año 2020, acorde a los requerimientos establecidos por la guía de modelación.

Datos de entrada al modelo qual2kw

Se realiza la identificación de las coordenadas y alturas disponibles en la topobatimetría realizada en la fuente receptora. A continuación, se relacionan los puntos ingresados al modelo qual2kw:

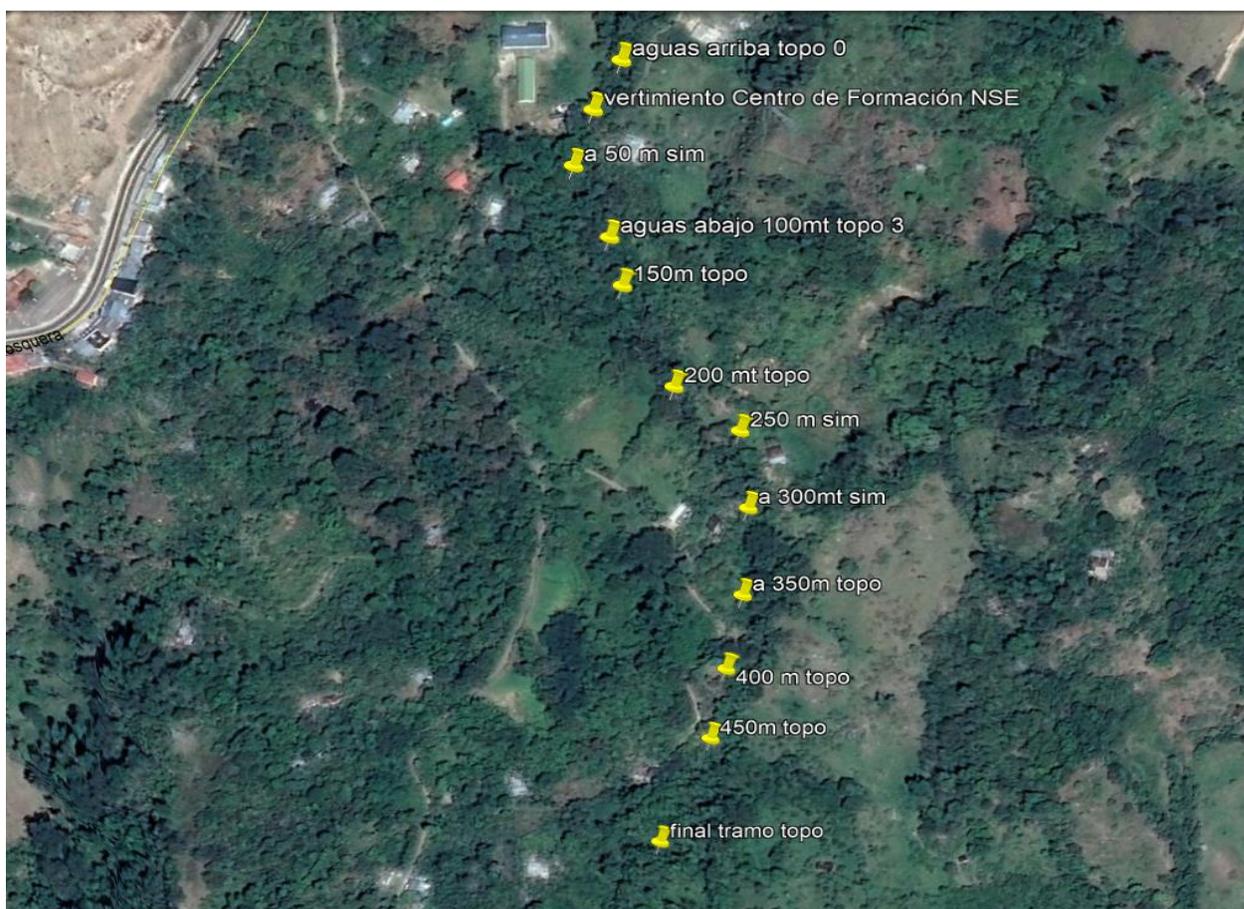


Figura 50. Localización puntos a ingresar al modelo Qual2kw

Fuente: Autor – Google Earth

Tabla 6 Coordenadas Topobatimetría

Latitud N			Longitud W		
4	40	9.91	74	22	55.22
4	40	8.90	74	22	55.80
4	40	7.70	74	22	56,20
4	40	6.13	74	22	55.52
4	40	5.09	74	22	55.30
4	40	2.91	74	22	54.39
4	40	1.92	74	22	53.10
4	40	0.15	74	22	52.97
4	39	58.11	74	22	53.10
4	39	56.32	74	22	53.49
4	39	54.60	74	22	53.86
4	39	51.98	74	22	54.99

Fuente: Autor

De igual forma se relacionan los reportes de laboratorio generados como resultado de los monitoreos en los 4 puntos de control en la sección de anexos.

Dado que en el momento de la realización del monitoreo se encontraba el país en emergencia sanitaria por covid 19, se elabora la modelación con el resultado del vertimiento caracterizado por el centro de formación a través del laboratorio Hidrolab Ltda, dicha

caracterización fue ejecutado de forma compuesta y en operación completa del centro educativo.

Se explica brevemente el tipo de hojas de datos de QUAL2Kw según su utilidad dentro del modelo.

El modelo ha sido desarrollado exitosamente en ríos de alta montaña con las variaciones pertinentes en su calibración, modelos aplicables a quebradas de alta montaña obedecen a los comportamientos propios de la quebrada Santa Clara, permiten la evaluación ambiental del vertimiento y su incidencia en la calidad del agua de la fuente a intervenir, siendo aplicables dada la precisión de los resultados obtenidos.

Se procedió a ejecutar evaluación de la quebrada en condiciones actuales, calibrando el modelo. De esta manera, se permite la evaluación óptima de los escenarios críticos acorde a las necesidades requeridas.

Dada su interfaz gráfica y de desarrollo, el modelo facilita su aplicación acorde al criterio del modelador, simulando la interacción entre sedimentos y el recurso hídrico, se ajustan las variables contempladas en la hoja de ingreso reach, acorde al sustrato observado y las medidas realizadas en la fuente objeto de modelación, simulando funciones como la velocidad de sedimentación, la concentración de parámetros en el agua.

El modelo permite interpretar los datos de la fuente como reactores independientes, permitiendo la simulación de los parámetros básicos de calidad de agua con base a criterios de calidad convencionales como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, ciclo del nitrógeno y del fósforo parámetros de interés prioritario en la modelación planteada.

En la pestaña 1, correspondiente a la hoja inicial del modelo qual2kw, identificamos el río y definimos el nombre del archivo de texto (con la extensión. q2k) en el que se guarda toda la información.

1	QUAL2Kw (version 5.1)		
2	Stream Water Quality Model		
3	<i>Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao</i>		
4	<i>Department of Ecology and Tufts University</i>		
5			
6			
7	System ID:		
8	River name	Quebrada Santa Clara, Centro de Formación Nuestra Señora de la Esperanza (Tena, Cundinamarca)	
9	Saved file name	SR_2020-08-11	
10	Directory where the input/output files are saved	C:\Users\USUARIO\Desktop\trabajo de grado\modelo	
11	Month	8	
12	Day	11	
13	Year	2020	
14	Local standard time zone relative to UTC	-5 hours	
15	Daylight savings time	Yes	
16	Simulation and output options:		
17	Calculation step	0,703125	minutes
18	Number of days	5	days
19	Solution method (integration)	Euler	
20	Solution method (pH)	Bisection	
21	Simulate hyporheic exchange and pore water quality	Level 1	
22	Display dynamic diel output	No	
23	State variables for simulation	All	
24	Simulate sediment diagenesis	Option 2	
25	Simulate alkalinity change due to nutrient change	Yes	
26	Write dynamic output of water quality	No	
27	Program determined calc step	0,703125	minutes
28	Time elapsed during last model run	707,28	minutes
29	Time of sunrise	6:54 AM	
30	Time of solar noon	1:02 PM	
31	Time of sunset	7:11 PM	
32	Photoperiod	12,28	hours

Figura 51. Hoja inicial modelo Qual2k

Fuente: Autor.

En la pestaña 2 ‘headwater’ se incorpora al modelo los datos de caudal de agua en la cabecera, de igual forma se define su calidad en función de una serie de parámetros indicadores. Se establece un modelo estacionario.

Se analizaron variaciones entre el ingreso de DBO Fast como la DBO_5 y como el resultado de la multiplicación entre la $DBO_5 * 1,41$ documentado por Sierra, visualizando un mejor comportamiento en la forma de ingreso inicial, es decir, ingresando la DBO_5 como el valor de DBO Fast documentada en la evaluación ambiental del río palo en Cauca realizada por la corporación autónoma regional del Cauca. se descartó el uso de la metodología planteada por Sierra al arrojar mayor variación con el determinante simulado, por lo cual para el modelo ambiental de la quebrada Santa Clara se ingresó al modelo la DBO_5 como DBO Fast.

De igual forma, se evalúan dos metodologías de ingreso para la DBO lenta, la primera consistente en la resta entre la DBO ultima y la DBO_5 , y la segunda metodología consistente en la resta del valor reportado para la DQO y la DBO_5 .

se encuentra un ajuste más completo realizando la resta entre la DQO y la DBO_5 , por lo cual, para la quebrada Santa Clara se ingresó la resta entre el valor registrado para la DQO y el valor registrado para la DBO_5 .

Se evalúa las formas de fosforo orgánico como la resta entre el fosforo total y el fosforo inorgánico documentado por el Dr. en hidráulica Javier E. Holguín González en el estudio Integrated ecological modelling for decision support in the integrated urban water System modelling of the Drava river.

Se evalúa e incorpora el fosforo inorgánico como los Ortofosfatos acorde a los estipulado y documentado por el Dr. en hidráulica Javier E. Holguín González.

QUAL2Kw										
Stream Water Quality Model										
Quebrada Santa Clara, Centro de Formación Nuestra Señora Esmeralda (Teniente Fierro, marca) (8/11/2020)										
Headwater and Downstream Boundary Data:										
Headwater Flow	0,005	m3/s								
Prescribed downstream boundary?	No									
Headwater Water Quality	Units		12:30 a. m.	1:30 a. m.	2:30 a. m.	3:30 a. m.	4:30 a. m.	5:30 a. m.	6:30 a. m.	7:30 a. m.
Temperature	C		18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
Conductivity	umhos		64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5
Inorganic Solids	mgD/L									
Dissolved Oxygen	mg/L		6,57	6,57	6,57	6,57	6,57	6,57	6,57	6,57
CBODslow	mgO2/L		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CBODfast	mgO2/L		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Organic Nitrogen	ugN/L		4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00	4000,00
NH4-Nitrogen	ugN/L		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
NO3-Nitrogen	ugN/L		660,00	660,00	660,00	660,00	660,00	660,00	660,00	660,00
Organic Phosphorus	ugP/L									
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L									
Phytoplankton	ugA/L									
Detritus (POM)	mgD/L									
Pathogen	cfu/100 mL									
Generic constituent	user defined									
Alkalinity	mgCaCO3/L		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
pH	s.u.		6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96

Figura 52. Hoja 2 - Headwater

Fuente: Autor

Las pestañas de punto de rocío y temperatura del aire son importantes cuando queremos simular variaciones horarias de calidad del agua en el caso del presente modelo se realiza una evaluación estacionaria con datos constantes acorde a la disponibilidad de información y al uso de información proveniente de los atlas IDEAM de información meteorológica, así como información de estación IDEAM aledaña a la ubicación del proyecto.

QUAL2Kw Stream Water Quality Model Quebrada Santa Clara, Centro de Formación Nuestra Señora de la Paz, Cundinamarca (8/11/2020)														
Air Temperature Data:														
Upstream	Reach	Downstream	Reach	Upstream	Downstream	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM
Label	Label	Label	Number	Distance	Distance	Hourly air temperature for each reach (degrees C)								
<i>(The input values are applied as point estimates at each time. Linear interpolation is used to estimate values b</i>														
Aguas arriba QSC		vertimiento Formemos	1	0,60	0,55	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
			2	0,55	0,50	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
		Punto aguas Abajo 1	3	0,50	0,45	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
Punto aguas Abajo 100 mts			4	0,45	0,40	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
		Quebrada N.N	5	0,40	0,35	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
Quebrada N.N			6	0,35	0,30	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
		Punto Aguas Abajo 3	7	0,30	0,25	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
Punto Aguas Abajo 300 mt			8	0,25	0,20	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
			9	0,20	0,15	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
			10	0,15	0,10	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
		fin del tramo	11	0,10	0,05	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80

Figura 53. Hoja Temperatura del aire.

Fuente: Autor

QUAL2Kw Stream Water Quality Model Quebrada Santa Clara, Centro de Formación Nuestra Señora de la Paz, Cundinamarca (8/11/2020) Dew Point Temperature Data:														
			Open File		Run VBA		Run Fortran							
Upstream	Reach	Downstream	Reach	Upstream	Downstream	12:00 a. m.	1:00 a. m.	2:00 a. m.	3:00 a. m.	4:00 a. m.	5:00 a. m.	6:00 a. m.	7:00 a. m.	8:00 a. m.
Label	Label	Label	Number	Distance	Distance	Hourly dewpoint temperature for each reach (degrees C)								
<i>(The input values are applied as point estimates at each time. Linear interpolation is used to estimate values b</i>														
Aguas arriba QSC		vertimiento Formem	1	0,60	0,55	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
vertimiento Formemos			2	0,55	0,50	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
		Punto aguas Abajo 1	3	0,50	0,45	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
Punto aguas Abajo 100 mts			4	0,45	0,40	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
		Quebrada N.N	5	0,40	0,35	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
Quebrada N.N			6	0,35	0,30	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
		Punto Aguas Abajo 3	7	0,30	0,25	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
Punto Aguas Abajo 300 mt			8	0,25	0,20	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
			9	0,20	0,15	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
			10	0,15	0,10	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60
		fin del tramo	11	0,10	0,05	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60

Figura 54. Hoja Punto de Rocío.

Fuente: Autor

Determinación de las constantes empleadas

Las constantes de reacción, velocidad de reoxigenación, en general los parámetros que permiten cuantificar el efecto de la temperatura en las reacciones se definen de dos formas, subtramo a subtramo en la hoja de trabajo ‘*Reach Rates*’, o mediante valor único al tramo de la fuente en la pestaña ‘*Rates*’. La calibración inicial se elaboró fijando los valores en *Reach Rates*, conservando los rangos establecidos por Chapra y Pelletier según los datos de la tabla 7.

Tabla 7. Constantes cinéticas teóricas para calibración del modelo.

Parámetro de Calibración	Abreviación	Unidades	Rango de Calibración
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánicos	VS-SSI	m/d	0-2
Tasa de re aireación	Ka	1/d	Auto-selección
Tasa de hidrólisis de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa hidrólisis DBO Slow	1/d	0 – 4.2
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición	Tasa oxidación DBO Slow	1/d	0 – 4.2
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida descomposición	Tasa de oxidación DBO Fast	1/d	0-5
Hidrólisis de Nitrógeno Orgánico	Hidrólisis NO	1/d	0-5
Velocidad de sedimentación del nitrógeno Orgánico	VS-NO	m/d	0.001-0.1
Tasa de nitrificación de amonio	Tasa de nitrificación	1/d	0-10
Tasa de desnitrificación de nitratos	Tasa de desnitrificación	1/d	0-2
Coefficiente de transferencia por desnitrificación de sedimentos	CT-Desnitrificación SED	m/d	0-1
Hidrólisis del Fosforo orgánico	Hidrólisis PO	m/d	0.001-0.7
Velocidad de sedimentación de Fósforo orgánico	VS-PO	1/d	0-2
Velocidad de sedimentación de Fósforo Inorgánico	VS-PI	m/d	0-2
Hidrólisis de la materia orgánica particulada POM	Hidrólisis POM	m/d	0-5
Velocidad de sedimentación de POM	VS-POM	1/d	0-5

Fuente: (Chapra, 1997; Kannel et.al., 2007; Pelletier et.al., 2003).

Parámetro de Calibración	Abreviación	unidades	Rangos de calibración	valor utilizado
Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos inorgánicos.	VS-SSI	m/d	0-2	0.3027
Tasa de reaireación.	Ka	1/d	Autoselección	112
Tasa de hidrolisis de la materia orgánica de lenta descomposición.	Tasa hidrolisis DBO Slow	1/d	0-4.2	2.2483
Tasa de oxidación de la materia orgánica de lenta descomposición.	Tasa Oxidación DBO Slow	1/d	0-4.2	0.48879
Tasa de oxidación de la materia orgánica de rápida descomposición.	Tasa Oxidación DBO Fast	1/d	0-5	2
Hidrólisis de Nitrógeno orgánico.	Hidrólisis NO	1/d	0-5	4.0735
Velocidad de Sedimentación del Nitrógeno Orgánico.	VS-NO	m/d	0.001-0.11	0.1091
Tasa de nitrificación del Amonio.	Tasa de Nitrificación	1/d	0-10	1.4074
Tasa de desnitrificación del Amonio	Tasa de desnitrificación	1/d	0-2	1.48932
Coeficiente de transferencia por	CT-	m/d	0-1	0.66486

Desnitrificación de sedimentación.	Desnitrificación SED			
Hidrólisis del Fosforo Orgánico	Hidrolisis PO	m/d	0.001-0.7	3.91055
Velocidad de Sedimentación del Fosforo Orgánico.	VS-PO	1/d	0-2	0.39438
Velocidad de Sedimentación del Fosforo Inorgánico.	VS-PI	m/d	0-2	0.7
Hidrólisis de la materia orgánica Particulada.	Hidrolisis POM	m/d	0-5	2.2853
Velocidad de sedimentación de PO	VS-POM	1/d	0-5	4.8238

Fuente: Autor, 2020.

Después de haber iniciado la calibración del modelo con la incorporación de constantes en la hoja Rates, se hace la validación mediante el uso de algoritmos genéticos y una nueva modificación entorno a constantes cinéticas que se adapten al comportamiento de la fuente.

Para el cálculo de la tasa de reaireación se tiene en cuenta Fórmula de Churchill, Elmore y Buchingam (1962), estos autores se basaron en el conjunto de medidas probablemente más completo y preciso disponible en la fecha en la que realizaron su estudio. Realizando la misma aproximación que O'Connor y Dobbins. Desarrollaron la siguiente expresión para K_2 a 20 grados centígrados:

$$K_2 = 5.026 \frac{v}{H^{1.673}}$$

En donde:

V: Velocidad media (m/s).

H: Profundidad media (m).

K₂: Tasa de reaeración.

Calibración modelo

Se genera calibración con constantes cinéticas, calculadas (tasa de reaeración) y teóricas (tabla 7.), sin que la calculada se encuentre fuera de los rangos de calibración documentados, definiendo el accionar del modelo de simulación en aquellas tasas y constantes que mejor se adapten a las condiciones iniciales, sin embargo, se evalúa validación del modelo con constantes teóricas en la hoja *Reach Rates*.

Una vez realizada la calibración manual se procede a realizar la calibración por algoritmo genético PIKAIA disponible en el qual2kw para la optimización del modelo ambiental seleccionado. Para iniciar el proceso de optimización de variables de entrada al algoritmo genético en el modelo, siguiendo las recomendaciones establecidas en el manual de usuario del correspondiente modelo QAL2KW, se procede a ingresar los valores de auto calibración acorde a las recomendaciones establecidas en la hoja de cálculo.

Auto-calibration genetic algorithm control:		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	10	np
Generations in the evolution	200	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	3	icross
Crossover probability (0-1):	0,85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0,005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0,0005	pmutmn
Maximum mutation rate (0-1):	0,25	pmutmx
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

Figura 55. Calibración de prueba

no empleada en el modelo final

Fuente: Autor

Auto-calibration genetic algorithm control:		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	200	np
Generations in the evolution	50	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	3	icross
Crossover probability (0-1):	0,85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0,005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0,0005	pmutmn
Maximum mutation rate (0-1):	0,25	pmutmx
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

Figura 56. Selección de la calibración final

Fuente: Autor

Se evalúan variaciones en la auto calibración hasta obtener los mejores resultados disponibles con base a lo requerido en el desarrollo de la actividad planteada.

De igual forma aquellas tasas cuya calibración manual fue óptima y se encuentren en los rangos establecidos de calibración, son ingresadas a la hoja Rates, para realizar un nuevo proceso de calibración que permita el ajuste de los determinantes críticos acorde a la ponderación escogida en la hoja fitness.

Como resultado se calibra el modelo teniendo en cuenta los ajustes realizados durante la implementación del mismo y la sensibilidad e incertidumbre requeridas para su implementación, a continuación, se presenta el escenario de calibración para los determinantes críticos seleccionados para la evaluación ambiental del vertimiento:

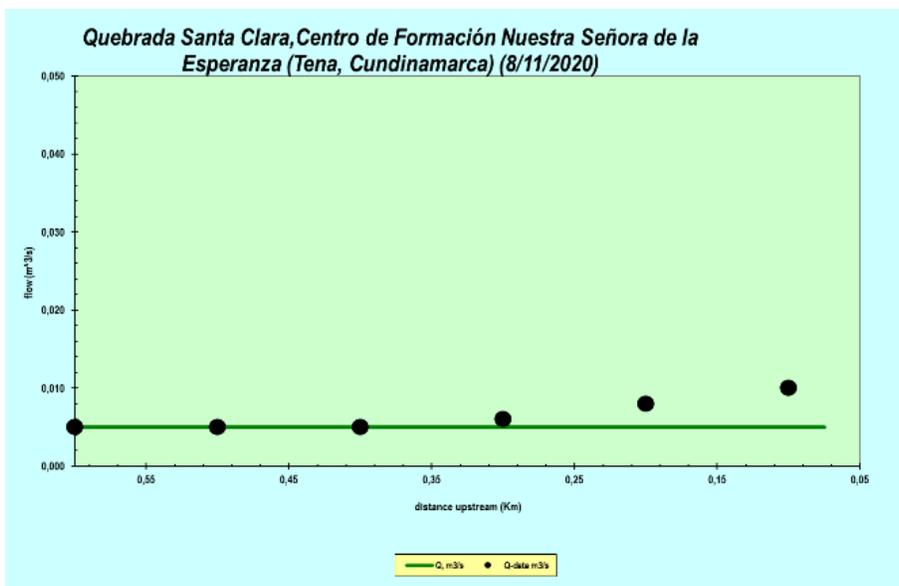


Figura 57. Caudal

Fuente: Autor

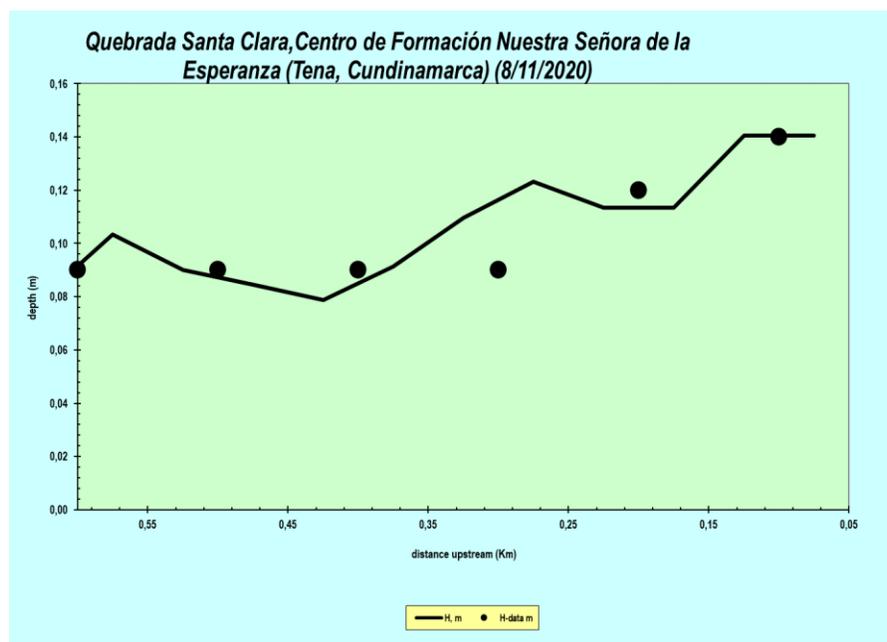


Figura 58. Profundidad

Fuente: Autor

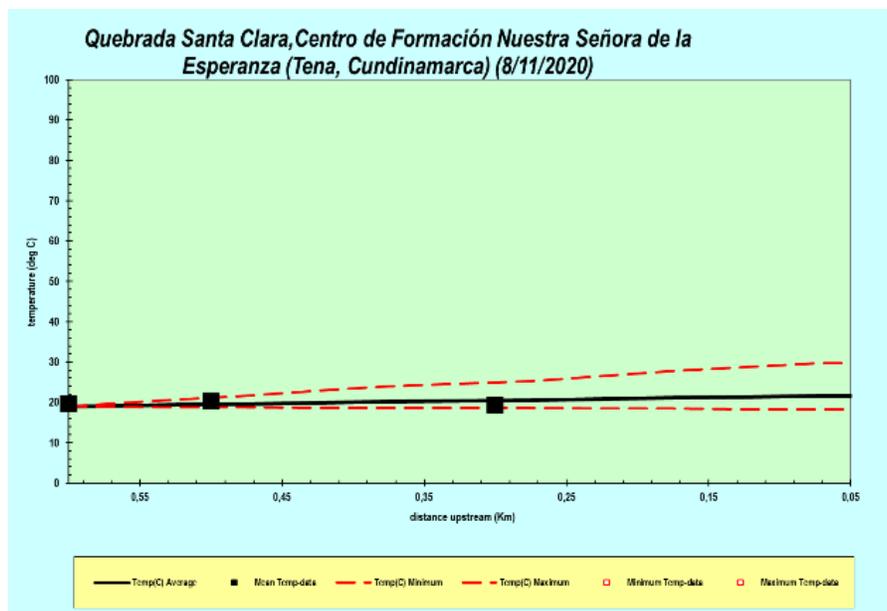


Figura 59. Temperatura

Fuente: Autor

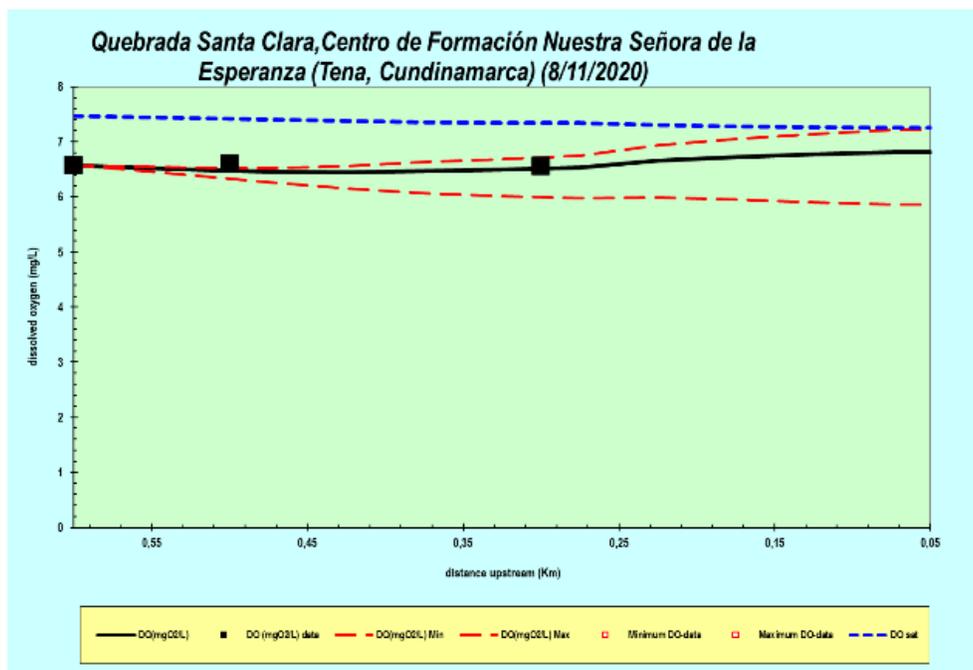


Figura 60. Oxígeno disuelto

Fuente: Autor

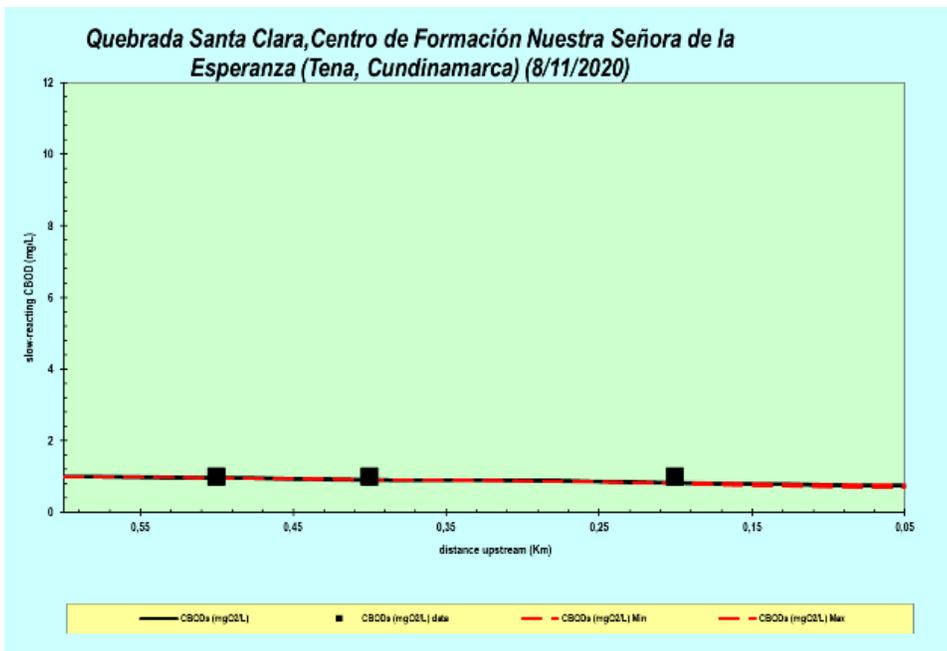


Figura 61. DBO lenta

Fuente: Autor

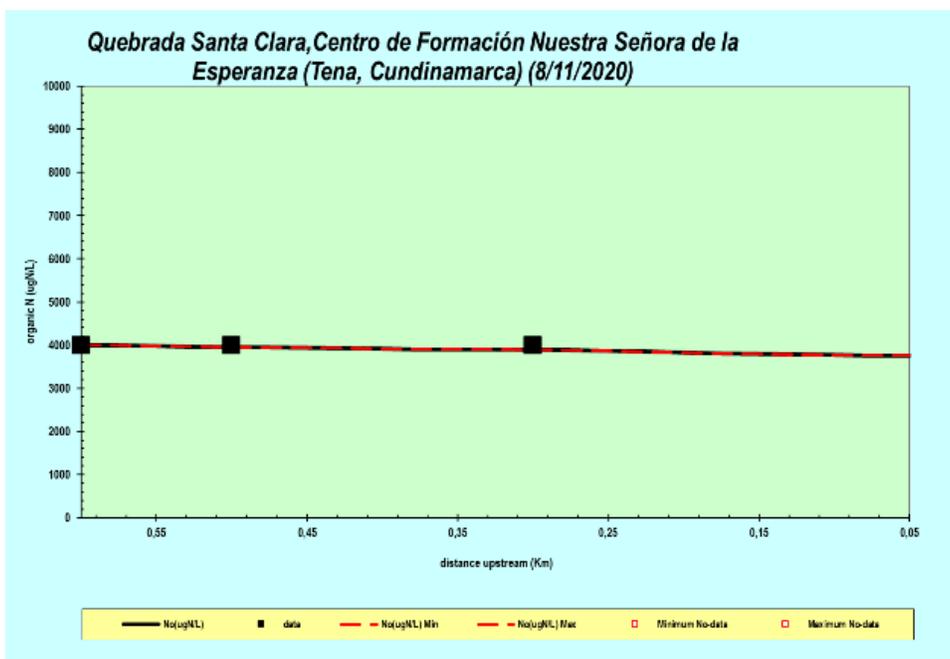


Figura 62. Nitrógeno orgánico

Fuente: Autor

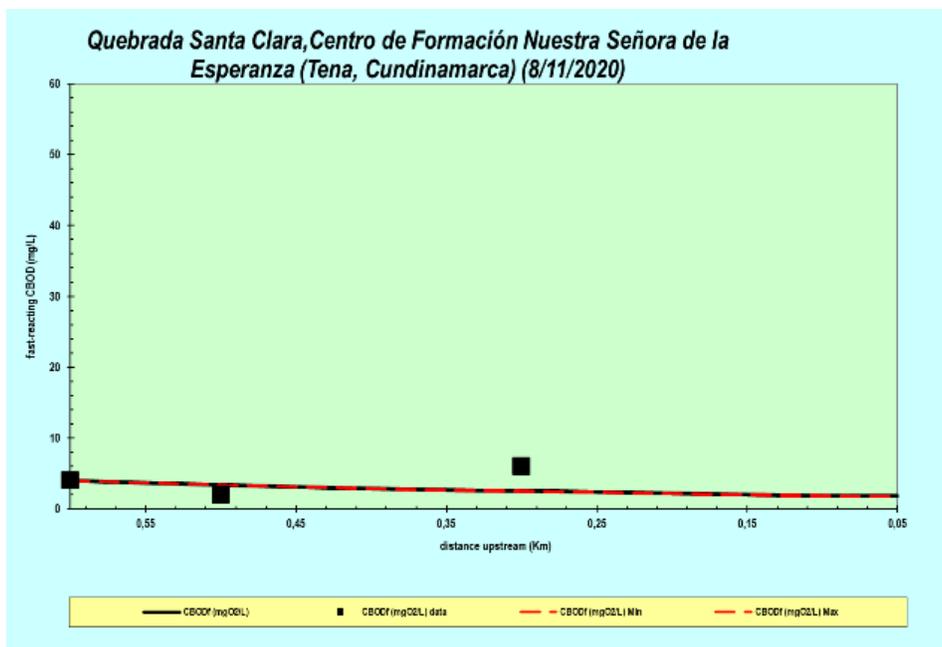


Figura 63. DBO rápida

Fuente: Autor

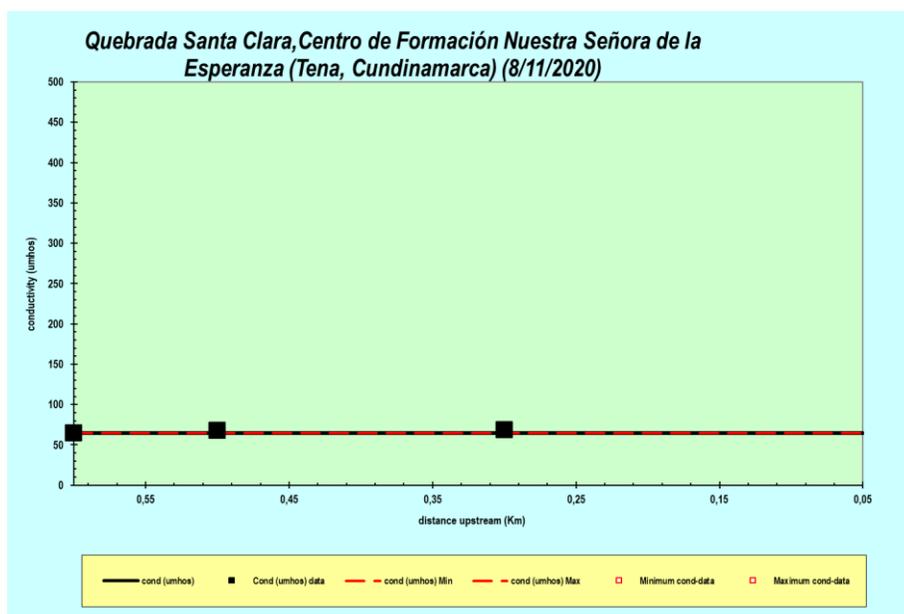


Figura 64. Conductividad

Fuente: Autor

Una vez realizada la calibración, tanto manual como por algoritmo genético Pikaia se procede al planteamiento y simulación de escenarios que permitan evaluar la capacidad de la fuente para la asimilación de contaminantes acorde al tipo de vertimiento generado.

Simulación de Escenarios

Para la simulación de escenarios, se tiene en cuenta las condiciones medias, y las condiciones extremas o críticas como pueden ser el caudal mínimo y máximo, en el marco del vertimiento al cuerpo de agua receptor, es decir, aquellas situaciones acciones o cambios en la dinámica del agua residual en el sistema encargado del tratamiento de las mismas que puedan generar cambio en su vertimiento.

Para el planteamiento de las mismas se tiene en cuenta las dinámicas establecidas en el área de influencia directa e indirecta, así como las variaciones al interior del proyecto.

Eventualidades como los cortes de energía asociados al área de influencia o los eventos de remoción en masa, hacen posibles escenarios como el vertimiento sin tratamiento, a su vez fenómenos como el del niño o el de la niña establecen la probabilidad de ocurrencia de eventos de inundación o estiajes que reduzcan el caudal en la fuente, tal como se registró en la primera campaña de ensayos de trazadores. Para la presente evaluación se tendrán en cuenta los siguientes escenarios:

- Escenario 1. Actual o de calibración
- Escenario 2. Vertimiento sin tratamiento (sin variación de caudal en la fuente receptora)
- Escenario 3. Crítico - Vertimiento sin tratamiento con uso de caudal en la fuente receptora.

- Escenario 4. Caudal mínimo en la fuente receptora con vertimiento actual

Vertimiento sin tratamiento (sin variación de caudal en la fuente receptora)

El escenario planteado permite evaluar la asimilación de determinantes en el cuerpo de agua receptor ante modificaciones en la planta que ocasionen un deterioro en la calidad del vertimiento generado, entregando el agua residual sin tratamiento alguno al cuerpo de agua.

Se ingresa al modelo los datos de vertimiento sin tratamiento contemplados en los diseños de la planta de tratamiento, se comparan los mismos con las cargas teóricas, calculadas acorde al documento RAS 2000 de forma que se utilicen aquellos valores resultantes más altos con el fin de evaluar la capacidad de recuperación de la fuente receptora.

Una vez ingresados los datos críticos de vertimiento en el sistema de tratamiento se evalúa como probable la ocurrencia de los mismos, toda vez se cuenta con registros de pérdida de continuidad en el fluido eléctrico en el municipio de Tena durante el último año, lo que ante la falta de un sistema auxiliar que permita el tratamiento durante la situación descrita convierte el escenario como una de las situaciones a evaluar durante el desarrollo de las actividades educativas en el predio.

El escenario crítico debe abordar aquellas situaciones que de forma temporal o permanente ocasionen un deterioro de la fuente receptora, se evidencia régimen de lluvias variable, pero sin pérdida de precipitación en las estaciones CAR laguna Pedro Palo y Pluviométrica del IDEAM 35060100 escuela Tena, pese a ello para el escenario crítico se plantea reducción del caudal registrado en el monitoreo al mínimo establecido durante los ensayos de trazadores.

El modelo simula las concentraciones estimadas en el tramo de evaluación seleccionado, de forma que puedan ser comparados con los resultados de los escenarios adicionales

evaluados, a continuación, se relacionan los resultados obtenidos frente a los cambios realizados en la modelación inicial:

QUAL2Kw
Stream Water Quality Model
Quebrada Santa Clara, Centro de Formación Profesional de la Región de la Tena, Cundinamarca) (8/11/2020)
Constituent Summary

Open File Run VBA Run Fortran

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)	CBODf (mgO2/L)	No(ugN/L)	NH4(ugN/L)	NO3(ugN/L)	Inorg P (ugP/L)	Alk	pH
Aguas arriba QSC	0,60	64,50	0,00	6,57	1,00	4,00	4000,00	1000,00	660,00	0,00	100,00	6,96
	0,58	64,50	0,00	6,55	0,99	3,81	3988,08	977,47	675,15	0,13	99,86	7,08
	0,53	64,50	0,00	6,49	0,97	3,53	3968,70	925,72	703,84	0,38	99,58	7,25
	0,48	64,50	0,00	6,45	0,95	3,27	3950,22	878,66	725,64	0,63	99,33	7,40
	0,43	64,50	0,00	6,44	0,93	3,01	3928,96	828,47	741,56	0,92	99,09	7,57
	0,38	64,50	0,00	6,47	0,90	2,75	3905,72	775,47	760,81	1,21	98,83	7,74
	0,33	64,50	0,00	6,49	0,89	2,61	3893,04	745,23	780,20	1,32	98,65	7,83
	0,28	64,50	0,00	6,53	0,87	2,46	3879,01	713,05	802,18	1,43	98,46	7,93
	0,23	64,50	0,00	6,66	0,84	2,27	3845,05	648,38	820,30	1,78	98,16	8,12
	0,18	64,50	0,00	6,73	0,80	2,10	3811,36	591,12	830,05	2,11	97,92	8,27
	0,13	64,50	0,00	6,77	0,77	1,95	3782,10	544,72	847,22	2,34	97,69	8,37
	0,08	64,50	0,00	6,81	0,75	1,81	3753,05	503,62	858,35	2,55	97,49	8,44
Terminus	0,05	64,50	0,00	6,81	0,75	1,81	3753,05	503,62	858,35	2,55	97,49	8,44

Figura 65. Resultados segundo escenario

Fuente: Autor

En los 600 metros evaluados se observan pequeñas variaciones frente al escenario de calibración, sin embargo, las variaciones permiten visualizar cumplimiento de los objetivos de calidad trazados para el río Bogotá y sus afluentes acordes a la clase II establecida por la corporación CAR Cundinamarca para el área de influencia directa, a continuación, se relacionan los valores objetivo para la Quebrada Santa Clara, clase II, del acuerdo CAR 043 de 2006:

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MAS RESTRICTIVO (MÁXIMO QUE SE PUEDE OBTENER)
PARAMETROS ORGANICOS		
DBO	mg/L	7
OD	mg/L	>4
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	20000
PARAMETROS NUTRIENTES		
NITRATOS	mg/L	10
NITRITOS	mg/L	10
SOLIDOS		
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	10
PARAMETROS DE INTERES SANITARIO		
AMONIACO	CL 96/50	1
ARSÉNICO	CL 96/50	0,05
BARIO	CL 96/50	1
BERILIO	CL 96/50	0,1
CADMIO	CL 96/50	0,01
CIANURO LIBRE	CL 96/50	0,2
CINC	CL 96/50	2
CLORUROS	mg/L	250
COBALTO	mg/L	0,05
COBRE	CL 96/50	0,2
COLOR	Unidades escala Platino - Cobalto	75
COMPUESTOS FENOLICOS	mg/L	0,002
CROMO (Cr+6)	mg/L	0,05
DIFENIL POLICLORADOS	Concentración de Agente Activo	No detectable
MERCURIO	mg/L	0,002
PH	Unidades	5,0-9,0
PLATA	mg/L	0,05
PLOMO	mg/L	0,05
SELENIO	mg/L	0,01
SULFATOS	mg/L	400
TENSOACTIVOS	mg/L	0,5
VANADIO	mg/L	0,1

Fuente: CAR Cundinamarca, Acuerdo 043 de 2006

Pese a ello concentraciones evaluadas para nitrógeno orgánico y amonio presentan pequeños aumentos que deben tener seguimiento con el fin de evitar eventos de eutrofización en áreas riparias de la fuente ante fenómenos de estiaje que reduzcan el caudal en el cuerpo de agua.

Vertimiento sin tratamiento con uso de caudal mínimo en la fuente receptora.

El escenario planteado contempla un vertimiento sin tratamiento en una eventualidad en la cual la fuente ha registrado pérdida de caudal vinculada a fenómenos de estiaje con reducción casi total del cuerpo de agua, se establece el escenario ante la posibilidad de materialización, siendo evaluada la capacidad de asimilación del cuerpo de agua, se tiene en cuenta la pendiente alta registrada en el área de influencia, así como los coeficientes de Manning obtenidos en el proceso de calibración.

Para el escenario se utilizan las tasas cinéticas del escenario actual, a excepción de la tasa de reaireación, la misma se reduce en proporción a la reducción de caudal en la fuente receptora, toda vez se encuentra ligada a la velocidad y profundidad en el cuerpo de agua.

Un cambio en el caudal acarrea una reducción en las tasas de Re aireación con una reducción significativa de la misma reflejada en el modelo para la adecuada corrida del mismo.

De igual forma, se varían las tasas de nitrificación, y oxidación de la DBO Fast y Slow y la Hidrolisis establecida, toda vez las mismas varían acorde al caudal registrado. Con la reducción de valores en las tasas cinéticas se representa el comportamiento de la fuente en escenario crítico, reduciendo la capacidad de asimilación en el cuerpo de agua acorde a la reducción de velocidad y profundidad en la fuente.

En ríos de alta montaña la autodepuración se encuentra ligada a tres factores principales, la temperatura, la velocidad en el cuerpo de agua y su profundidad. La temperatura influye en la calidad del agua, en el oxígeno disuelto disponible y la calidad y sostenimiento de los ecosistemas (Xia et al., 2010; Hamilton, 2010).

“La temperatura de estos cuerpos de agua se ve influenciada también por los cambios en la temperatura del suelo, así como por las alteraciones del régimen hidrológico y las actividades antropogénicas” (Caissie et al., 2001; Webb y Nobilis, 2007).

Por su parte la profundidad y velocidad en el cuerpo de agua receptor de vertimiento compromete la calidad del agua, así mismo genera aumento de sustancias disueltas y variación en el modelo de transporte y dispersión de contaminantes en la fuente.

Se proyecta un aumento de la concentración iniciales en el tramo de evaluación ante reducción de precipitaciones que conlleven a pérdida de caudal en la fuente, sin embargo, se espera variación en la calidad del agua que favorezca la reducción de contaminantes ante aumento de los tiempos de viaje que alteren los procesos de biodegradación permitiendo a los microorganismos existentes la degradación de carga orgánica.

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos frente a los cambios realizados en la modelación inicial:

QUAL2Kw
Stream Water Quality Model
Quebrada Santa Clara, Centro de Formación de la Guardia de la Tena, Cundinamarca) (8/11/2020)

Open File Run VBA Run Fortran

Constituent Summary

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)	CBODf (mgO2/L)	No(ugN/L)	NH4(ugN/L)	NO3(ugN/L)	Inorg P (ugP/L)	Alk	pH
Aguas arriba QSC	0,60	64,50	0,00	6,57	1,00	4,00	4000,00	1000,00	660,00	0,00	100,00	6,96
	0,58	64,50	0,00	6,05	0,97	3,59	3754,16	1204,11	626,10	0,64	100,85	6,99
	0,53	64,50	0,00	5,44	0,92	3,13	3371,81	1504,36	563,45	1,81	102,14	7,04
	0,48	64,50	0,00	4,90	0,87	2,72	3035,27	1756,48	514,43	2,82	103,20	7,08
	0,43	64,50	0,00	4,38	0,81	2,33	2687,45	2001,66	465,98	3,89	104,25	7,14
	0,38	64,50	0,00	3,98	0,76	1,99	2364,14	2212,14	436,34	4,81	105,10	7,20
	0,33	64,50	0,00	3,73	0,73	1,77	2208,84	2307,69	438,01	5,17	105,43	7,23
	0,28	64,50	0,00	3,53	0,69	1,57	2055,34	2396,25	444,09	5,50	105,72	7,26
	0,23	64,50	0,00	3,37	0,63	1,31	1728,97	2552,15	429,78	6,42	106,32	7,36
	0,18	64,50	0,00	3,26	0,56	1,10	1454,25	2650,47	423,03	7,18	106,70	7,44
	0,13	64,50	0,00	3,23	0,51	0,94	1257,04	2694,65	440,40	7,66	106,80	7,51
	0,08	64,50	0,00	3,21	0,47	0,81	1086,51	2709,22	455,98	8,07	106,80	7,58
Terminus	0,05	64,50	0,00	3,21	0,47	0,81	1086,51	2709,22	455,98	8,07	106,80	7,58

Figura 66. Resultados tercer escenario

Fuente: Autor

Caudal mínimo en la fuente receptora con vertimiento actual

El escenario simulado permite la planeación en torno a un evento altamente probable a lo largo del tiempo y es el vertimiento con tratamiento de la planta en condiciones de normalidad, pero con reducción de caudal en la fuente receptora hasta los mínimos registrados.

Asociado al cambio climático, eventos como la reducción significativa del caudal en la fuente hídrica son realidades proyectadas y a las cuales se debe plantear soluciones o medidas que permitan la planeación territorial en torno a los recursos disponibles, complementar las proyecciones formuladas con modelos ambientales permiten visualizar de forma efectiva los elementos requeridos en el marco de la distribución responsable de los recursos, así como de las mejoras en el tratamiento necesarias para entregar un vertimiento que permita a los usuarios aguas abajo de la entrega del agua tratada al cuerpo de agua el uso del recurso hídrico, acorde a las necesidades de consumo, riego u ornato requeridos. A continuación, se relacionan los resultados obtenidos frente a los cambios realizados en la modelación inicial:

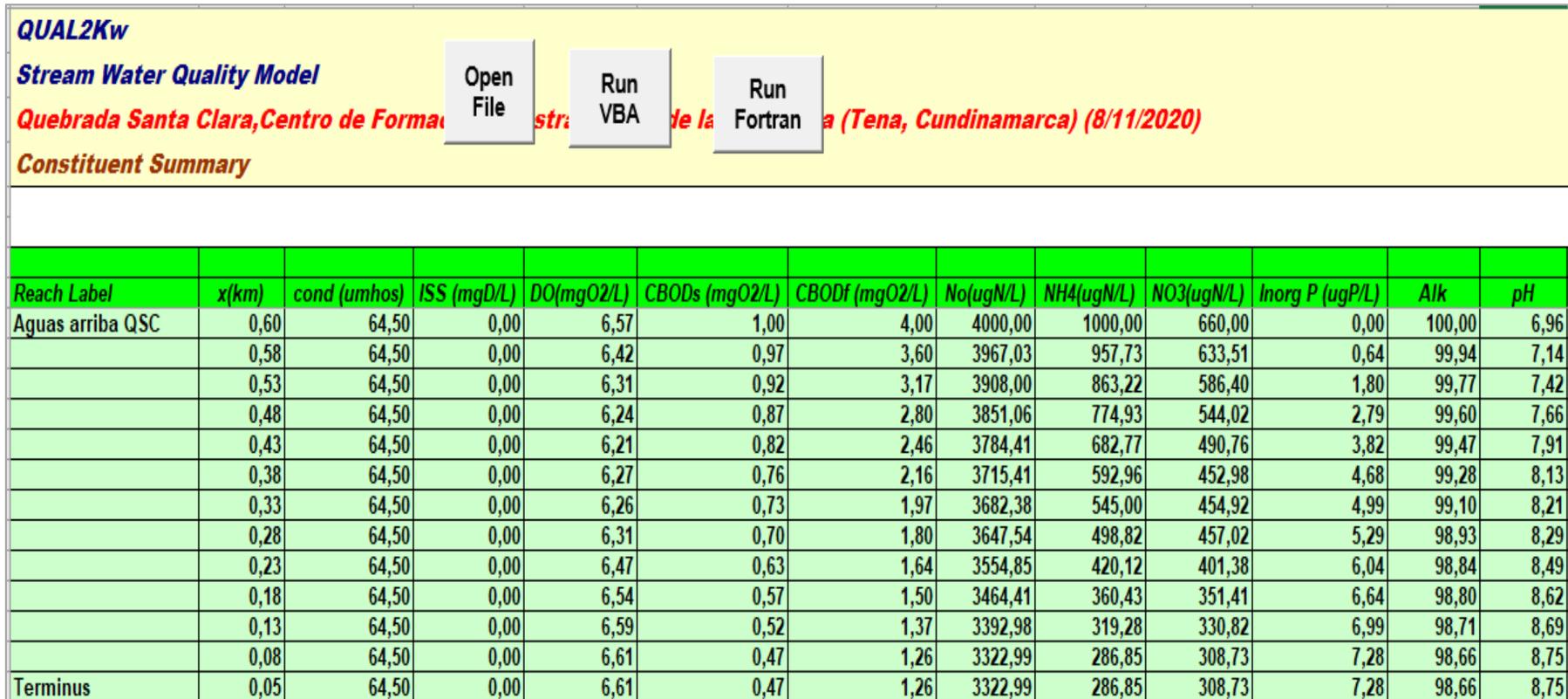


Figura 67. Resultados cuarto escenario

Fuente: Autor

Análisis de escenarios

Se procede a establecer comparativo entre los escenarios propuestos y el actual calibrado, con el fin de establecer las variaciones esperadas en los escenarios propuestos, para ello se inicia con el análisis de los determinantes de los parámetros de Conductividad, DBO rápida, oxígeno disuelto, pH, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitrógeno orgánico.

Se busca establecer comparativo entre los escenarios propuestos y el actual calibrado, con el fin de establecer las variaciones esperadas en los escenarios propuestos, luego se procede a determinar los comportamientos de los parámetros: Conductividad, DBO rápida, oxígeno disuelto, pH, nitrógeno amoniacal, nitratos + nitritos y DBO lenta.

A continuación, se incorpora la información solicitada para el análisis:

Conductividad

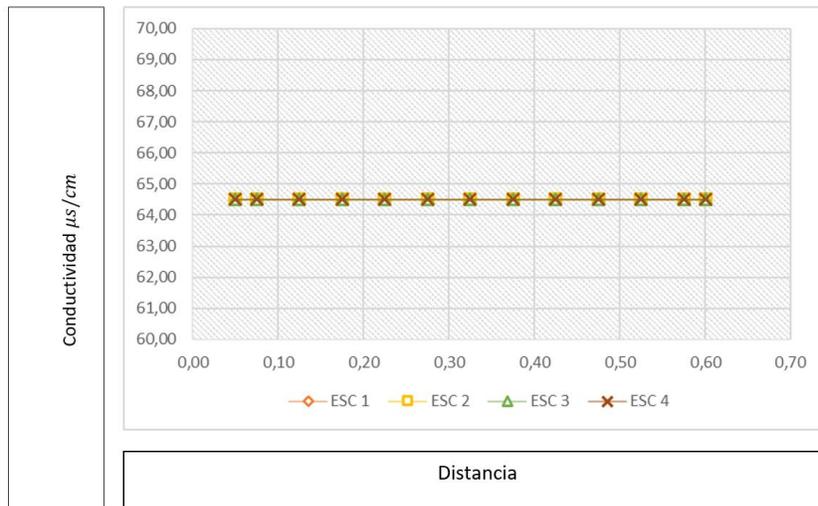


Figura 68. Conductividad escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

De los ocho determinantes seleccionados para la evaluación del vertimiento, la conductividad es el determinante que menor variación presentó frente a los escenarios propuestos, no se genera en la simulación, aumento de iones disueltos que permitieran cambios significativos en el determinante seleccionado a lo largo de los 600 metros de correspondientes al tramo objeto de estudio.

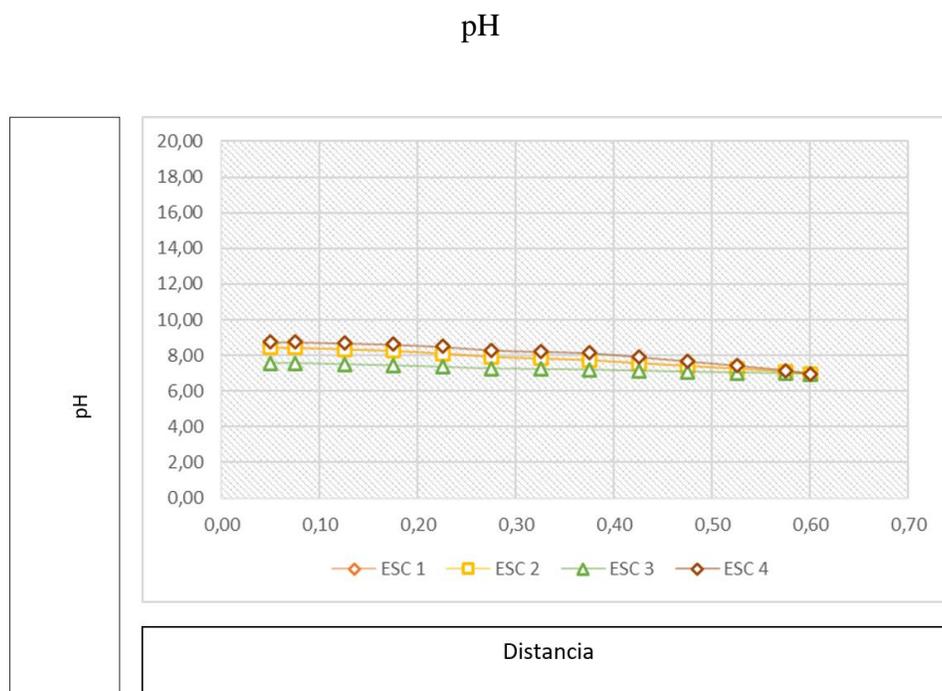


Figura 69. pH escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

Por su parte, el pH de la fuente presenta variaciones significativas posteriores al ingreso del vertimiento del centro de formación que incluyen reducción del pH en el escenario crítico (E3) así como en el escenario (E4) y que van de 8.0 a 6.5 al final del tramo, con comportamiento estable ante ingreso de tributarios en la fuente.

Variaciones significativas del pH son indicadores de cambios en el cuerpo de agua que incluyen ingresos puntuales, difusos o vertimientos a lo largo del tramo objeto de evaluación, la reducción de pH en escenario crítico se encuentra en el rango de los objetivos de calidad fijados por la Corporación Autónoma de Cundinamarca para el cuerpo de agua receptor, siendo aceptable para el desarrollo de la vida acuática y el adecuado uso del agua en cada uno de los escenarios de evaluación.

Oxígeno Disuelto

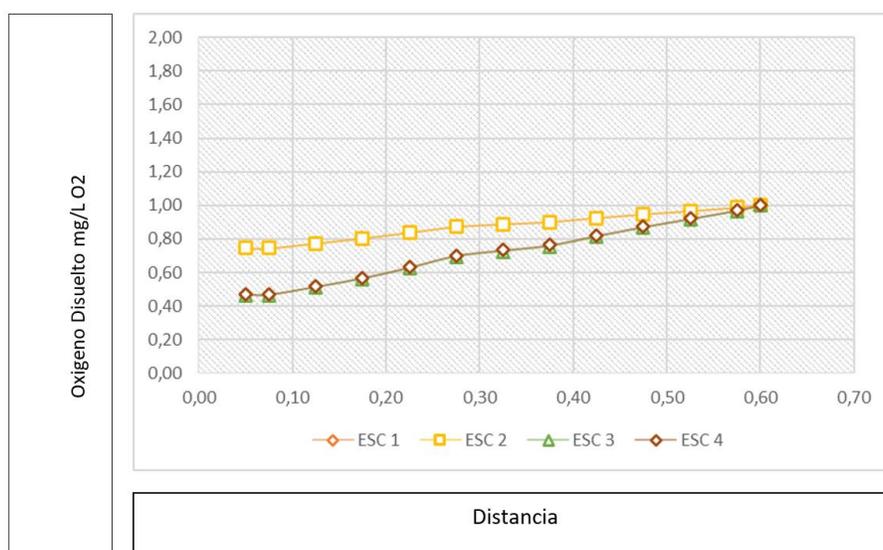


Figura 70. Oxígeno disuelto escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

El escenario 1, 2 y 4 tienen un comportamiento similar a lo largo del tramo de observación, sin embargo y como es de esperarse acorde a una disminución de tasa de re aireación ocasionada por pérdida de velocidad y profundidad en la fuente, el oxígeno disuelto en el escenario crítico se reduce a menos de la mitad disponible al inicio del tramo de los

demás escenarios, sin embargo, se observa recuperación a lo largo del tramo vinculado a la hidráulica de la fuente en tres de los cuatro escenarios de evaluación, fuentes de alta montaña presentan comportamientos similares ante la presencia de resaltos que permiten la re aireación en condiciones extremas del recurso hídrico disponible, de ser posible debe evitarse la materialización del escenario 3 de evaluación ante pérdida significativa del oxígeno en la quebrada Santa Clara que puede conllevar a procesos de anoxia en áreas riparias evaluadas, así como pérdida de biodiversidad biológica existente en el cuerpo de agua.

En el escenario 3 se observa pérdida inicial de la homeostasis de la fuente ante vertimiento sin tratamiento y acumulación de residuos líquidos generados por los proyectos, el mismo se realiza sin control lo que ocasiona procesos de anoxia asociados a carga orgánica excesiva en el cuerpo de agua.

Un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad del agua. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida.

Las fuentes de agua para los procesos de purificación requieren unos adecuados niveles de oxígeno para proveer las formas de vida aeróbicas. Cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua bajan de 5.0 mg/l, la vida acuática es puesta bajo presión. a menor concentración, se genera mayor presión para las formas de vida en la fuente. La fuente cuenta con tasas altas de re aireación, asociadas a la velocidad registrada en la mayoría de la fuente, así como la falta de acumulación de recurso en remansos, lo que conlleva a un comportamiento uniforme del oxígeno disuelto de la fuente en condiciones actuales con vertimiento por parte del centro de formación registrando valores superiores a 6 mg/l, en todas las mediciones realizadas en tres de los cuatro escenarios.

DBO (Rápida y Lenta)

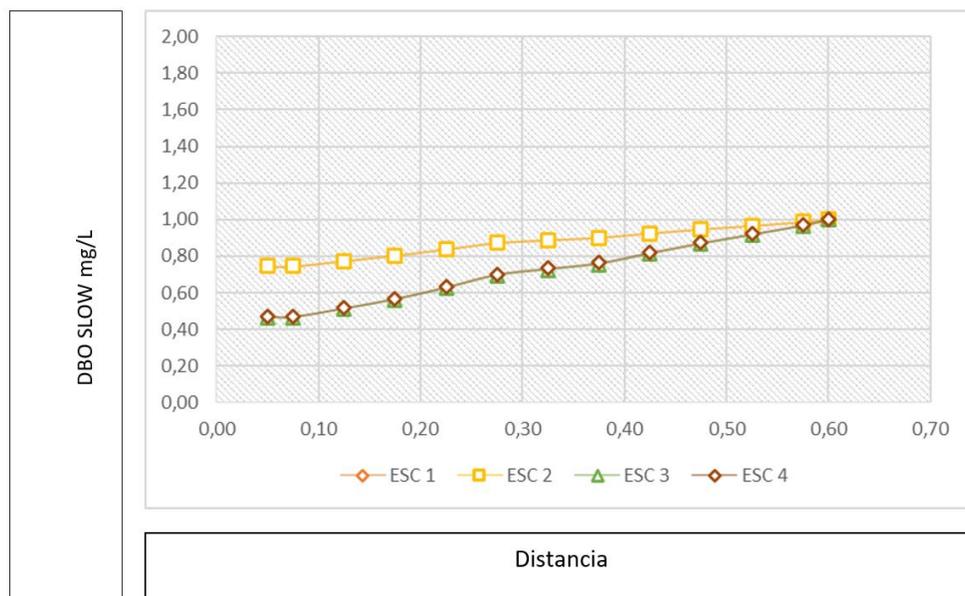


Figura 71. DBO lenta escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

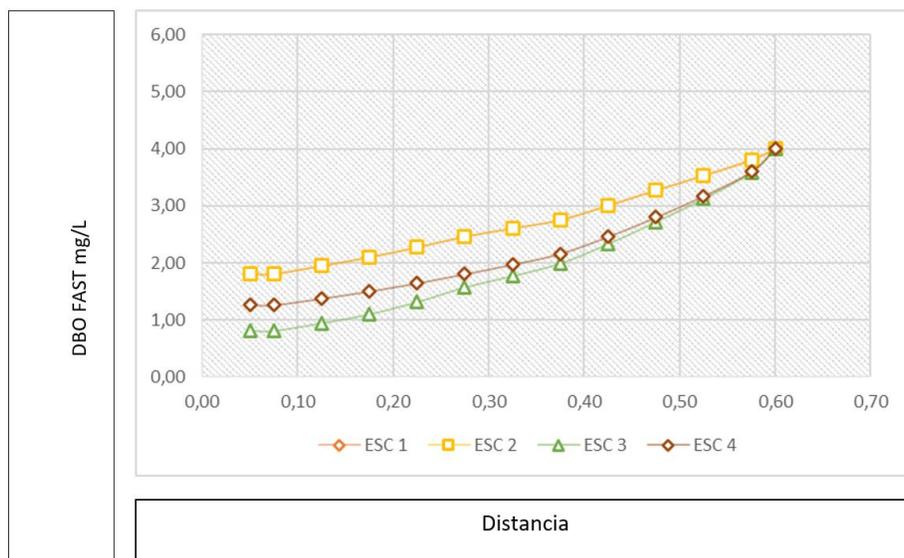


Figura 72. DBO rápida escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

La DBO, tanto lenta como rápida, es indicadora de contaminación por carga orgánica e inorgánica, siendo la cantidad de oxígeno consumido durante los procesos de hidrólisis y oxidación de la materia orgánica, la DBO Rápida corresponde a la demanda de oxígeno vinculada a la presencia de carga orgánica de fácil degradación u oxidación, ejemplo de ello se encuentran los azúcares.

Por su parte, la DBO Lenta constituye la demanda de oxígeno requerido para la degradación de materia orgánica disuelta de lenta degradación, como se observa, el comportamiento de los determinantes tiene su escenario crítico en el escenario 2 de evaluación, observando una recuperación más lenta en dicho escenario.

sin embargo, dicha recuperación se encuentra dentro de lo esperado para el cuerpo de agua, evidenciando cumplimiento de los objetivos de calidad fijados para la fuente receptora, incluyendo los contemplados por la clase II del acuerdo CAR 043 de 2009.

Se simula en cada uno de los escenarios las tasas cinéticas requeridas para observar el comportamiento de la fuente, como resultado de la misma, se observa recuperación en los escenarios de evaluación planteados, sin que en ninguno de los mismos la fuente receptora pierda la capacidad de recuperación para los determinantes objeto de análisis y considerados como críticos, acorde a las actividades desarrolladas en el predio.

Se observa recuperación importante de la fuente en términos de calidad para los determinantes observados.

Nitrógeno Orgánico, Amoniacal y Nitratos + Nitritos

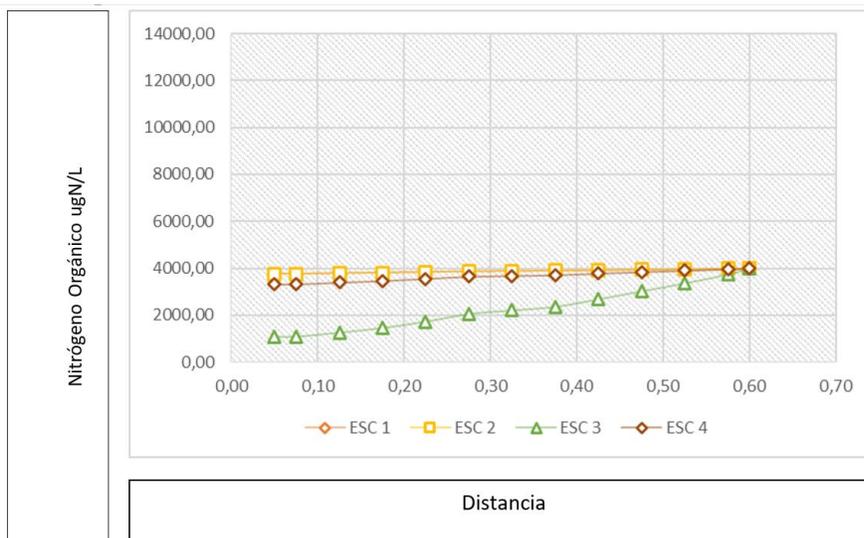


Figura 73. Nitrógeno Orgánico escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

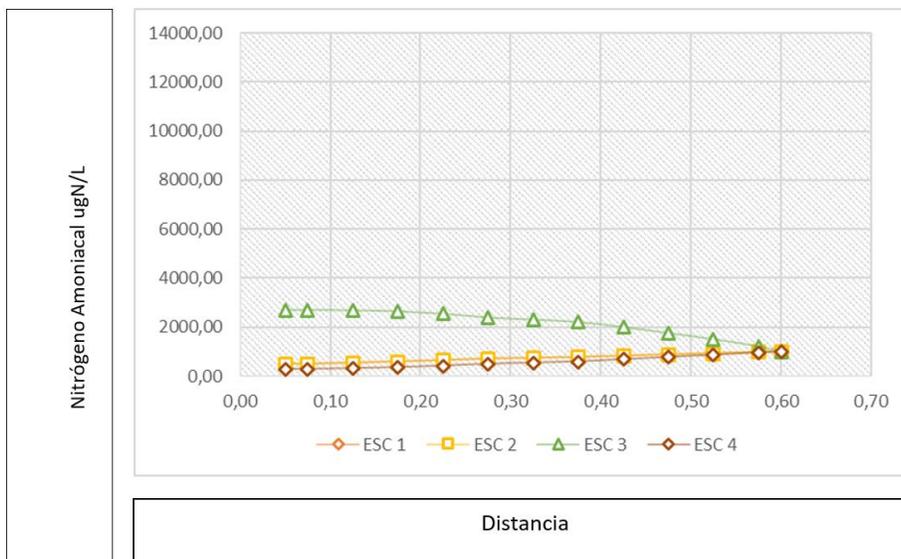


Figura 74. Nitrógeno amoniacal escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

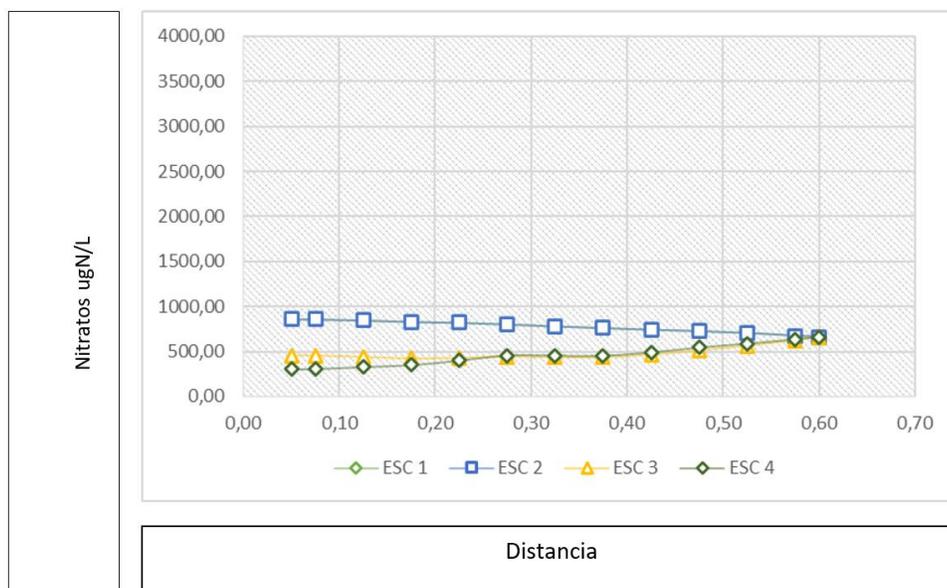


Figura 75. Nitrato escenario 1,2,3 y 4

Fuente: Autor

Se observa el comportamiento de las diversas formas de nitrógeno, entre ellas el nitrógeno orgánico, el amonio y los nitratos más los nitritos, se observa recuperación de la fuente receptora, con aumento en el amonio para el escenario 3 de simulación.

Las variaciones registradas constituyen una importante herramienta de análisis toda vez permiten establecer y evaluar impactos ambientales vinculados a la nitrificación y posible eutrofización de la fuente receptora, los valores registrados cumplen con los objetivos de calidad planteados por la corporación autónoma regional CAR Cundinamarca para la fuente quebrada Santa Clara.

Las concentraciones encontradas en el tramo, así como las concentraciones simuladas por el modelo de calidad permiten determinar una recuperación lenta de los determinantes.

De igual forma se puede observar bajas concentraciones de los mismos que permiten el desarrollo adecuado de la vida acuática, así como el uso posterior a tratamiento del agua disponible en la quebrada Santa Clara.

La quebrada cuenta con la capacidad de depuración propia de los ríos de alta montaña, asociado al bajo caudal de vertimiento, la quebrada Santa Clara cuenta con la capacidad de asimilar los determinantes asociados a procesos de nitrificación en escenarios normales de tratamiento del vertimiento generado.

Se deberá evitar la materialización del escenario 3 al encontrarse en el mismo el escenario de mayor incidencia en el cuerpo de agua, siendo necesario por parte del proyecto la formulación de un plan de emergencias, contingencias y gestión del riesgo, que permita mitigar de forma efectiva los posibles impactos al cuerpo de agua en escenarios de estiaje y vertimiento sin tratamiento.

Es claro que, asociado al inadecuado servicio de energía, la posibilidad de materialización del escenario incrementa posibilidades, la no existencia de un sistema energético de apoyo contribuye a la materialización del escenario con las respectivas incidencias al cuerpo de agua receptor.

A continuación, se ingresa la información utilizada en cada uno de los escenarios de evaluación propuestos, teniendo en cuenta el caudal de la fuente, el caudal del vertimiento, y los valores para cada uno de los determinantes seleccionados.

Tabla 8 Escenarios de Simulación

Escenario	Q fuente receptora m ³	Q vertimiento M ³	Determinante Aguas arriba		Determinante 600 metros aguas abajo del vertimiento		
1. Actual	0.005	0.00039	Conductividad	64.5	64.5		
			μS/cm				
			DBO _{FAST} mg/L			4	1.81
			OD mg/L			6.57	6.81
			pH			6.96	8.44
			NH ₄ ug/L			1000	503.62
			NO ₃ ug/L			660	858.35
DBO _{slow} mg/L	1	0.65					
2. Vertimiento sin tratamiento (sin variación de caudal en la fuente receptora)	0.005	0.00039	Conductividad	64.5	64.5		
			μS/cm				
			DBO _{FAST} mg/L			4	1.81
			OD mg/L			6.57	6.81
			pH			6.96	8.44
			NH ₄ ug/L			1000	503.62
			NO ₃ ug/L			660	858.35
DBO _{slow} mg/L	1	0.75					
	0.001	0.0005	Conductividad	64.5	64.5		
			μS/cm				

3. Vertimiento sin tratamiento con uso de caudal mínimo en la fuente receptora.			DBO _{FAST} mg/L	4	0.81
			OD mg/L	6.57	3.21
			pH	6.96	7.58
			NH ₄ ug/L.	1000	2709.22
			NO ₃ ug/L	660	455.98
			DBO _{Slow} mg/L	1	0.47
Caudal mínimo en la fuente receptora con vertimiento actual	0.001	0.00039	Conductividad μS/cm	64.5	64.5
			DBO _{FAST} mg/L	4	1.26
			OD mg/L	6.57	6.61
			pH	6.96	8.75
			NH ₄ ug/L	1000	286.85
			NO ₃ ug/L	660	308.73
			DBO _{Slow} mg/L	1	0.47

Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observan los cambios generados en el modelo, que buscan evaluar el comportamiento de la fuente receptora ante cambios en la información de ingreso, cada cambio se plantea en el escenario correspondiente, se observa la recuperación de la fuente posterior al vertimiento generado por la actividad tal como se evidencia en los monitoreos ambientales realizados y sus respectivos informes.

Los modelos matemáticos simulados permiten evaluar los efectos del vertimiento generado por el centro de formación Nuestra Señora de la Esperanza sobre la fuente receptora. La calibración del modelo se ajusta a los requerimientos de evaluación planteados en el documento, se puede observar el comportamiento de la fuente y del vertimiento ante la simulación de las constantes cinéticas permitiendo la toma de decisiones futuras.

Con los datos externos obtenidos se propone la calibración y validación del modelo de calidad del agua, los ensayos realizados permiten la determinación de tiempos de viaje y primer arribo, estableciendo los tiempos requeridos para la toma de muestras acorde a la necesidad de seguimiento de la masa de agua.

Para el análisis del vertimiento, se tiene en cuenta caracterización realizada por el laboratorio Hidrolab de la ciudad de Bogotá, esto asociado a la pandemia surgida en el presente año y que redujo las actividades regulares en el predio objeto de estudio.

Dadas las bajas concentraciones registradas en los determinantes del vertimiento y su escaso caudal, se procede a utilizar la información disponible en las caracterizaciones ambientales

adjuntas al permiso de vertimiento solicitado por el centro de formación y adjuntos al presente documento.

De la manera propuesta y ajustada a la metodología en el documento establecida se evalúa la carga más alta del vertimiento disponible en laboratorios acreditados por el IDEAM y que permiten aumentar el grado de confianza hacia los métodos de análisis empleados, lo que permite un mayor ajuste en el modelo qual2kw.

Se evidencia como escenario crítico, el generado por inadecuado tratamiento en épocas de sequía, la reducción de caudal en la fuente se encuentra directamente vinculada a la reducción de calidad del cuerpo de agua ante ingreso del vertimiento sin tratamiento.

La tasa de Re aireación se reduce ante reducción de caudal, toda vez se encuentra ligada a la profundidad y velocidad del cuerpo de agua, a menor velocidad y menor profundidad menor tasa de Re aireación.

Se observa el comportamiento de los determinantes críticos esperados acorde al tipo de actividad, con base a la caracterización de servicios y productos generados en la actividad productiva, en nuestro caso con finalidad educativa y de auto sostenimiento.

Las actividades en el predio son de tipo residencial y de aprovechamiento pecuario, sin que el mismo se encuentre ligado al proceso de tratamiento, toda vez cuenta con manejo de sus aguas residuales, por lo tanto, la caracterización del vertimiento, corresponde entonces a aguas residuales netamente domésticas.

La asimilación de los determinantes en el cuerpo de agua se encuentra ligado a los microorganismos existentes en el mismo, toda vez no solo se debe evaluar la asimilación en

término del modelo de transporte y calidad sino en términos de recuperación eco sistémica, por ello se incluye al análisis la información existente de la fuente receptora y consistente en la caracterización hidrobiológica aguas arriba y 600 metros aguas abajo del vertimiento generado por la actividad.

Existe recuperación de la fuente, ligada no exclusivamente a las tasas señaladas en el presente documento, sino por los organismos existentes en el sistema hídrico.

Determinantes como el DBO y la DQO, son fieles indicadores de contaminación asociada a carga orgánica, evaluando los escenarios, desde el actual hasta los proyectados, observamos las variaciones registradas en el tramo y que serían críticos para la ruptura del homeostasis en el cuerpo de agua receptor, es decir la capacidad del cuerpo de agua de asimilar dicho determinante sin romper el equilibrio sistémico.

Se observa una adecuada recuperación en el tramo, establecido como el mantenimiento por debajo del valor objetivo de calidad para los determinantes caracterizados, esto para la clase 1 y 2, siendo la clase 2 la establecida para el área de influencia directa específicamente al cuerpo de agua receptor.

Por su parte, en condiciones de estiaje, los escenarios evaluados permiten visualizar problemas vinculados a la falta de oxigenación en la fuente, con generación de procesos cercanos a la anoxia y que favorecen la pérdida de biota asociada al cuerpo de agua receptor.

En condiciones de bajo caudal la pérdida de oxigenación el fuente reduce la capacidad de asimilación en el cuerpo de agua y con ello, la capacidad de depuración natural y la

supervivencia de organismos degradadores de materia orgánica, si bien se observa que en la ley natural la evolución, lenta y continua selecciona y establece sistemas adaptados a los diversos retos ambientales generados, también permite observar los cambios inducidos en el ambiente y que dado su rápido desarrollo no permiten adaptar el sistema a los determinantes responsables de la contaminación.

Por ello, cuando el vertimiento se realiza sin tratamiento en condiciones de estiaje, se simula el escenario teniendo como resultado una disminución drástica de oxigenación vinculada a la fuente receptora.

La oxigenación en la fuente se encuentra vinculada a la recuperación de la misma, por ello, adicional a las condiciones de anoxia, la reducción de la oxigenación conlleva a la facilitación de procesos de eutrofización causados por el aumento de concentraciones en los determinantes de nitrógeno y fosforo.

Si observamos el comportamiento del nitrógeno Amoniacal, Fosforo orgánico y los nitratos y nitritos para el escenario 3 se puede ver un aumento significativo vinculado a los cambios en el modelo de transporte de contaminantes producto de la reducción de la velocidad y profundidad en el cuerpo de agua, el aumento de las concentraciones en los mencionados determinantes se encuentran ligados a la eutrofización del cuerpo de agua, por lo cual debe realizarse toda actividad obra o medida que permita mitigar los impactos vinculados a un vertimiento sin tratamiento en época de estiaje.

Bibliografía

- Abbasi, S.A., (2002).** Water quality índices, state of the art, Centre for Pollution Control & Energy Technology, Pondicherry University, R. Venkataraman Nagar, Kalapet, Pondicherry.
- Arenas F., G. A. (2005).** Estimación experimental de la tasa de Re aireación en ríos de montaña. Bogotá D.C., Tesis de Maestría. Universidad de los Andes.
- Arroyave D.M., Moreno A. A., Toro F.M., Gallego D.J., Carvajal L.F. (2012).** Estudio del modelamiento de la calidad del agua del río Sinú, Colombia.
- Bansal, M.K. (1976).** Nitrification in natural systems. Journal of Water Pollution Control Federation. 48(10), pp. 2380-2393
- Ball, R., Church, R., (1980);** Water quality indexing and scoring, Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 106, EE4, 757-771.
- Beck, M.B. (1981a).** A procedure for modelling. In Mathematical modelling of water quality: streams, lakes, and reservoirs. (Ed. G. T., Orlob). Int. Inst. for Appl. Sys. Anal. (IASA), a Wiley-Interscience Publ., John Wiley & Sons, Chichester, U.K., 11-41.
- Beck, M.B. (1981b).** Sensitivity analysis, calibration and validation. In Mathematical modelling of water quality: streams, lakes, and reservoirs. (Ed. G. T., Orlob). Int. Inst. for Appl. Sys. Anal. (IASA), a Wiley-Interscience Publ., John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- Botz, M. y Mudder, T. (2000).** Modeling of natural cyanide attenuation in tailings impoundments. Mineral and Metallurgical Processing, Vol. 17, No. 4, pp. 228-233

Bowie, L. G., Mills, W. B., Porcella, D. B., Campbell, C. L., Pagenkopf, J. R., Rupp, G. L.

(1985). Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. Athens, Georgia: Environmental Protection Agency.

Braga, D., D'Addario, D., Giaffreda, S., Grepioni, F., Jones, W. , Kaupp, G. Xia, W. (2005).

Organic Solid State Reactions (Vol. 254): Springer.

Camacho, L.A., (2000). Development of a hierarchical modelling framework for solute transport under unsteady flow conditions in rivers. PhD Tesis, Imperial College of Science Technology and Medicine, Londres.

Castillo G. (2008). Modelos de calidad de aguas.

CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (1999). Modelo matemático de calidad de aguas RIOS.

CETESB (2002). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de Brasil.

www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/indice.asp. Índice de calidad del agua con fines de abastecimiento al público (IAP).

Chapra, S. C. (1997). Surface Water-Quality Modelling, The McGraw-Hill Companies. Inc., New York.

Chapra Steve and Pelletier Greg. (2008). QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1). A modeling framework for simulating river and stream water quality.

Chapra, S.C. (1991). A toxicant loading concept for organic contaminants in lakes. ASCE Journal of Environmental Engineering 117(5), pp. 656-677.

- Chihhao Fan, Chun-Han Ko, Wei-Shen Wang. (2009).** An innovative modeling approach using QUAL2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation.
- CRC-FONAN., (2000);** Monitoreo ambiental con énfasis en el recurso hídrico – Cuenca Cauca, Departamento del Cauca. Fase I. Calidad del Agua, Informe Final, Oficina de Investigaciones Ambientales, Convenio CRC-FONAN N° 1287 de 1996.
- Cooper, J. A. G., Ramm, A. E. L. & Harrison, T. D. (1994).** The estuarine health index: a new approach to scientific information transfer. *Ocean & coastal management*. 25: 103-141.
- Cooper, P.F. (1993).** "The use of Reed Bed systems to treat domestic sewage: The European Design and operations guidelines for reed bed treatment systems", in *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, pp 203 - 217, de G.A. Moshiri Boca Raton, USA: Lewis Publishers.
- Couillard, D. & Y. Lefebvre, (1985).** Analysis of water quality indices. *Journal of Environmental Management* 21:161-179.
- Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible**
Universidad del Valle/Instituto Cinara Fernández, N., HW DO 219
- Cude, C. (2001).** Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. Paper No. 99051 of the *Journal of the American Resources Association*, 125-138.
- CRC Corporación Autónoma Regional del Cauca (2012).** Estudio de actualización del modelo de calidad del agua del río Palo 2011 tramo puente de Guachené – Bocas del Palo

- Cristea, N. and Pelletier, G. (2005).** Wenatchee River temperature Total Maximum Daily Load study. Publication number 05-03-011, Washington State Department of Ecology, Olympia, WA.
- CVC Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2007).** Estudio Del Proceso De Reaireación en el Río Cauca Sectores La Balsa y Puerto Issacs.
- Cox B. A. A.,(2003).** review of dissolved oxygen modelling techniques for lowland rivers. The Science of the Total Environment. Vol. 314 –316, 303–334, 2003.
- Danish Hydraulic Institute DHI. (1999).** MIKE 11: Comprehensive 1-d dynamic flow model, www.bossintl.com
- Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental - Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales. (2011).** Análisis de Herramientas de Evaluación de la Difusión y Comportamiento de Agentes Químicos en el Marco de la Normativa de Responsabilidad Medioambiental. España.
- Dinius, S. H. (1987).** Design of a water quality index. W.R. Bulletin, 33-43.
- Dojlido J., Raniszewski, J. and Woyciechowska, J. (1994).** Water quality index applied to river in the vistula. River basin in Poland. Enviromental monitoring and assessment 33-42.
- Dunnette, D.A. (1979).** A geographically variable water quality index used in Oregon. Journal of the Water Pollution Control Federation, 53-61
- House, M. A. (1989).** A water quality index for river management. Journal of the Instituteof Water & Environmental Management: 336-344.

- Environmental Protection Agency (EPA). (2003).** Control of pathogens and vector attraction in sewages ludge under 40 CFR part 503. Office of Water/ Office Science and Technology Sludge/ Risk Assessment Branch. Washington.
- Everaert, G., Holguin, J.E., & Goethals, P. (2012).** AM Selecting relevant predictors : impact of variable selection on model performance , uncertainty and applicability of models in environmental decision making.
- Fernandez, M. (2000).** Mineralización de residuos orgánicos; tasa de liberación de nitrógeno en relación con la estabilidad. TFC.ESAB. Barcelona
- Ferreira, A. C.; Cherubini, C.; Rodríguez, C.; Carneiro, C. E Fernández F. (2001).** Capítulo 4 Higienização do lodo de esgoto. En: Resíduos sólidos do saneamento; processamento, reciclagem e disposição final.
- Fisher, H. B. (1973).** Longitudinal dispersion and turbulent mixing in open channel flow, Ann. Rev. Fluid Mech., 5, 59-78
- Foresti, E., Florencio L., Van Haandel, A., Zaiat, M. Y Cavalcanti, P.F. (1998).** Fundamentos do Tratamento Anaerobio. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo. ABES. Primera Edición. Rio de Janeiro. P.29-52.
- Fundación SANEAR y Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS. (2010).** Modelación de la calidad del agua del Río Chinchiná. Manizales, Departamento de Caldas.
- Frost, V. Novotny, A. Sanson., (2005).** Diffuse Pollution: An Introduction to the Problem and Solutions, IWA Publishing, London, UK.
- García T., Pelletier G., Diaz J. (2009).** Water quality simulation of the Chicamocha river, Colombia. An application of the QUAL2Kw Model. Ecological Modeling.

Garfield, F.M., (1990). Quality Assurance principles for Analytical Laboratories. AOAC, USA

Green, H. M., Beven, K. J., Buckely, K, and Young, P. C. (1994). Pollution prediction with uncertainty. In *Mixing and transport in the environment* (Ed. K. J. Beven, P. Chatwin, J. Millbank). John Wiley & Sons, Chichester, 113-137.

G. Bergelson, R. Nativ, A. Bein., (1999); Salinization and dilution history of ground water discharging into the Sea of Galilee, the Dead Sea transform, Israel, *Appl. Geochem.*, 1999.

Green, H. M., Beven, K. J., Buckely, K, and Young, P. C. (1994). Pollution prediction with uncertainty. In *Mixing and transport in the environment* (Ed. K. J. Beven, P. Chatwin, J. Millbank). John Wiley & Sons, Chichester, 113-137

Gelves, R., Camacho, L. A. (2008). Metodología para determinar la tasa de Re aireación por medio de trazadores volátiles en dos ríos de montaña colombianos. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

González G. (2012). Microbiología del agua, conceptos y aplicaciones. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Primera edición. Bogotá.

Haug, R.T. (1993). The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers.

Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., Black, W., (1999); Análisis multivariante, 5ª Edición, Prentice Hall.

Heon, Chou and Ryong, Ha. (2010). Parameter optimization of the QUAL2K model for a multiple-reach river using an influence coefficient algorithm. *Science of the Total Environment*, 408, 1985–1991. 2010

- Hernández, J., Ramírez, M.J., Ferri, C., (2004);** Introducción a la minería de datos, Pearson-Prentice Hall. Horton, R.K., (1965); An index number system for rating water quality, Journal of WPCF, 37, 1965.
- Holguin, J.E., Everaert, G., Benedetti, L., Amerlinck, Y., & Goethals, P. (2012).** Integrated ecological modelling for decision support in the integrated urban water system modelling of the Drava river (Varazdin, Croatia).
- Holguín G, J. E., (2003).** Determinación de la tasa de Re aireación en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores. Bogotá D.C., Tesis de Maestría. Universidad de los Andes.
- IDEAM. (2000).** Estudio nacional del agua. Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de:
<http://www.ideam.gov.co>
- IDEAM, (2004);** Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia.
- IDEAM. (2011).** Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial.
- IDEAM, (2004).** Guía Para El Monitoreo y Seguimiento Del Agua. Bogotá.
- Jiménez, A. A. (2000).** Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Revista interdisciplinaria de gestión ambiental, 2(23), 10-19.
- J.C. Agunwaba. (1991).** Dispersion Number determination in waste Stabilization Ponds. Water, Air and Soil Pollution 59, 241 – 247.

- Kannel Pr, Lee S, Lee Ys Kanel Sr, Pelletier G. J. (2007).** Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *Ecol Model*, Vol. 202, 503 -517, 2007
- Kannel, P.R., Lee, S., Kanel, S.R., Lee, Y. Ahn, K.-H. (2007).** Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. *Environ. Monit. Assess.* 125, 201-217
- Kickuth R. (1983).** A low cost process for purification of municipal and industrial waste water. *Der tropenlandwirt* 83, 141-154.
- Kung, H., HW DO. (1992).** A complementary tool to water quality indices: fuzzy clustering analysis. *Water Res. Bull.* 525-533.
- Krenkel, P. V. Novotny., (1980).** WATER QUALITY MANAGEMENT: field of Water Pollution, 671 pp, New York, ISBN 0-12-426150-7.
- Landwehr, J. M. & R.A. Deininger. (1976).** A comparison of several water quality indices. *Water Pollution Control Fed.* 957-958.
- Lees, M.J., Camacho, L.A., Whitehead, P., (1998).** Extension of the QUASAR river quality model to incorporate dead-zone mixing, *Hydrology and Earth system Sciences*, 2, 353-365.
- Lettinga, G. and Hulshoff, L. (1989).** “Posibilidades y Potencial del tratamiento Anaerobio de Aguas residuales con énfasis en el sistema UASB”. Santiago de Cali, Marzo de 1989.
- León, L.F., (1991),** Índice de calidad del agua, ICA, Inf. # Sh-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 36 pp.

- Liebman, H., (1969);** Atlas of water quality: methods and practical conditions, R. Oldenbough, Munich. Martínez, C., (2006); Estadística básica aplicada, 3 ed., Ecoe Ediciones, 406p.
- Lozano G., Zapata M.A. y Peña L.E. (2003).** Selección del modelo de calidad del agua en el proyecto “Modelación de corrientes hídricas superficiales en el departamento del Quindío”.
- MAVDT, (2010);** Decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto –Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorio.
- Medina, M. P. (2009).** Propuesta metodológica para la estimación de la capacidad de nitrificación de los ríos de montaña. Casos de estudio río Teusacá y río Subachoque. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia: Tesis de Maestría
- Metcalf and Eddy, (1991).** Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. New York, USA: McGraw Hill, Inc
- Metcalf & Eddy (1995).** Ingeniería de aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización. Volumen 1 y 2. Mc Graw Hill. Tercera edición. Madrid.
- Meftcalf And Eddy. (1995).** Ingeniería de aguas residuales Tratamiento vertido y reutilización. Mcgraw Hill/ Interamericana de España.
- Ministerio de medio Ambiente. (2015).** Resolución 631 de 2015, normatividad de vertimientos. Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010).** Decreto 3930 de 2010

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Agricultura. (1984). Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y de los residuos líquidos

Ministerio de Salud. (1998). Decreto 475 de 1998. Normas técnicas de calidad del agua potable. Colombia.

M. P. Anderson, C. J. Bowser, (1986). The role of groundwater in delaying lake acidification, Water Resour.

Ministerio De Salud. Decreto 1594 de 1984.

Moreno María (2003). Toxicología ambiental, evaluación de riesgo para la salud humana. Editorial Mc Graw Hill. Primera edición. Madrid.

N. Fernández, y F. Solano.(2008). Índices de Calidad y Contaminación del Agua, Pamplona: Universidad de Pamplona.

Novotny, V., (2003). WATER QUALITY: Diffuse Pollution and Watershed Management. J. Wiley & Sons, New York, NY.

Novotny, V., and B. D'Arçy., (1999). (editors) Diffuse Pollution III, Proceedings of the Edinburgh IAWQ Conference Special issue of Water, Science and Technology, Elsevier.

Novotny, V., (1966). Mechanical Aeration of Surface Waters, (in Czech) Vodohospodářský Časopis, Vol. XIV, No. 2, pp. 229-248.

- Novotny, V., (1973).** Mathematical modeling of water quality changes in a river basin, *Advances in Water Pollution Research*, (S.H. Jenkins and B.A. Southgate, eds.), pp. I-5/1-7, Pergamon Press, London.
- NSF, (2006);** National Sanitation Foundation, *Consumer Information: Water Quality Index (WQI)*.
En: www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp Visitada: Marzo de 2008. [180] Desarrollo de un Indicador de la Calidad del Agua usando Estadística Aplicada, Caso de Estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro Revista Tecno Lógicas Peña, D., (2002); *Análisis de datos multivariantes*, McGraw-Hill.
- Organization For Economic (2003).** Cooperation and Development, oecd, *oecd Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*.
- Ott, W.R. (1978).** *Environmental indices, theory and practice, a science*, Ann Arbor, Michigan.
- Pelletier, G. J., Chapra, S. C. (2003).** *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and User's Manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 2003.
- Pelletier, G.j. Chapra, S. (2004).** *QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1)*. A modeling framework for emulating river and stream water quality. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA. 104 pp. 2004.
- Pelletier, G. J., Chapra, S., TAO, H. (2005).** *QUAL2Kw - A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration*. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 21, 419 -425, 2005.

Ramírez, A. y Restrepo, R., Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación, Ciencia Tecnología y Futuro, 135 - 153.

Ramírez, A. y Viña, G. (1998). Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de análisis. Univ. Jorge Tadeo Lozano - BP Exploration, Bogotá. Colombia.

Ramírez, A., Restrepo, R. y Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. Ciencia Tecnología y Futuro, 89-99.

Reed, S.C. 1990. Natural systems for Wastewater Treatment, Manual of Practice FD- 16, Alexandria, USA: Water Pollution Control Federation.

Reed, S.C., R.W. Crites and E.J. Middlebrooks, (1995). Natural Systems for waste Management and Treatment (second edition), New York, Usa: McGraw-Hill, Inc.

Richardson, A. M., (1997). Development of an estuarine water quality index (EWQI) for New South Wales. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of bachelor of science (Honours), University of Sydney. 148 pp.

Rodier Jean (2009). Análisis del agua. Ediciones Omega. Novena edición. Barcelona.

Rodier, J. (1981). Análisis de las Aguas. Paris, France

Romero Jairo (2009). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera edición. Bogotá.

Roldan Gabriel (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda edición. Medellín.

Romero, R., Zúñica, R., (2008); Métodos estadísticos en ingeniería, Ed LIMUSA, México.

Rozano, E., (2002). Tratamiento biológico de las aguas residuales, Ediciones Diaz de Santos, versión Electrónica 2015.

Samboni, N., Carvajal-Escobar, Y., (2007); A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators, Ing. Investig., Sep./Dec., 27(3), 172-181.

Samboni, N., (2009); Estimación del índice de escasez empleando los indicadores de calidad y contaminación del agua en la cuenca alta del Río Cauca, Tesis de Maestría, Programa Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle.

Seidel K. (1966). Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen. Naturwii, 53, 289-297.

Sierra Carlos (2011). Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ediciones de la U. Primera edición. Medellín.

Schnoor, J. L., C. Sato, D. McKetchnie, and D. Sahoo. (1987). Processes, coefficients, and models for simulating toxic organics and heavy metals in surface waters. EPA/600/3- 87/015, U.S. EPA, Athens, GA, 30605.

Stojda A., Dojlido J. y Woyciechowska J. (1985). Water quality assessment with water quality index, Gospod. Wod. 12, 281-284.

Stambuk-Giljanovc. (1999). Water quality evaluation by index in Dalmatia. Wat. Res. 3423-3440. Elsevier Science Ltd.

Smolen, M. D., G. D. Jennings, R. L. Huffman, V. Novotny, R. H. Cohen, and J. Gorman., (1990). Critical Literature Review: Nonpoint Source Impact Assessment. Water Pollution Control Federation Research Foundation RP No. 90-5, Alexandria, VA

Thomann, R.V., Mueller, J. A., (1987). Principles of Surface Water Quality Modelling and Control, Harper & Row Publishers, New York

UN-MAVDT, Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Metodología para la estimación de caudales ambientales en proyectos licenciados. Bogotá: Contrato No. 0076-08 del Convenio Interadministrativo OEI-MAVDT No 004/07 de 2007.

Valencia Jorge (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Mc Graw Hill. Tercera edición. Bogotá.

Van Helmond, C., Breukel, R., (1997); Physico-Chemical water quality indices. Proceedings of an International Works on Information Strategies in Water Management, Nunspeet, The Netherlands, 475-479.

Van Helmond, C.A.M. & R.M.A. Breukel. (1996). Physico-chemical water quality indices. Proceedings MTM-II-Posters-Surface Waters. 475-479.

Vera Puerto, I. L. (2007). Aplicación de técnica de optimización mediante algoritmos genéticos para calibración de modelo Qual2k como una aproximación a la modelación de la calidad del agua de los principales ríos de la zona urbana de Bogotá DC.

Young, P. C., y Wallis, S. G. (1993). Solute Transport and Dispersion in Channels. In Channel Network Hydrology (Eds. K. J. Beven y M. J. Kirby). John Wiley & Sons, Chichester, 129-174.

Zwart, D. De & R.C. Trivedi. (1992). Draft manual on water quality evaluation, RIMV. The Netherlands.

Anexos

Reportes de laboratorio



RESULTADOS DE LABORATORIO

Informe No. 000871

Pagina 1 de 4

FECHA DE REPORTE: 2020/07/02
EMPRESA: UMWELT COLOMBIA SAS
ATENCION: ING. CARLOS ANDRES CONTRERAS
DIRECCION: CI 42 Bis Sur 75 A 26
TELEFONOS: 2648640
No. DE MUESTRAS: 4
FECHA DE RECEPCION: 2020/06/16
FECHA DE ANALISIS: 2020/06/16 AL 2020/07/02
PLAN DE MUESTREO CIAN No.: N.A
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A
PROYECTO: FUNDACION NUESTRA SEÑORA DE LA ESPERANZA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
MUESTRA No.	9742	AGUAS ARRIBA VERTIMIENTO	
Matriz	Agua A.SUP	Municipio: Tena	Fecha de Toma: 2020/06/15
Tipo de Muestreo:	Puntual	Departamento: Cundinamarca	Hora de Toma: 9:40
FÍSICOQUÍMICO			
PARAMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADO
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	S.M 2510 B	64,5
DBO5	mg/L O2	S.M.5210 B-ASTM D888-09 MET.C	4
DQO	mg/L O2	S.M. 5220 C	<30
NITRATOS	mg NO3-N/L	S.M 4500-NO3 B	0,66
NITROGENO AMONICAL*	mg N-NH3/L	S.M 4500-NH3 B,C	<1
NITROGENO TOTAL KJELDAHL*	mg/L N	SM 4500 NOrg C-NH3 B,C	<5
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	S.M 4500-O G	6,57
PH	Unidades	S.M 4500-H+ B	6,96
TEMPERATURA MUESTRA	°C	S.M. 2550-B	19,5

Observaciones : *Análisis subcontratado

MARCELA MONOGA - PQI 0028
DIRECTOR TÉCNICO Y DE LABORATO

Muestreo realizado por **El cliente**
 Resultados válidos únicamente para las muestra(s) analizada(s)
 Prohibida la reproducción de este Informe, sin aprobación escrita de Cian Ltda.



LAF-02 Rev.4 10/10/2013



RESULTADOS DE LABORATORIO

Informe No. 000871

Pagina 2 de 4

FECHA DE REPORTE: 2020/07/02
EMPRESA: UMWELT COLOMBIA SAS
ATENCION: ING. CARLOS ANDRES CONTRERAS
DIRECCION: CI 42 Bis Sur 75 A 26
TELEFONOS: 2648640
No. DE MUESTRAS: 4
FECHA DE RECEPCION: 2020/06/16
FECHA DE ANALISIS: 2020/06/16 AL 2020/07/02
PLAN DE MUESTREO CIAN No.: N.A
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A
PROYECTO: FUNDACION NUESTRA SEÑORA DE LA ESPERANZA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
MUESTRA No. 9743 100 MTS AGUAS ABAJO VERTIMIENTO			
Matriz	Agua A.SUP	Municipio: Tena	Fecha de Toma: 2020/06/15
Tipo de Muestreo:	Puntual	Departamento: Cundinamarca	Hora de Toma: 10:02
FÍSICOQUÍMICO			
PARAMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADO
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	S.M 2510 B	67,8
DBO5	mg/L O2	S.M.5210 B-ASTM D888-09 MET.C	2
DQO	mg/L O2	S.M. 5220 C	<30
NITRATOS	mg NO3-N/L	S.M 4500-NO3 B	0,69
NITROGENO AMONICAL*	mg N-NH3/L	S.M 4500-NH3 B,C	<1
NITROGENO TOTAL KJELDAHL*	mg/L N	SM 4500 NOrg C-NH3 B,C	<5
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	S.M 4500-O G	6,60
PH	Unidades	S.M 4500-H+ B	6,57
TEMPERATURA MUESTRA	°C	S.M. 2550-B	20,2

Observaciones : *Análisis subcontratado

MARCELA MONOGA - PQI 0028
DIRECTOR TÉCNICO Y DE LABORATO

Muestreo realizado por **El cliente**

Resultados válidos únicamente para las muestra(s) analizada(s)

Prohibida la reproducción de este Informe, sin aprobación escrita de Cian Ltda.



LA-F-02 Rev.4 10/10/2013


RESULTADOS DE LABORATORIO
Informe No. 000871
Pagina 3 de 4

FECHA DE REPORTE: 2020/07/02
EMPRESA: UMWELT COLOMBIA SAS
ATENCION: ING. CARLOS ANDRES CONTRERAS
DIRECCION: CI 42 Bis Sur 75 A 26
TELEFONOS: 2648640
No. DE MUESTRAS: 4
FECHA DE RECEPCION: 2020/06/16
FECHA DE ANALISIS: 2020/06/16 AL 2020/07/02
PLAN DE MUESTREO CIAN No.: N.A
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A
PROYECTO: FUNDACION NUESTRA SEÑORA DE LA ESPERANZA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
MUESTRA No.	9744	300 MTS AGUAS ABAJO VERTIMIENTO	
Matriz	Agua A.SUP	Municipio:	Tena
Tipo de Muestreo:	Puntual	Departamento:	Cundinamarca
		Fecha de Toma:	2020/06/15
		Hora de Toma:	10:53
FÍSICOQUÍMICO			
PARAMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADO
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	S.M 2510 B	68,3
DBO5	mg/LO2	S.M.5210 B-ASTM D888-09 MET.C	6
DQO	mg/L O2	S.M. 5220 C	<30
NITRATOS	mg NO3-N/L	S.M 4500-NO3 B	0,37
NITROGENO AMONIACAL*	mg N-NH3/L	S.M 4500-NH3 B,C	<1
NITROGENO TOTAL KJELDAHL*	mg/L N	SM 4500 NOrg C-NH3 B,C	<5
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	S.M 4500-O G	6,56
PH	Unidades	S.M 4500-H+ B	6,46
TEMPERATURA MUESTRA	°C	S.M. 2550-B	19,3

Observaciones : *Análisis subcontratado

MARCELA MONOGA - PQI 0028
 DIRECTOR TÉCNICO Y DE LABORATO

 Muestreo realizado por **El cliente**

Resultados válidos únicamente para las muestra(s) analizada(s)

Prohibida la reproducción de este Informe, sin aprobación escrita de Cian Ltda.



LA-F-02 Rev.4 10/10/2013



RESULTADOS DE LABORATORIO

Informe No. 000871

Pagina 4 de 4

FECHA DE REPORTE: 2020/07/02
EMPRESA: UMWELT COLOMBIA SAS
ATENCION: ING. CARLOS ANDRES CONTRERAS
DIRECCION: Cl 42 Bis Sur 75 A 26
TELEFONOS: 2648640
No. DE MUESTRAS: 4
FECHA DE RECEPCION: 2020/06/16
FECHA DE ANALISIS: 2020/06/16 AL 2020/07/02
PLAN DE MUESTREO CIAN No.: N.A
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A
PROYECTO: FUNDACION NUESTRA SEÑORA DE LA ESPERANZA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
MUESTRA No. 9745		VERTIMIENTO ARD	
Matriz	Agua ARD	Municipio: Tena	Fecha de Toma: 2020/06/15
Tipo de Muestreo:	Compuesto	Departamento: Cundinamarca	Hora de Toma: 9:40
FÍSICOQUÍMICO			
PARAMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADO
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	S.M 2510 B	1474
DBO5	mg/LO2	S.M.5210 B-ASTM D888-09 MET.C	5
DQO	mg/L O2	S.M. 5220 C	<30
NITRATOS	mg NO3-N/L	S.M 4500-NO3 B	5,2
NITROGENO AMONICAL*	mg N-NH3/L	S.M 4500-NH3 B,C	<1
NITROGENO TOTAL KJELDAHL*	mg/L N	SM 4500 NOrg C-NH3 B,C	<5
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	S.M 4500-O G	6,24
PH	Unidades	S.M 4500-H+ B	5,52
TEMPERATURA MUESTRA	°C	S.M. 2550-B	19,1

Fin de Informe

Observaciones : *Análisis subcontratado

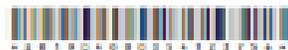
MARCELA MONOGA - PQI 0028
DIRECTOR TÉCNICO Y DE LABORATO



Muestreo realizado por **El cliente**
 Resultados válidos únicamente para las muestra(s) analizada(s)
 Prohibida la reproducción de este Informe, sin aprobación escrita de Cian Ltda.

LA-F-02 Rev.4 10/10/2013

Informe N°: 201904000054



Informe de Ensayo (80)

Número de Ingreso 12971-01

Cliente: UMWELT COLOMBIA S.A.S.

Dirección: Calle 42 Río No. 75A - 26

Proyecto: Control muestras de agua residual doméstica

Identificación Cliente: UMWELT SAS

Lugar de Muestras: Vertimiento

Dirección: Tena - Cundinamarca

Ciudad / Región: TENA/Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Puro N° 2, Vertimiento

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestra: Compuesta 12 h

Términos de Muestra: 11/03/2019 20:45:00

Recepción Laboratorio: 12/03/2019 17:00:00

Muestreador por: Hidrolab-Ing. Diego Benavides
ARD

Parámetro	Unidades	Resultados	Fecha y Hora Análisis	Ref.Método
Nitrógeno Amomíaco	mg/L	31,5	14/03/2019 14:33:0	SM 4500-NH3 C (2)
Nitrato	mg/L N-NO3	4,5	13/03/2019 17:02:0	SM 4500-NO3 D (2)
Nitrato	mg/L N-NO2	<0,000	12/03/2019 17:18:5	SM 4500-NO2 D (2)
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	42,8	15/03/2019 14:47:0	SM 4500-NH7 C (2)
Oxígeno Disuelto	mg/L O2	5,10	12/03/2019 17:23:0	SM 4500-O G (2)
Orotocéfalo	mg/L PO4	1,28	12/03/2019 17:17:3	SM 4500-P D (2)
pH	unidad	7,60(20,5°C)	12/03/2019 17:19:3	SM 4500-HI B (2)
Fósforo Total	mg/L P	4,53	16/03/2019 10:23:0	SM 4500-P D(2)
Coliformos Totales	NMP/100 ml	1300000	13/03/2019 09:00:0	SM 9221 B (2)
Azarón y Gasas	mg/L	<5	16/03/2019 10:14:0	SM 5520 D (2)
DBO (5 días)	mg/L	53	12/03/2019 17:17:0	SM 5210 B (2)
DBO (5 días) soluble	mg/L	42	12/03/2019 17:17:0	SM 5210 B (2)
DBO última	mg/L	55	12/03/2019 17:25:2	SM 5210 C (2)
DOO	mg/L	80	14/03/2019 15:21:2	SM 5220 D (2)
Hidrocarburos totales	mg/L	<5	16/03/2019 09:53:0	SM 5520 D,F (2)
Conductividad	uS/cm	612	16/03/2019 12:24:0	SM 2510 B (2)
Sólidos sedimentables	ml/L	0,8	12/03/2019 17:30:1	SM 2540 F (2)
Sólidos suspendidos totales	mg/L	31	16/03/2019 13:05:0	SM 2540 D (2)
Temperatura	°C	20,5	16/03/2019 12:23:0	SM 2550 B (2)

Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition 2012.

El tiempo de almacenamiento para el parámetro DBO5 fue de 30-60 horas.

Fecha Emisión Informe: 6 de abril de 2019

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2,5, vía parcelas de Costa Rica, L3 Conjunto de Bodegas AERL, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (31) 5 19 03 85

12971-01 1 / 2